



ВЕСТНИК

Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

НАУКА и ТРАНСПОРТ

2/2022



ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 2(45)/2022

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 2 (45) 2022 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

Учредители:

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

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *Т. А. Пугач*
Компьютерная верстка – *С. В. Ужанкова*

Подписано в печать 28.12.2022 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,42. Уч.-изд. л. 14,94. Тираж 100 экз. Изд. № 55. Зак. № 2914.

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»
ЛП № 02330/238 от 14.04.2014 г.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

Бочков К. А., Харлап С. Н., Коврига А. Н. Обеспечение информационной безопасности микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики в жизненном цикле функциональной безопасности.....	4
Бочков К. А., Комнатный Д. В., Жигалин И. О. Прогнозирование устойчивости микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики к электромагнитным импульсам преднамеренного воздействия.....	11
Громыко И. Л., Мирош Д. В., Галушко В. Н., Евдасев И. С. Диагностирование параметров качества изоляции обмоток трансформаторов при ее увлажнении.....	15

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Аземша С. А., Морозов В. М. Анализ транспортного опроса жителей Гомеля и разработка предложений по повышению эффективности работы и привлекательности общественного пассажирского транспорта.....	20
Карасевич С. Н., Аземша С. А. Совершенствование подходов к системе мониторинга эффектов от развития инфраструктуры для организации экомобильности в городах.....	28
Халапсин А. Б., Давилюк С. А. Информационная система интеллектуального анализа больших массивов данных о правонарушениях в Республике Беларусь.....	35

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

Васильев А. А. Оценка остаточного ресурса несущих конструкций.....	40
Моисеенко В. Л., Пупачёв Д. С., Максимчик К. В. Оптимизация технологических процессов с применением устройств собственной разработки в путевом хозяйстве Белорусской железной дороги.....	45
Романенко В. В. Анализ факторных решений по изменению системы ведения путевого хозяйства.....	49
Максимчик К. В., Моисеенко В. Л. Снегоуборочный поезд СМ-2. Анализ текущего состояния парка техники в Республике Беларусь.....	52
Поддубный А. А. Вынужденные колебания железобетонной балки, лежащей на упругом основании, при внезапном образовании трещины вследствие действия быстро изменяющихся нагрузок.....	55

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

Негрей В. Я., Чернин Р. И., Дашук П. А., Авхачев А. В. Технические решения по трансколейному движению железнодорожного подвижного состава за счёт изменения межколейного расстояния его ходовых частей.....	58
Негрей В. Я., Бочков К. А., Пигунов А. В. Европейские модульные платформы для перевозки съёмных и сменных кузовов.....	64
Шилович А. В., Пигунов А. В., Пигунов В. В. Конструктивные решения по снижению массы тары универсальных вагонов-платформ.....	69
Отока А. Г., Холодилов О. В. Ультразвуковой контроль подступичной части оси колесной пары с использованием преобразователей на фазированной решетке.....	73
Афанаськов П. М., Коновалов Е. Н., Комиссаров В. В., Голович А. К., Путято А. В., Шилович А. В. Оценка прочности несущих конструкций вагонов метрополитена с учетом прогнозирования их технического состояния.....	79

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Кулаженко Ю. И., Кузнецов В. Г., Ерофеев А. А. Структура закона «О железнодорожном транспорте» на основе применения организационно-функциональной матрицы анализа транспортной деятельности.....	85
Дубина Ю. В., Ерофеев А. А., Кузнецов В. Г. Концептуальные подходы к модели проекта обновления Закона Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте».....	92
Хорошевич А. А. Актуальные вопросы выстраивания взаимоотношений Белорусской железной дороги с иными участниками перевозочного процесса.....	98
Власюк Т. А., Галай Э. И., Цзэн Сяньфэн. Ретроспективный анализ применения двухэтажных пассажирских вагонов на железнодорожном транспорте за рубежом в середине XIX – начале XX века.....	101
Никитин Е. В., Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Галай Э. И. Мероприятия по повышению скоростей движения поездов на направлениях Белорусской железной дороги.....	105
Михальченко А. А. Использование индексного метода при управлении инвестициями на железнодорожном транспорте.....	109
Козлов В. Г. Моделирование транспортных потоков и эксплуатационной работы железнодорожных станций и узлов на основе сетей Петри.....	114
Петрачков С. А., Гегедеш М. Г. Компьютерное моделирование перевозки длинномерных грузов на сцепе из двух платформ.....	117
Богданов Д. Ю. Проектирование технологических процессов механизации погрузочно-разгрузочных работ на грузоперерабатывающих объектах: методический подход.....	121

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.38:656.26

К. А. БОЧКОВ, доктор технических наук, С. Н. ХАРЛАП, кандидат технических наук, А. Н. КОВРИГА, канд. техн. наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрены подходы к обеспечению функциональной и информационной безопасности в рамках единого жизненного цикла систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Обоснована возможность использования методов обеспечения функциональной безопасности для решения задач информационной безопасности. Приведены примеры обеспечения доступности, целостности и конфиденциальности информации методами функциональной безопасности. Сформулированы задачи функциональной и информационной безопасности, которые должны быть решены в рамках единого жизненного цикла.

На современном этапе развития информационных технологий, в результате активного внедрения этих технологий в различные сферы экономики и промышленности, вопросы информационной безопасности становятся всё более актуальными и их значение возрастает. В последнее время актуальными стали вопросы защиты объектов информационной инфраструктуры железнодорожного транспорта от кибератак и кибертерроризма.

Кибератака – целенаправленное воздействие программных и (или) программно-аппаратных средств на объекты информационной инфраструктуры, сети электросвязи, используемые для организации взаимодействия таких объектов, в целях нарушения и (или) прекращения их функционирования и (или) создания угрозы безопасности обрабатываемой такими объектами информации [1].

Кибертерроризм – атаки на информационные системы, несущие угрозу здоровью и жизни людей, а также способные спровоцировать серьезные нарушения функционирования критически важных объектов в целях оказания воздействия на принятие решений органами власти либо воспрепятствования политической или иной общественной деятельности, либо устрашения населения, либо дестабилизации общественного порядка [1].

Следует учитывать, что объектами критической информационной инфраструктуры (КИИ), к которым предъявляются требования информационной безопасности, являются системы, очень сильно отличающиеся друг от друга в части требований условий функционирования, надежности и готовности, функциональной безопасности, коммуникаций и т. д. Многообразие объектов КИИ требует в ответ многообразия методов обеспечения информационной безопасности, а также признания того, что одни и те же методы будут иметь различную эффективность при их применении к различным объектам КИИ.

При этом безопасность людей, социальной и экологической сферы не является предметом информационной защиты. Методы и средства, обеспечивающие исключительно информационную безопасность, не в силах решить эти задачи. Особенно это актуально для

автоматизированных систем управления ответственными технологическими процессами (АСУ ОТП), которые широко применяются на железнодорожном транспорте.

Типовым представителем систем управления ответственными технологическими процессами на железнодорожном транспорте являются системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Особенностью систем ЖАТ является то, что в первую очередь данные системы должны выполнять требования функциональной безопасности, заключающиеся в обеспечении безопасности движения поездов, и только во вторую очередь все остальные требования, включая требования информационной безопасности. Такой подход отражен как в Техническом регламенте Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [2], так и в Приказах ФСТЭК России № 31 от 14.03.2014 и № 239 от 25.12.2017.

Подходы к обеспечению функциональной и информационной безопасности. На протяжении уже более 200 лет разрабатывались и успешно применялись различные подходы, принципы и методы обеспечения функциональной безопасности, многие из которых не зависят от используемой элементной базы. Более 50 лет эти методы успешно применяются при построении микроэлектронных программируемых систем железнодорожной автоматики. Накопленные знания в области построения безопасных систем ЖАТ на текущем этапе развития могут успешно применяться и для решения новых задач, связанных с нарушением информационной безопасности.

Функциональная безопасность (*functional safety*) – это часть общей безопасности системы управления, зависящая от правильности ее функционирования и обеспечивающая отсутствие неприемлемого риска здоровью людей, их собственности или окружающей среде со своей стороны [3]. То есть система, отвечающая требованиям функциональной безопасности, не должна подвергать опасности здоровье и жизнь людей, приводить к значительным экономическим потерям и разрушению окружающей среды.

Основополагающим стандартом верхнего уровня в области функциональной безопасности стал IEC 61508

«Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью». В Российской Федерации он известен как ГОСТ Р МЭК 61508–2012. Этот фундаментальный стандарт в семи частях содержит не только требования к системам АСУ ТП, но и основные методы для достижения выполнения этих требований. Он ранжирует системы, связанные с безопасностью, по уровню полноты безопасности (УПБ), который может быть определен как количественно через интенсивность или вероятность опасного события, так и качественно через величину возможного ущерба. Положения этого стандарта детализированы в соответствующих отраслевых стандартах. Системы ЖАТ по данной классификации относятся к наивысшему четвертому уровню полноты безопасности УПБ4.

В последних поколениях систем ЖАТ, построенных с использованием аппаратно-программных комплексов на базе локальных и внешних сетей связи с автоматизированными рабочими местами операторов и центрами управления движением поездов, естественным образом возникает проблема обеспечения информационной безопасности. На сегодня проблема информационной безопасности систем ЖАТ решается следующим образом. Разработчик сначала должен выполнить все установленные процедуры по подтверждению соответствия требованиям функциональной безопасности (испытания, верификацию ПО и т. д.) и экспертизу специального документа «Доказательство безопасности» в соответствующей лаборатории, аккредитованной в области функциональной безопасности. Далее он должен выполнить ряд процедур подтверждения соответствия требованиям информационной безопасности с участием лаборатории, аккредитованной в области информационной безопасности. Результатом выполнения таких процедур является создание дополнительных средств защиты, которые являются внешними по отношению к средствам обеспечения функциональной безопасности.

Такой подход является избыточным, так как методы защиты частично могут дублировать друг друга. И хотя в Приказе № 239 ФСТЭК России от 25.12.2017 рекомендовано, что если меры функциональной безопасности являются достаточными для нейтрализации актуальных угроз информационной безопасности, то дополнительные меры защиты можно не применять, эти рекомендации на практике не выполняются. Основанием для этого служат различия в перечне угроз и объектов защиты. Интегрировать же дополнительные средства защиты в комплекс мер функциональной безопасности невозможно, т. к. это потребует повторной процедуры подтверждения соответствия требованиям функциональной безопасности.

Кроме того, следует отметить, что законодательство Республики Беларусь не определяет область обеспечения функциональной безопасности, процессы ее взаимодействия с информационной безопасностью, методы организации и какие-либо требования к ней. Все вопросы обеспечения кибербезопасности включают в себя исключительно информационную безопасность, а зачастую именно так и называются.

Практический опыт испытаний и экспертиз различных систем ЖАТ позволяет сделать вывод о том, что методы обеспечения функциональной безопасности и информационной безопасности достаточно близки и могут быть интегрированы на ранних этапах разработки. При этом приоритет должен отдаваться методам обеспечения функциональной безопасности и решению с их помощью задач информационной безопасности.

Стратегии обеспечения функциональной безопасности. Для обеспечения функциональной безопасности используются несколько подходов (стратегий): безотказность, отказоустойчивость и безопасное поведение при отказах [4]. В первом случае предлагается использовать высоконадежные элементы, во втором – различные методы резервирования и восстановления для обеспечения отказоустойчивости. То есть первые две стратегии направлены на общее повышение надежности (безотказности) и, как следствие, повышение безопасности за счет сохранения работоспособности системы и обеспечения ее правильной работы в различных ситуациях, в том числе ее устойчивости при воздействии внешних факторов. Однако такой подход ограничен надежностью используемой элементной базы и при текущем состоянии производства микроэлектронных компонентов и может использоваться при построении систем с уровнем полноты безопасности, не превышающем УПБ3. Для систем с УПБ4 такой подход не обеспечивает выполнение всех требований функциональной безопасности.

Третья стратегия является специфичной для систем ЖАТ и предполагает разделение неработоспособного состояния системы на два состояния: неработоспособное защитное (безопасное) и неработоспособное опасное. Для этой цели все функции, выполняемые системой, делятся на два класса: технологические функции, не связанные с обеспечением безопасности, и функции обеспечения безопасности. Если часть технологических функций по каким-либо причинам не может быть выполнена, но при этом все функции обеспечения безопасности выполняются в полном объеме, то система находится в защитном (безопасном) состоянии. При невыполнении хотя бы одной функции обеспечения безопасности система переходит в опасное состояние. Соответственно различают опасные и защитные отказы.

Опасный отказ системы ЖАТ может привести к возникновению аварии или крушению поезда, но в подавляющем большинстве случаев этого не происходит, поскольку причины возникновения аварии (крушения) также связаны с существующей в данный момент поездной ситуацией и действиями человека-оператора (машинист, дежурный по станции, поездной диспетчер, электромеханик и др.)

Исходя из этого отказ системы ЖАТ считается опасным, если нарушен критерий опасного отказа, даже если авария (крушение) при этом не произошла. Это позволяет рассматривать безопасность системы или отдельного её элемента как свойство объекта вне связи с ошибками человека или движением поездов. Диаграммы состояний объекта СЖАТ представлены на рисунке 1.

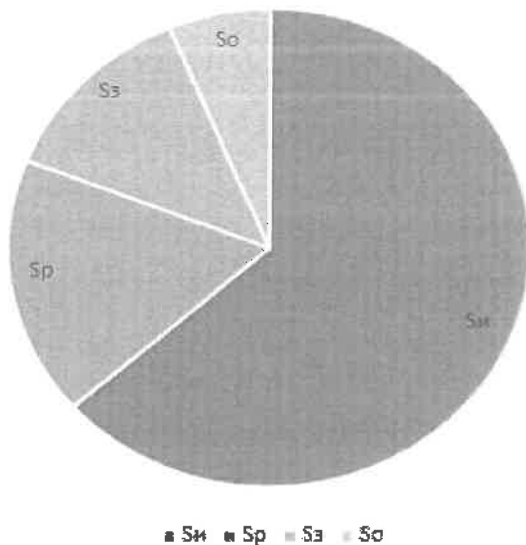


Рисунок 1 – Диаграмма состояний объекта СЖАТ:
 S_n, S_p, S_z, S_o – подмножества исправных, работоспособных, защитных
 и опасных состояний соответственно

Безопасность системы ЖАТ при этом определяется как свойство системы непрерывно сохранять исправное, работоспособное или защитное состояние в течение некоторого времени или наработки.

Защитный отказ нарушает безотказность, но не нарушает безопасность. Опасный отказ нарушает и безотказность, и безопасность.

Безотказность характеризуется множеством состояний

$$S_H = S_H \cup S_P,$$

а безопасность – множеством состояний

$$S_B = S_H \cup S_P \cup S_Z.$$

Критерии опасных отказов в обязательном порядке устанавливаются в соответствующей нормативной документации. Такой подход позволяет сконцентрироваться на относительно небольшом множестве функций и критических элементов и использовать достаточно сложные методы защиты.

Иерархия уровней защиты. Многообразие отказов и форм их проявления требует применения методов обеспечения безотказности и безопасности на различных функциональных уровнях микросистем ЖАТ. На сегодняшний день наиболее перспективным для управления рисками считается принцип «Защита в глубину» (*defense-in-depth*), который заключается в том, что в системе должен применяться набор разнотипных методов защиты, с тем чтобы инцидент либо авария на объекте контроля и управления не могли пройти все уровни. Обычно выделяют пять уровней защиты: аппаратный (самый низкий), информационный, программный, структурный и уровень интерфейса (самый высокий) [5].

Такая иерархия обусловлена тем, что на каждом из этих уровней можно осуществлять мероприятия по защите от отказов, позволяющие компенсировать последствия отказов, возникающих на более низких уровнях. Например, использование парафазного кодирования на информационном уровне позволяет контролировать исправную работу самопроверяемых схем,

использование на структурном уровне диверсифицированного программного обеспечения позволяет защититься от ошибок в программном обеспечении.

На практике далеко не всегда защита осуществляется на всех уровнях одновременно. Обязательным является применение структурных методов обеспечения безопасности и безопасного интерфейса с исполнительными объектами, то есть высших уровней защиты. Мероприятия по защите от опасных отказов на остальных уровнях применяются при необходимости повышения показателей функциональной безопасности.

На каждом из уровней защиты от опасных отказов могут использоваться различные подходы и стратегии обеспечения безопасности. Например, на информационном и программном уровнях наиболее часто применяют стратегию отказоустойчивости, а на аппаратном, структурном и уровне интерфейса – стратегию безопасного поведения при отказах. Кроме того, на одном уровне защиты могут использоваться несколько различных стратегий одновременно. Например, стратегия безопасного поведения может применяться совместно со стратегией отказоустойчивости. В этом случае, если при возникновении отказов система исчерпала резервные возможности и в результате деградации и реконфигурации перестала быть отказоустойчивой, то при появлении еще одного отказа она должна необратимо перейти в защитное состояние.

Такой подход обеспечивает многообразие путей решения проблемы обеспечения заданных показателей безопасности, но окончательный выбор всегда остается за разработчиком системы.

Возможность использования методов обеспечения функциональной безопасности для решения задач информационной безопасности. Для того чтобы сравнить эффективность применения методов функциональной безопасности для решения задач информационной безопасности, необходимо рассмотреть следующие элементы: поставленные цели, последствия (величина ущерба), объект защиты, угрозы безопасности.

В соответствии с Приказом ФСТЭК России № 31 от 14.03.2014 целью мер по обеспечению информационной безопасности, в первую очередь, является обеспечение доступности, целостности и конфиденциальности обрабатываемой в АСУ ТП информации. Таким образом, внимание концентрируется на защите информации с целью недопущения ее искажения (в том числе недоступности актуальной информации), которое может привести к нарушению функционирования АСУ ТП. Цели функциональной безопасности заключаются в отсутствии неприемлемого риска здоровью людей, их собственности или окружающей среде со стороны АСУ ТП при нарушении ее правильного функционирования [3]. Очевидно, что цели функциональной безопасности шире, так как в качестве причин нарушения функционирования АСУ ТП учитываются не только возможные искажения информации, но и отказы аппаратных средств, ошибки в программном обеспечении и др.

Если внимательно посмотреть на критерии значимости объектов КИИ и сравнить их с критериями ранжирования систем управления по функциональной безопасности, то можно сделать вывод, что требования функциональной безопасности гораздо жестче, чем требования информационной безопасности. Так, ГОСТ 33433–2015 «Безопас-

ность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте» [6], устанавливающий типовые уровни тяжести последствий, относит к наивысшему, катастрофическому, уровню последствий аварийную ситуацию, повлекшую гибель одного или более людей. В то время как согласно Перечню показателей критериев значимости объектов критической информационной инфраструктуры, утвержденному постановлением Правительства РФ № 127 от 8 февраля 2018, если инцидент на объекте КИИ приведет к гибели от одного до пятидесяти человек, то такой объект относят к низкой (третьей) категории.

Объектами защиты в АСУ ТП с точки зрения как функциональной, так и информационной безопасности являются:

- технические средства;
- программное обеспечение;
- информация о параметрах или состоянии управляемого объекта или процесса.

Однако при рассмотрении вопросов информационной безопасности концентрируют внимание на конфиденциальности, доступности и целостности информации, а технические средства и программное обеспечение рассматривают только как источники уязвимостей, возможного искажения информации, временной недоступности или несанкционированного доступа к информации. При реализации мер по обеспечению функциональной безопасности в равной мере уделяют внимание как последствиям отказов технических средств, так и возможным ошибкам в программном обеспечении, в том числе приводящих к искажению критической информации.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о том, что методы обеспечения функциональной безопасности позволяют достичь тех же целей, защищают те же объекты и требования к их реализации более жесткие по сравнению с аналогичными методами информационной безопасности.

Угрозы информационной и функциональной безопасности. Типичными угрозами информационной безопасности являются события, связанные с нарушением доступности и целостности обрабатываемой в АСУ ТП информации [7, 8].

1 Внешние угрозы:

- несанкционированный доступ;
- саботаж или намеренное причинение ущерба сторонними лицами;
- вредоносное ПО (вирусы);
- целевые атаки.

2 Внутренние угрозы:

- ошибки конфигурации оборудования;
- саботаж или намеренное причинение ущерба сотрудниками;
- уязвимости в промышленном ПО и протоколах, в том числе недеklarированные возможности.

Типичными угрозами функциональной безопасности являются [5]:

1 Внешние угрозы:

- случайные искажения информации в каналах связи;
- отказы внешней инфраструктуры.

2 Внутренние угрозы:

- отказы оборудования;

- случайные искажения внутренней информации;
- ошибки персонала (непреднамеренные действия);
- ошибки в программном обеспечении.

Сравнение типичных угроз информационной и функциональной безопасности позволяет сделать следующий вывод. Методы функциональной безопасности направлены в первую очередь на защиту от случайных событий (неумышленных действий), в то время как информационная безопасность сконцентрирована на защите от умышленных (преднамеренных) действий злоумышленников. В этом и заключается основное отличие в подходах. На первый взгляд это требует применения принципиально разных подходов, но более глубокий анализ показывает, что это далеко не так.

Обеспечение доступности, целостности и конфиденциальности информации методами функциональной безопасности. Рассмотрим более подробно угрозы информационной безопасности применительно к основной цели – обеспечению доступности, целостности и конфиденциальности информации.

Доступность – способность компонента выполнить требуемую функцию при заданных условиях в заданный момент времени или в течение заданного интервала времени, если предоставлены необходимые внешние ресурсы [9].

Целостность – свойство системы, отражающее логическую корректность и безотказность операционной системы, логическую полноту аппаратных средств и программного обеспечения, которые реализуют защитные механизмы, а также согласованность структуры и содержания хранимых данных [9].

Конфиденциальность – гарантия того, что информация не будет раскрыта несанкционированным лицам, процессам или устройствам [9].

Все рассмотренные выше угрозы при некоторых условиях могут нарушить доступность информации. При этом АСУ ТП перестанет получать актуальную информацию о состоянии объектов управления и контроля, что может стать потенциально опасным. Однако к таким последствиям могут привести также и случайные события, которые в обязательном порядке учитываются при разработке АСУ ТП в рамках обеспечения функциональной безопасности. Например, информация с рельсовых цепей участка железной дороги позволяет системе ЖАТ определить местоположение поезда и, в соответствии с этой информацией, включить соответствующую сигнализацию на проходных светофорах.

Парирование последствий возможного нарушения доступности информации можно выполнять по двум направлениям:

1) поддержание доступности информации при возникновении угроз. В этом случае решение сводится к задаче повышения общей надежности системы, которая решается резервированием;

2) сохранение безопасного состояния системы при отсутствии доступа к критической информации. В этом случае могут быть использованы методы функциональной безопасности, которые, например, применяются в системах обеспечения безопасности при обрыве линии связи с источником ответственной информации.

В этом случае выполняется ряд мероприятий, позволяющих исключить возникновение опасной ситуации:

– ограничение времени жизни (актуальности) критической информации. Если информация не обновилась за указанный период времени, то она автоматически заменяется на более безопасное значение. Например, для релейной цепи при потере связи принимается, что контролируемый участок пути занят поездом;

– ограничение времени жизни команд. Бистабильные команды, которые вызывают переключение объекта (например, команды включить / выключить лампу светофора) имеют ограниченное время жизни. Если время жизни команды истекло, то объект автоматически переключается в защитное состояние;

– контроль последовательности выполнения процедур в программном обеспечении, который гарантирует, что процедуры проверки актуальности информации / команд будут выполнены за указанный интервал времени;

– программный и аппаратный контроль тайм-аутов, исключающий сохранение активного состояния выходов в случае зависания вычислительных каналов.

Такая многоуровневая защита позволяет гарантировать переход в защитное состояние систем ЖАТ при любых нарушениях доступности критической информации. Таким образом можно сделать вывод, что методы обеспечения функциональной безопасности позволяют в полной мере решить задачи информационной безопасности по обеспечению доступности информации в АСУ ТП в том объеме, который позволит исключить опасное влияние таких угроз на работу АСУ ТП.

Нарушение целостности и конфиденциальности данных тоже нужно рассматривать по нескольким направлениям:

– случайное (непреднамеренное) искажение информации (в том числе конфигурационной);

– преднамеренное искажение информации посредством внешних систем передачи информации. Сюда можно отнести такие угрозы, как несанкционированный доступ, вредоносное ПО, целевые атаки, уязвимости в протоколах передачи данных;

– преднамеренное искажение информации посредством использования уязвимостей в ПО, в том числе недеklarированных возможностей.

Случайное нарушение целостности информации (искажения, добавления или удаления) являются предметом функциональной безопасности. Концепция обеспечения безопасности, принятая разработчиками, должна исключать опасное влияние таких нарушений на безопасность системы в целом. Для этих целей разработан и успешно применяется ряд методов, таких как избыточное кодирование, дублирование с последующим сравнением, диверсификация способов кодирования и форматов хранения информации, защита с помощью контрольных сумм и т. д. [10].

Защита систем ЖАТ от преднамеренного нарушения целостности информации через внешние системы передачи информации осуществляется в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62280 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Требования к обеспечению безопасной передачи информации» [11]. В данном стандарте рассмотрены возможные угрозы нарушения целостности данных, такие как случайные отказы аппаратных средств, систематические отказы (ошибки) программного обеспечения, внешние физиче-

ские воздействия и преднамеренные действия злоумышленника. Выделены основные типы нарушения целостности: повтор, удаление, вставка, переупорядочивание, повреждение (искажение), задержка и подмена сообщений.

В стандарте также определены необходимые меры для защиты от опасных последствий этих нарушений: использование меток времени в сообщениях, избыточных кодов и криптографических методов. Рассмотренные в стандарте угрозы и меры защиты охватывают все возможные угрозы информационной безопасности и являются достаточными для их нейтрализации.

Защита систем ЖАТ от систематических отказов (ошибок) программного обеспечения осуществляется в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62279 «Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах» [12]. Стандарт охватывает все этапы жизненного цикла программного обеспечения и регламентирует порядок разработки, документирования, верификации и внесения изменений в программное обеспечение. Рассмотрены вопросы организации разработки ПО, определены типовые роли, их компетенции, возможность совмещения разных ролей одним человеком. Рекомендован независимый аудит аккредитованной лабораторией на всех стадиях разработки, позволяющий обнаруживать ошибки на ранних этапах жизненного цикла.

В стандарте приведены методы, позволяющие получить программное обеспечение, соответствующее требованиям функциональной безопасности с УПБ4. Например, при разработке архитектуры ПО стандартом рекомендовано применять следующий набор методов: защищенное программирование, многовариантное (диверситетное) программирование, полностью определенный интерфейс, структурная методология, а также один из следующих методов: коды с обнаружением ошибок, программирование с проверкой ошибок, сохранение достигнутых состояний или моделирование.

Статический анализ кода, который является обязательным элементом верификации ПО, позволяет контролировать не только корректную реализацию спецификации, но и убедиться в отсутствии недеklarированных возможностей.

Таким образом, выполнение всех мероприятий по защите от систематических отказов по ГОСТ Р МЭК 62279 позволяет получить программное обеспечение, соответствующее не только требованиям функциональной безопасности, но и требованиям информационной безопасности.

Этапы жизненного цикла, связанные с функциональной и информационной безопасностью. Структура жизненного цикла определена стандартами по функциональной безопасности [13], которые рекомендуют использовать V-образный жизненный цикл. По нисходящей ветви жизненного цикла выполняется разработка системы, а по восходящей ветви – интеграция, сопровождаемая процедурами верификации и валидации на соответствие требованиям. Этапы жизненного цикла объекта железнодорожного транспорта представлены на рисунке 2.

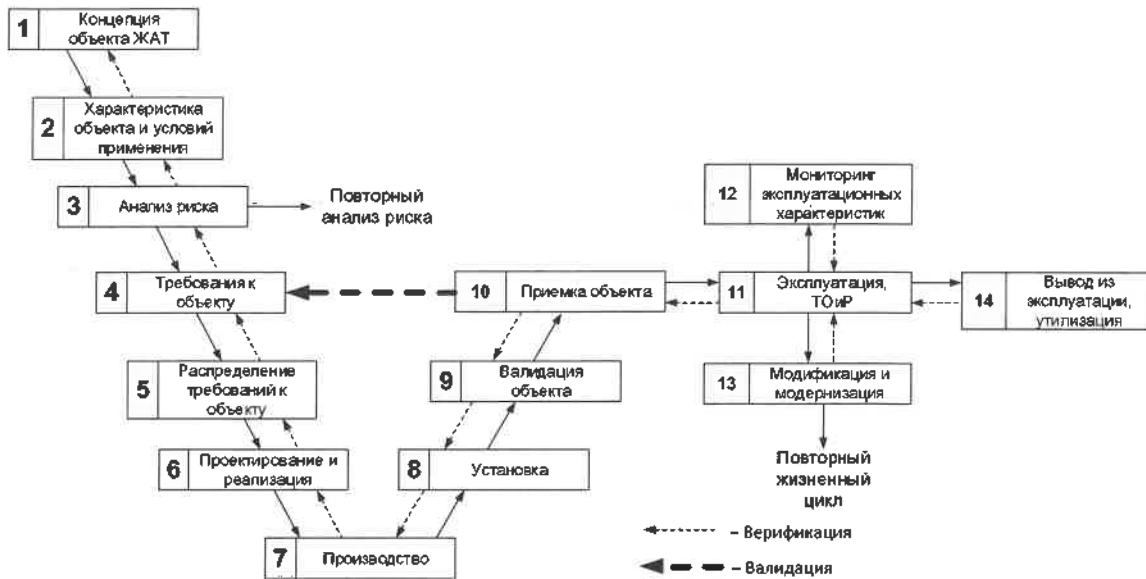


Рисунок 2 – Этапы жизненного цикла объекта железнодорожного транспорта

Согласно МЭК 61508 предметная область функциональной безопасности должна быть охвачена менеджментом функциональной безопасности. В свою очередь предметная область информационной безопасности в соответствии с МЭК 62443 должна быть охвачена менеджментом информационной безопасности.

Задачи, связанные с обеспечением информационной безопасности, можно интегрировать в жизненный цикл

функциональной безопасности на ранних этапах разработки. Подробное описание такого подхода с перечнем задач функциональной и информационной безопасности, решаемых на каждом этапе жизненного цикла, приведено в [9, 14]. Взаимодействие функциональной и информационной безопасности в процессе реализации жизненного цикла представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Взаимодействие функциональной и информационной безопасности

На этих этапах разработчик должен привлекать специалистов в области как функциональной, так и информационной безопасности. При этом в случае возникновения конфликтной ситуации выполнение требований функциональной безопасности должно иметь приоритет над требованиями информационной безопасности [9].

При таком подходе при проектировании и реализации объекта ЖАТ будут в равной мере учтены требования как функциональной, так и информационной без-

опасности. Разработчик сможет применять наиболее эффективные методы на различных уровнях защиты, что позволит не только повысить уровень защищенности системы от выявленных опасностей, но и исключить дублирование средств защиты.

На этапах жизненного цикла, связанных с валидацией и приемкой объекта, возникает задача подтверждения соответствия требованиям функциональной и информационной безопасности. Учитывая глубокую интеграцию

методов защиты, реализованной на ранних этапах жизненного цикла, такие работы желательно проводить в одной испытательной лаборатории, аккредитованной в области как функциональной, так и информационной безопасности.

Выводы. Использование методов функциональной безопасности позволяет в полном объеме решить задачи информационной безопасности для систем ЖАТ. Для всех угроз информационной безопасности существуют эффективные методы защиты, базирующиеся на стандартах по функциональной безопасности.

Для эффективного использования методов функциональной безопасности в целях обеспечения информационной безопасности необходимо выполнять эту работу на ранних стадиях разработки АСУ ТП, начиная с технического задания. При этом для исключения дублирования работ подтверждение соответствия требованиям функциональной и информационной безопасности желательно проводить в одной организации, аккредитованной в этих областях.

Список литературы

- 1 О Концепции информационной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Совета Безопасности Респ. Беларусь, 18 марта 2019 г., № 1 // ЭТА-ЛОН Online. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информации Респ. Беларусь. – Минск, 2019.
- 2 ТР ТС 003/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» (в редакции Решения Совета Евразийской экономической комиссии от 14 сентября 2021 г. № 90). – Минск : БелГИСС, 2022. – 38 с.
- 3 ГОСТ Р МЭК 61508-4–2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 4. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 28 с.
- 4 Бочков, К. А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / К. А. Бочков, А. Н. Коврига, С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 254 с.
- 5 Харлап, С. Н. Применение диверситета в автоматизированных системах управления опасными технологическими процессами для повышения устойчивости к систематическим отказам / С. Н. Харлап // Известия Транссиба. – 2020. – № 3 (43). – С. 148–157.
- 6 ГОСТ 33433–2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М. : Стандартинформ, 2016. – 36 с.
- 7 Надеждин, Ю. Безопасность АСУ ТП критически важных объектов / Ю. Надеждин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://lib.secuteck.ru/articles2/security-director/bezopasnost-asu-tp-kriticheski-vazhnyh-obektov>. – Дата доступа : 19.04.2022.
- 8 Мальнев, А. Противодействие реальным угрозам АСУ ТП / А. Мальнев // Information Security/ Информационная безопасность. – 2015. – № 4. – С. 26–28.
- 9 ГОСТ Р 59505–2021. Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Основные принципы обеспечения функциональной безопасности и защиты информации. – М. : Стандартинформ, 2021. – 28 с.
- 10 ГОСТ ИЕС 61508-3–2018. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Ч. 3. Требования к программному обеспечению. – М. : Стандартинформ, 2014. – 107 с.
- 11 ГОСТ Р МЭК 62280–2017. Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Требования к обеспечению безопасной передачи информации. – М. : Стандартинформ, 2017. – 49 с.
- 12 ГОСТ Р МЭК 62279–2016. Железные дороги. Системы связи, сигнализации и обработки данных. Программное обеспечение систем управления и защиты на железных дорогах. – М. : Стандартинформ, 2017. – 96 с.
- 13 ГОСТ 33432–2015. Безопасность функциональная. Политика, Программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта. – М. : Стандартинформ, 2016. – 22 с.
- 14 Скляр, В. В. Обеспечение безопасности АСУ ТП в соответствии с современными стандартами : метод. пособие / В. В. Скляр. – М. : ИнфраИнженерия, 2018. – 384 с.

Получено 27.09.2022

K. A. Bochkov, S. N. Kharlap, A. N. Kovriga. Ensuring information security of microelectronic systems of automatics and telemechanics of railway in life cycle of functional safety.

Approaches to ensuring functional and information security within uniform life cycle of systems of railway automatics and telemechanics are considered. The possibility of use of methods of ensuring functional safety for the solution of problems of information security is proved. Examples of ensuring availability, integrity and confidentiality of information are given by methods of functional safety. Problems of functional and information security which have to be solved within uniform life cycle are formulated.

УДК 621.391.825

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ИМПУЛЬСАМ ПРЕДНАМЕРЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

На основе использования принципа подобия и энергетического представления электромагнитного импульса преднамеренного воздействия рассмотрены подходы к прогнозированию устойчивости микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики к новому виду угроз – электромагнитному терроризму.

Современные системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) создаются на базе аппаратно-программных комплексов (АПК) с использованием быстродействующих микроэлектронных компонентов. При этом они становятся более уязвимыми по отношению к воздействию широкополосных импульсных помех.

Примерно два десятка лет назад появилось понятие электромагнитного терроризма, связанного с воздействием преднамеренных электромагнитных помех (ПЭМП) на микроэлектронную элементную базу. В настоящее время проблема борьбы с терроризмом становится всё более актуальной в связи с предпринимаемыми попытками атак на критическую инфраструктуру. Микроэлектронные СЖАТ относятся к критически важным объектам инфраструктуры (КВОИ) как непосредственно отвечающие за безопасность движения поездов.

Наибольшую опасность для микроэлектронных АПК СЖАТ представляют как одиночные, так и пачки электромагнитных импульсов преднамеренного воздействия (ЭИПВ) в наносекундном диапазоне, сопоставимые по длительности с тактовыми импульсами микропроцессоров и микроконтроллеров. Характерной особенностью СЖАТ является их территориальная рассредоточенность на станциях и перегонах и отсутствие периметров охраны, что увеличивает количество мест возможного преднамеренного воздействия электромагнитными импульсами на некотором расстоянии по свободному пространству. Поэтому прогнозирование устойчивости микроэлектронных СЖАТ к ЭИПВ является актуальным вопросом. Это особенно важно на этапах разработки и испытаний микроэлектронных СЖАТ.

Существуют два подхода к решению проблемы устойчивости микроэлектронных систем к ЭИПВ. Первый, наиболее распространенный, основан на физическом моделировании воздействия ЭИПВ на исследуемую систему (устройство) с помощью специальных, достаточно сложных и дорогостоящих, генераторов. Такие испытания приводят, как правило, к деструктивным последствиям для элементов. Анализ путей проникновения помех и способов защиты от ЭИПВ при этом становится очень сложным, а иногда и невозможным. Эта же проблема возникает и при прогнозировании устойчивости микроэлектронных систем в зависимости от размеров возможной зоны поражения и использовании различных способов и средств экранирования и геометрической ориентации наиболее ответственных плат в экранированных корпусах с неоднородностями.

Второй подход основан на использовании принципа подобия. Суть подхода заключается в использовании стандартного генератора наносекундных импульсов помех, характеристики которого по длительности фронта импульса близки к параметрам ЭИПВ за исключением энергии. Таким параметрам соответствуют генераторы электростатических разрядов (ЭСР) по ГОСТ 30804.4.2, ГОСТ Р 50607.

Тогда, используя генератор ЭСР и проводя испытания устройств микроэлектронных СЖАТ путем непосредственного воздействия на неоднородности (апертуры) корпусов этих устройств, можно при помощи методов аналитического анализа механизма проникновения ЭИПВ прогнозировать возможные результаты воздействия ЭИПВ исходя из мощности и расстояния применения используемого генератора. Это позволит также оценить адекватность (применимость) пакетов моделирования, используемых для прогнозирования последствий проникновения ПЭМП в корпуса аппаратуры микроэлектронных СЖАТ численными методами анализа электромагнитных полей, в частности, методом конечных элементов в программе Ansys ED.

Моделирование в пакете Ansys ED позволяет учесть наличие нескольких паразитных антенн и интерференцию их излучения (рисунок 1), что важно при сложной конструкции объекта испытаний. Используя моделирование, можно тестировать надежность средств защиты, не повреждая объект. На рисунке 1, а приведена 3D-модель корпуса объекта испытаний с апертурами и установленными в разных плоскостях платами, для которых оценивается воздействие импульса от источника вне корпуса. На платах отображается распределение электрического поля в конкретный момент времени. На рисунке 1, б приведен график тока испытательного импульса по ГОСТ 30804.4.2. На рисунке 1, в приведен график мощности, приходящейся на исследуемую плату внутри корпуса.

Тем не менее из-за большого объема вычислений методы моделирования не позволяют в полной мере решать задачи прогнозирования воздействия ЭИПВ, т. к. построение математической модели и расчёт характеристик для электродинамических систем сложной конфигурации часто является слишком трудоёмкой задачей.

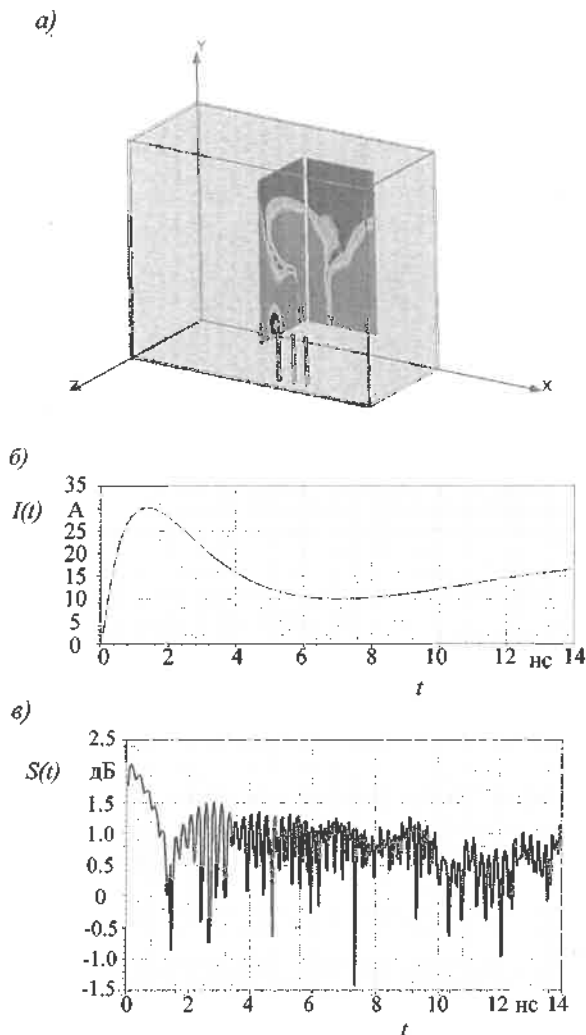


Рисунок 1 – Представление результатов моделирования: а – 3D-модель объекта испытаний; б – график испытательного импульса; в – график мощности сигнала на элементе внутри корпуса

Кроме того, методу конечных элементов присущи погрешности, которые могут негативно сказаться на адекватности результатов моделирования воздействия ЭИПВ на аппаратуру микроэлектронных СЖАТ. Указанные погрешности метода конечных элементов связаны:

- с ошибками дискретизации, являющимися результатом геометрических различий границы рассматриваемой области и ее модели;
- ошибками базисной функции, обусловленными разностью между точным решением и его представлением в виде комбинации базисных функций заданного вида;
- ошибками округления, связанными с конечной длиной разрядной сетки компьютера и большим числом операций, выполняемых при решении задачи методом конечных элементов.

Следовательно, необходимо осуществить оценку и анализ погрешности численных методов, реализованных в программах моделирования. Для такой оценки предлагается сравнить результаты, полученные при моделировании, с результатами, полученными при натуральных испытаниях с использованием принципа подобия.

Для решения проблемы устойчивости микроэлектронных СЖАТ к ЭИПВ требуется также осуществить анализ распространения преднамеренных помех от ге-

нератора помех к респектору. Наиболее скрытым является воздействие по свободному пространству. В этом случае основным механизмом воздействия ЭИПВ является проникновение в корпуса аппаратуры СЖАТ через апертуры (неоднородности) в этих корпусах, которые ухудшают качество экранирования.

В статье предлагается осуществлять анализ и прогнозирование воздействия ЭИПВ энергетическим подходом. Основным расчетным соотношением этого подхода является выражение для частотного спектра ЭИПВ [1]

$$S(j\omega) = \frac{\sqrt{60PG}}{r} e^{-\gamma r} \int_{-\infty}^{+\infty} A_{\text{ЭИПВ}}(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

где S – спектральная функция, В·с; P – мощность генератора, Вт; G – коэффициент направленности антенны; r – расстояние, м; γ – коэффициент затухания, 1/м; $A_{\text{ЭИПВ}}(t)$ – временная функция импульса; ω – круговая частота, рад/с; t – время, с.

Для упрощения записи вводится параметр антенны, $FOM = \sqrt{60PG}$, численно равный амплитуде напряженности электрического поля антенны на расстоянии 1 метр в направлении максимального излучения. Тогда из (1) могут быть получены соотношения для расчета величин, необходимых для оценки вклада ЭИПВ в электромагнитную обстановку (ЭМО) на месте эксплуатации аппаратуры СЖАТ [1]:

– амплитуда напряженности поля принимаемого паразитной антенной импульса преднамеренного воздействия

$$E_{\text{мпр}} = \frac{FOM}{r} e^{-\gamma r}; \quad (2)$$

– интенсивность помех

$$I = \frac{FOM^2}{\pi r^2} e^{-\gamma r}; \quad (3)$$

– вносимая в систему энергия

$$W = I \int_{-\infty}^{+\infty} A_{\text{ЭИПВ}}(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (4)$$

Наибольший интерес для практических целей представляет выражение (2). Оно является аналогом уравнения радиозлектронной борьбы [2]. С его помощью решаются две основные задачи анализа вклада генераторов ЭИПВ в электромагнитную обстановку (ЭМО).

Для оценки воздействия ЭИПВ и прогнозирования устойчивости микроэлектронных СЖАТ необходимо решение двух задач. Первая задача – определение мощности и коэффициента направленности антенны генератора ЭИПВ, необходимых для создания в месте расположения аппаратуры СЖАТ помех, превышающих порог восприимчивости этой аппаратуры. Вторая задача – определение радиуса поражения для данного генератора ЭИПВ и для данной аппаратуры СЖАТ.

Из (2) следует уравнение для радиуса поражения $r_{\text{пор}}$ по известной амплитуде принимаемого импульса, соответствующей порогу восприимчивости технических средств ЖАТ:

$$\frac{e^{-\gamma r_{\text{пор}}}}{r_{\text{пор}}} = \frac{FOM}{E_{\text{мпр}}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) является трансцендентным по Эйлеру. Его решение возможно численными или графическими методами. Также принципиально возможно преобразовать его в алгебраическое путем разложения экспоненты в ряд Тейлора. Этим способом можно получить уравнения третьей или четвертой степени, решение которых возможно по замкнутыми формулам.

Так как все перечисленные способы решения уравнения (5) являются в той или иной степени приближенными, то для инженерного анализа предложены упрощенные методы.

Метод, указанный в [3], базируется на понятии области потенциального электромагнитного взаимодействия. На основании известного соотношения для плотности потока энергии электромагнитного излучения [3, 4]

$$\Pi = \frac{PG}{4\pi r^2} = \frac{FOM^2}{240\pi r^2}, \quad (6)$$

где Π – плотность потока энергии, Дж/м², можно получить выражение для максимального радиуса поражения

$$R_{\max} = \frac{FOM}{2\sqrt{60\pi\Pi_{\min}}}, \quad (7)$$

где Π_{\min} – плотность потока энергии, соответствующая порогу восприимчивости ТС ЖАТ.

В [5] для оценки воздействия источников радиопомех на микроселектронные рецепторы вводится параметр «степень влияния» K :

$$K = \frac{P_{\text{спк}}}{P_{\text{ист}}}, \quad P_{\text{спк}} = \frac{FOM^2}{240\pi r^2 \Delta f}, \quad (8)$$

где $P_{\text{спк}}$ – спектральная плотность энергии генератора на расстоянии r , Вт/Гц; $P_{\text{ист}}$ – мощность генератора помех, Вт; Δf – полоса частот генератора, Гц.

Оба метода основаны на пренебрежении явлениями затухания, поэтому дают завышенные оценки, которые допустимы для практики по принципу наихудших условий.

При анализе воздействия ЭИПВ на системы ЖАТ последний способ неудобен тем, что затруднительно установить спектральную плотность энергии помех, соответствующую порогу восприимчивости ТС ЖАТ. Поэтому для рассмотрения СЖАТ рационально использовать соотношение (7) либо уравнение-аналог уравнения радиоэлектронной борьбы (2).

В обоих подходах требуется определить величины, характеризующие порог восприимчивости ТС ЖАТ. Этот порог может быть определен косвенным способом путем моделирования на компьютере или путем непосредственного воздействия на паразитные антенны корпусов микроселектронной аппаратуры СЖАТ импульсами генератора-имитатора помех, эквивалентными ЭИПВ известной формы. Импульсы испытательных генераторов чаще всего являются биэкспоненциальными. Импульсы преднамеренного воздействия имеют достаточно разнообразные формы. Параметры импульсов преднамеренного воздействия, эквивалентных воздействующим на паразитные антенны биэкспоненциальным импульсам, целесообразно

определять по спектрально-энергетическому способу вывода условий эквивалентности импульсов [6]. В этом способе эквивалентные импульсы имеют одинаковую энергию, которая определяет последствия воздействия импульса на рецепторы, и одинаковую полосу частот, которая определяет проникающую способность импульсов через каналы проникновения. Таким способом определяется амплитуда напряжения ЭИПВ, излучаемого внутрь корпуса микроселектронного ТС ЖАТ.

Амплитуда напряжения импульса и амплитуда напряженности поля в раскрыте паразитной антенны связаны геометрическим параметром антенны x [6, 7]

$$E_{\text{мизл}} = \frac{U_{\text{мизл}}}{x}. \quad (9)$$

Векторы Пойнтинга принимаемого паразитной антенной импульса и импульса, излучаемого антенной в корпус ТС ЖАТ связаны соотношением

$$\Pi_{\text{пр}} A_{\text{эф}} = \Pi_{\text{изл}} A_{\text{геом}}, \quad (10)$$

где $\Pi_{\text{пр}}$, $\Pi_{\text{изл}}$ – модули векторов Пойнтинга, Вт/м², $A_{\text{эф}}$ – эффективная площадь антенны, м²; $A_{\text{геом}}$ – геометрическая площадь антенны, м².

Тогда

$$\Pi_{\text{пр}} = \Pi_{\text{изл}} \frac{A_{\text{геом}}}{A_{\text{эф}}} = \frac{E_{\text{мизл}}}{240\pi} \frac{A_{\text{геом}}}{A_{\text{эф}}} = \frac{E_{\text{мизл}}}{240\pi} \frac{1}{K_n}, \quad (11)$$

где K_n – коэффициент использования антенны.

Из (10) и (11) следует, что

$$E_{\text{мпр}} = \frac{E_{\text{мизл}}}{\sqrt{K_n}}. \quad (12)$$

Если известна амплитуда напряжения излучаемого импульса (импульса генератора-имитатора помех, эквивалентного ЭИПВ), соответствующая порогу восприимчивости ТС ЖАТ, то выражения (9), (11) и (12) позволяют вычислить параметры принимаемого паразитной антенной импульса преднамеренного воздействия, поступающего от генератора ЭИПВ и соответствующего порогу восприимчивости. Эти параметры являются исходными данными для выполнения расчетов по (5) и (7).

Достоинство описанного в статье косвенного метода определения порога чувствительности ТС ЖАТ с помощью генератора-имитатора импульсных помех заключается в том, что исходные данные для прогнозирования воздействия генераторов ЭИПВ и решения указанных выше возникающих при этом задач получаются без проведения разрушающих испытаний ТС ЖАТ на уникальных испытательных установках, которыми зачастую являются испытательные генераторы ЭИПВ.

Таким образом допустим вывод, что энергетический подход дает возможность выполнить анализ и прогнозирование воздействия ЭИПВ на микроселектронные и микропроцессорные СЖАТ и получить адекватные результаты, отражающие особенности указанных систем как критически важных объектов информатизации с высокими требованиями по функциональной безопасности.

Также можно сделать вывод, что использование принципа подобия при испытаниях устойчивости микроэлектронных СЖАТ к ЭИПВ позволяет получить информацию, необходимую для оценки результатов компьютерных расчетов, и для определения порога восприимчивости СЖАТ. Поэтому принцип подобия может быть внедрен в практику работы испытательных центров и лабораторий.

Список литературы

1 **Иванов, В. А.** Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / В. А. Иванов, Л. Я. Ильницкий, М. И. Фузик. – Киев : Техника, 1983. – 189 с.

2 Радиоэлектронная борьба. Силовое подавление радиоэлектронных систем / В. Д. Добыкин [и др.] ; под ред. А. И. Куприянова. – М. : Вузовская книга, 2007. – 468 с.

3 **Мордачев, В. И.** Системная экология сотовой радиосвязи / В. И. Мордачев. – Минск : Изд. центр БГУ, 2009. – 319 с.

4 **Аполлонский, С. М.** Расчеты электромагнитных полей / С. М. Аполлонский, А. Н. Горский. – М. : Маршрут, 2006. – 992 с.

5 **Пименов, П. М.** Метод оценки помехоустойчивости средств широкополосного радиодоступа к воздействию сверхкоротких электромагнитных импульсов : дис. ... канд. техн. наук : 05.12.13 / П. М. Пименов ; Московский научно-исследовательский радиотехнический институт. – М., 2015. – 133 с.

6 **Бочков, К. А.** Элементы моделирования электромагнитной совместимости устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / К. А. Бочков, Д. В. Комнатный. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 185 с.

7 **Фальковский, О. И.** Техническая электродинамика / О. И. Фальковский. – М. : Связь, 1978. – 432 с.

Получено 28.10.2022

K. A. Bochkov, D. V. Komnatny, I. O. Zhigalin. Prediction of the stability of railway automatics and telemechanics microelectronic systems to electromagnetic impulses of intentional impact.

Based on the use of the principle of similarity and the energy representation of an electromagnetic impulse of intentional impact, approaches to predicting the stability of microelectronic systems of railway automatics and telemechanics to a new type of threat – electromagnetic terrorism are considered.

УДК 621.314

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

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ ЕЕ УВЛАЖНЕНИИ

Анализируются результаты экспериментов с однофазными трансформаторами малой мощности, применяемых при продольном электроснабжении железнодорожных потребителей и в линиях автоматической блокировки. Эксперименты проводились при воздействии влаги на изоляцию обмоток, что значительно влияет на ее сопротивление постоянному току, межобмоточные емкости, тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициенты абсорбции и поляризации. Полученные результаты в графическом виде авторы используют в качестве дополнительных исходных данных разработанной системы, основанной на применении сверточных нейронных сетей с целью диагностики, классификации неисправностей трансформаторов и оценки остаточного ресурса.

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.

Существующая система технического диагностирования трансформаторов требует доработки. Это объясняется следующими причинами: используемая на практике нормативная документация по эксплуатации трансформаторов не учитывает в полной мере современных методов по технической диагностике; отсутствием современных знаний по технической диагностике у выпускников высших учебных заведений и низкой квалификации в этой области у лиц, принимающих решения; недоверием к новой организации ремонта и нежеланием уходить от системы организации ремонта энергетического оборудования по регламенту из-за складываемых значительных денежных средств на проведение ремонтных работ по старой схеме; недостаточным количеством, высокой стоимостью современных и эффективных приборов технического диагностирования; плохой организацией повышения квалификации специалистов всех уровней по проблемам технической диагностики оборудования; низкой достоверностью проводимых диагностических работ.

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; значительно сократить стоимость ремонтных работ; исключить повторные дефекты.

В Республике Беларусь и за рубежом в последнее время наблюдается тенденция перехода от планово-предупредительных ремонтов к ремонту по фактическому состоянию оборудования [1]. Для 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 [2, 3]. Такие системы помогают выявлять различного вида дефекты, некоторые – фор-

мировать технические рекомендации по продлению срока эксплуатации, планировать сервисное обслуживание и ремонтные циклы.

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. Этот недостаток можно ликвидировать за счет применения самообучающихся интеллектуальных систем. Применение искусственных нейронных сетей 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. Причем с ростом числа исследований снижается вероятность ошибки, а системный подход позволяет оценить множество факторов между собой в динамике [4–6].

Большинство производителей программного обеспечения и оборудования в сфере мониторинга состояния трансформаторов достигли значительных результатов. В то же время существующие технологии в сфере программного обеспечения позволяют перейти на качественно новый уровень, связанный с применением алгоритмов машинного обучения.

Состояние изоляции обмоток трансформатора можно оценить, измеряя всего несколько параметров: сопротивление изоляции постоянно току, коэффициенты абсорбции DAR , поляризации PI и диэлектрического разряда DD . Значения этих величин позволяют обнаружить расслоение и загрязнение, определить ток утечки, степень влажности и старения, т. е. сделать вывод о пригодности изоляции к дальнейшей эксплуатации.

В настоящее время разработано, проверено на практике и закреплено в стандартах три метода определения степени увлажненности трансформаторов, связанных с измерением емкостей обмоток трансформаторов [7]. Одним из таких методов испытания является «емкость – время» с помощью прибора ЕВ-3. При этом методе производится заряд емкости изоляции, а затем быстрый разряд и медленный. 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.

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 и у сухой изоляции, из-за чего емкостные методы в этом случае неэффективны.

Широко используется для оценки состояния волокнистой изоляции обмоток класса А (например, обмоток трансформаторов) емкостно-температурный метод. Он заключается в сравнении величин емкости обмоток при разных температурах, различающихся на 50 °С при условии, что низшая температура не ниже +20 °С. Метод основан на том, что емкость сухой изоляции мало изменяется с нагревом, а емкость влажной изменяется не менее чем на 5–10 %.

Кроме емкостно-температурного метода для оценки состояния волокнистой изоляции класса А используется метод частотной зависимости емкости – метод емкостно-частотный [7]. При этом методе емкость изоляции измеряется на частотах 2 и 50 Гц.

В качестве объекта исследования использовались однофазные трансформаторы малой мощности с воздушным и масляным охлаждением, применяемые при продольном электроснабжении железнодорожных потребителей и в линиях автоматической блокировки. Эксперименты проводились на протяжении десяти суток при температуре 20–25 °С и воздействии относительной влажности 87 %. Испытание изоляции первичной и вторичной обмоток трансформатора повышенной влажностью значительно влияет на ее сопротивление постоянному току, межобмоточные емкости и тангенс угла диэлектрических потерь, коэффициенты абсорбции и поляризации. Параметры изоляции контролировались в течение 10 суток, на основании которых были сформированы графические инструменты, являющиеся исходными данными для сверточных нейронных сетей.

Материал представленных исследований продолжает тематику применения искусственных нейронных сетей с целью диагностирования и классификации неисправностей трансформаторов [8–11].

Таблица 1 – Оценка качества изоляции

Индекс поляризации	Коэффициент абсорбции	Качество изоляции
<1	<1,25	Опасное
1–2		Несоответствующее
2–4	1,25–1,6	Хорошее
>4	>1,6	Отличное

Таблица 2 – Результаты измерений для оценки качества изоляции

Сутки	R_{15}	R_{60}	R_{600}	DAR	PI
	МОм				
0	481	798	2000	1,659044	2,50627
1	273	491	1133	1,798535	2,30754
2	140	245	519	1,750000	2,11837
3	95	180	318	1,894737	1,76666
4	86	133	232	1,546512	1,74436
5	58	104	140	1,793103	1,34615
6	55	65	81	1,181818	1,24615
7	61	66	60	1,081967	0,90909
8	41	47	50	1,146341	1,06383
9	37	40	36	1,081081	0,90000
10	32	30	29	0,937500	0,96667

При испытании изоляции согласно ТКП 181–2009 сопротивление измерялось мегомметром MS5201 (на напряжение 1000 В (ГОСТ 3484.3–88 допускает его применение для измерения сопротивления изоляции трансформаторов с высшим напряжением до 10 кВ включительно). Характерными временными отсчетками при выполнении измерений сопротивления изоляции обмоток являлись следующие: 15 секунд после начала измерения (R_{15}); 60 секунд (R_{60}); 600 секунд (R_{600}).

Данные измерения необходимы для определения действительного сопротивления (R_{60}), а также коэффициента абсорбции и индекса поляризации.

Коэффициент абсорбции DAR (*Dielectric Absorption Ratio*) – это коэффициент диэлектрического поглощения, отражающий степень увлажненности диэлектрика изоляции. Коэффициент используется для принятия решения о необходимости просушки гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов. Метод измерения основан на сравнении величин сопротивления изоляции, измеренных через 15 и 60 секунд после начала испытаний:

$$DAR = R_{60} / R_{15}$$

Индекс поляризации PI (*Polarization Index*) показывает способность заряженных частиц перемещаться в диэлектрике под воздействием электрического поля, что определяет степень старения изоляции. Метод измерения основан на сравнении величин сопротивления изоляции через 60 и 600 секунд после начала испытаний:

$$PI = R_{600} / R_{60}$$

В таблице 1 приведены критерии оценки качества изоляции, основанные на результатах измерений индекса поляризации и коэффициента абсорбции.

Измерения проводились между первичной обмоткой и корпусом, так как данная обмотка находится ближе всех остальных к корпусу. Соответственно, при попадании влаги в первую очередь подвергается ее воздействию изоляция первичной обмотки. В таблице 2 частично приводятся результаты оценки качества изоляции.

Согласно ТКП181–2009 сопротивление изоляции сухих трансформаторов с высшим напряжением до 1 кВ включительно при температуре обмоток 20–30 °С должно быть не менее 100 МОм. Коэффициент абсорбции изоляции трансформаторов с высшим напряжением до 35 кВ и мощностью до 1000 кВ·А, при температуре 10–30 °С должен быть не менее 1,3.

Как видно из таблицы 2, при уменьшении действительного сопротивления изоляции со 104 до 65 МОм происходит резкое уменьшение коэффициента абсорбции с 1,79 до 1,18. Также с уменьшением действительного сопротивления (R_{60}) происходит и постепенное уменьшение индекса поляризации PI . Графики изменений сопротивления и индекса поляризации представлены на рисунке 1.

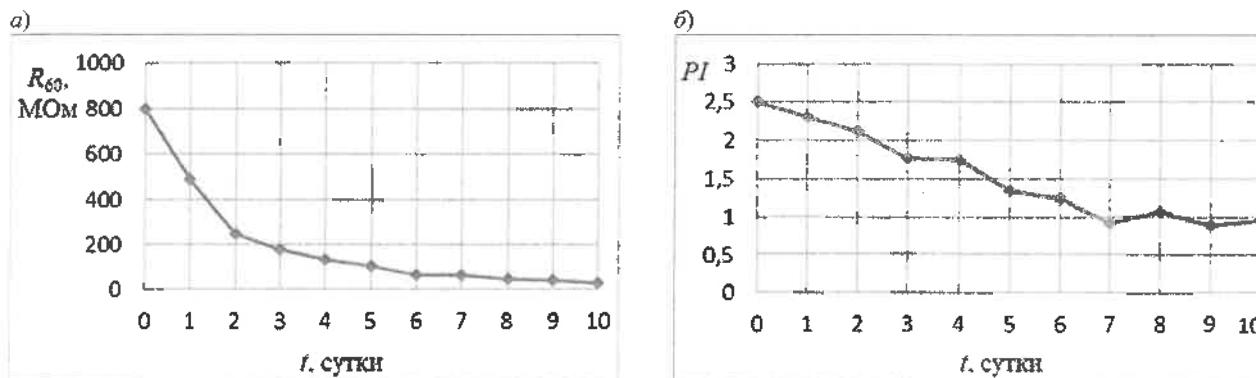


Рисунок 1 – Графики изменений действительного сопротивления (а) и индекса поляризации (б)

Кроме сопротивления изоляции трансформатора были также измерены межобмоточные емкости, представленные на рисунке 2, а и тангенсы угла диэлектрических

потерь на частоте $f=100$ Гц.

Измерения проводились с помощью RLC -метра MS5308. Часть результатов измерений приведена в таблице 3.

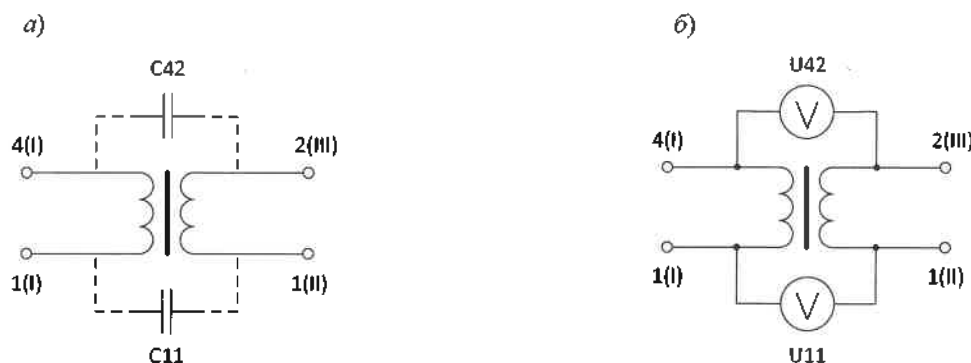


Рисунок 2 – Схема трансформатора ПОБС-5АУ3 с учетом межобмоточных емкостей (а) и межобмоточных напряжений (б)

Таблица 3 – Результаты измерений межобмоточных емкостей и тангенсов углов диэлектрических потерь

Сутки	C11	C42	$tg\delta_{11}$	$tg\delta_{42}$
	пФ			
0	251	251	0,202	0,202
1	328	327	0,267	0,266
2	355	353	0,339	0,336
3	385	384	0,388	0,387
4	405	403	0,445	0,444
5	456	455	0,540	0,544
6	515	512	0,653	0,650
7	541	543	0,674	0,681
8	571	569	0,743	0,728
9	654	653	0,785	0,784
10	746	743	0,890	0,884

Следует отметить, что емкость C_{11} мало отличается от C_{42} , так же как и тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta_{11}$ от $tg\delta_{42}$.

Как видно из таблицы 3, при воздействии влаги на изоляцию обмотки, емкость и тангенс угла диэлектрических потерь увеличиваются. С изменением емкостей C_{11} и C_{42} , а также сопротивления изоляции, ме-

няться будут и межобмоточные напряжения, схема измерения которых представлена на рисунке 2, б.

Измерения проводились с помощью двухканального осциллографа MDSO ISDS205A.

Для учета не только величин данных напряжений, но и их начальных фаз, были построены фигуры Лиссажу, для различных состояний изоляции трансформатора. Данные фигуры представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, фигуры Лиссажу при нормальном состоянии трансформатора ($R_{60} \geq 100 \text{ МОм}$) практически не отличаются. Фигура Лиссажу с ростом увлажненности изоляции обмоток изменяет свои размеры и наклон.

При этом характер (емкостной, индуктивный или активный) и величина (коэффициент нагрузки изменялся от холостого хода до 1,2 номинальной нагрузки) нагрузки не изменяют данные фигуры (рисунок 4).

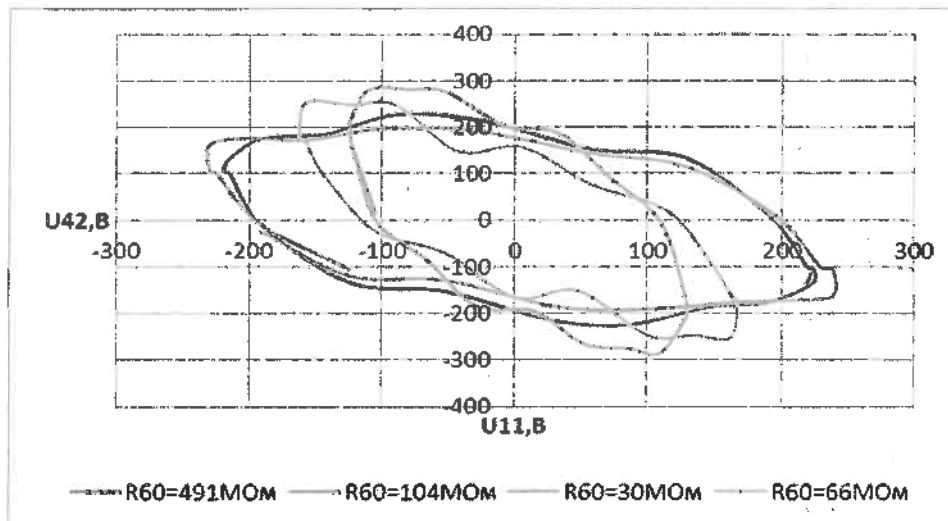


Рисунок 3 – Фигуры Лиссажу межобмоточных напряжений при различных состояниях изоляции трансформатора



Рисунок 4 – Фигуры Лиссажу при различных видах нагрузки

Полученные фигуры Лиссажу можно использовать для оценки качества изоляции. Данные графические материалы авторы используют в качестве дополнительных исходных данных разработанной системы, основанной на применении сверточных нейронных сетей с целью диагностики, классификации неисправностей трансформаторов и оценки остаточного ресурса [8–11].

Анализ состояния однофазных трансформаторов типа ОЛ и ОМ, применяемых при продольном электропитании железнодорожных потребителей и в линиях автоматической блокировки, можно организовать как при плановых лабораторных испытаниях, так и в полевых условиях.

Разработанная технология представления исходных данных в виде большого числа контролируемых параметров, связанных между собой и изменяющихся по сложным регрессионным зависимостям под воздействием различных факторов (напряжение, температура, влажность и пр.) в виде фигур Лиссажу для сверточных

нейронных сетей, позволяет: сократить затраты на создание и обновление базы данных испытаний; выявлять и классифицировать неисправности; оценивать остаточный ресурс трансформатора; самосовершенствоваться на основе накопления опыта реальных ситуаций.

Список литературы

- 1 Яхья, А. А. Байесовский классификатор как средство повышения эффективности распознавания дефектов в силовых трансформаторах / А. А. Яхья, В. М. Левин // Проблемы энергетики. – 2019. – № 21 (6). – С. 11–18.
- 2 Комбинированные системы сбора передачи технологической и диагностической информации АСУ ТП электроустановок / А. Н. Васев [и др.] // Проблемы энергетики. – 2018. – № 20 (11–12). – С. 16–26.
- 3 Кубарев, А. Ю. Методы исследования свойств дефектного электрооборудования / А. Ю. Кубарев, А. Б. Акпрова, Ю. Е. Кубарев // Проблемы энергетики. – 2018. – № 20(3–4). – С. 108–115.
- 4 Вопросы реализации оценки технического состояния силового оборудования на электрических подстанциях / А. И. Халь-

ясмаа [и др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 1 (45). – С. 289–300.

5 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.

6 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.

7 Казарновский, Д. М. Испытание электроизоляционных материалов / Д. М. Казарновский. – Л. : Энергия, 1980. – 214 с.

8 Пехота, А. Н. Технология использования сверточных нейронных сетей при диагностике состояния трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Вестник

Полоцкого государственного университета. Сер. С. Физико-математические науки (физика). – 2021. – № 7. – С. 63–69.

9 Пехота, А. Н. Диагностика трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2021. – № 2. – С. 30–36.

10 Пехота, А. Н. Технология применения диагностического комплекса трансформаторов / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2022. – № 3. – С. 26–30.

11 Галушко, В. Н. Повышение надежности трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета при межвитковых коротких замыканиях сетей / В. Н. Галушко, И. Л. Громыко, С. И. Зайцев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 85–89.

Получено 15.10.2022

I. L. Gromyko, D. V. Miroch, V. N. Galushko, A. N. Evdasev. Diagnostics of winding insulation quality parameters transformers when its humidification.

The materials of the article analyze the results of experiments with low-power single-phase transformers used in the longitudinal power supply of railway consumers and in automatic blocking lines. The experiments were carried out under the influence of moisture on the insulation of the windings, which significantly affects its resistance to direct current, interwinding capacitances, dielectric loss tangent, absorption and polarization coefficients. The authors use the obtained results in graphical form as additional initial data of the developed system based on the use of convolutional neural networks for the purpose of diagnosing, classifying transformer faults and evaluating the residual life.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.05

*С. А. АЗЕМША, кандидат технических наук; В. М. МОРОЗОВ, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОГО ОПРОСА ЖИТЕЛЕЙ ГОМЕЛЯ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ И ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

Качество работы городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ) оказывает влияние на структуру транспортного спроса населения городов. Ухудшение показателей его работы, несомненно, повлечет смещение транспортного спроса в сторону использования личных легковых автомобилей. Такое смещение дает ряд негативных последствий в виде роста интенсивности движения, аварийности, загазованности, что с течением времени отражается на здоровье людей, качестве и продолжительности их жизни. Поэтому разработка и реализация мероприятий, направленных на повышение привлекательности ГОПТ, является актуальной задачей, успешное решение которой позволит сместить транспортный спрос в сторону использования ГОПТ, что, в свою очередь, позволит снизить негативные последствия автомобилизации. Одним из способов разработки таких мероприятий является проведение опросов жителей городов.

В данной статье приведены некоторые результаты транспортного опроса жителей г. Гомеля. На основании их анализа предлагаются мероприятия, направленные на повышение эффективности работы и привлекательности ГОПТ, и обосновывается выбор одного из них. Также дана экономическая оценка реализации такого мероприятия.

Введение. Транспорт в городах оказывает огромное влияние на экологию, аварийность, физическую активность граждан и, как следствие, на здоровье, продолжительность и качество жизни граждан. При таком влиянии общественного транспорта на жизнь горожан становится очевидно, что меры, направленные на смещение транспортного спроса с личного автомобиля в сторону использования общественного транспорта, крайне актуальны. Одним из способов разработки таких мер может быть анкетирование пользователей транспортных услуг.

Постановка задачи. В рамках проведения исследования ставилась задача оценить мнение жителей г. Гомеля о работе ГОПТ методом транспортного опроса, выявить возможные направления повышения эффективности и привлекательности работы ГОПТ г. Гомеля, обосновать целесообразность реализации одного из них и посчитать экономический эффект от такой реализации.

Основная часть.

Для достижения сформулированных задач в г. Гомеле был проведен транспортный опрос [1]. Его результаты показывают, что из 2894 человек 2228 (77 %) постоянно (каждый день или почти каждый день) пользуются общественным транспортом. Они составляют категорию часто пользующихся общественным транспортом. Остальные 23 % опрошенных указали, что пользуются общественным транспортом несколько раз в месяц или почти никогда. Эти респонденты были отнесены к категории редко пользующихся общественным транспортом.

Каждой из этих категорий респондентов было задано два вопроса.

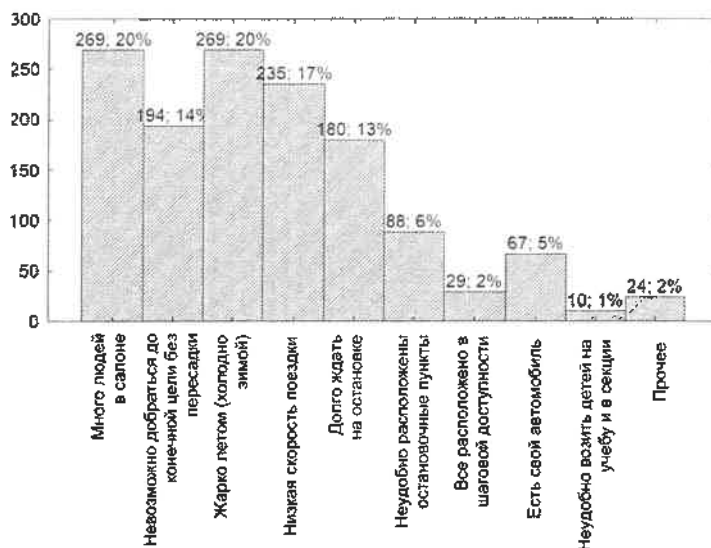
Вопросы категории редко пользующихся общественным транспортом.

1 «Почему Вы предпочитаете не использовать общественный транспорт для ежедневных передвижений?». В качестве вариантов ответа на данный вопрос предлагалось выбрать любое количество из следующих причин: неудобно расположены остановочные пункты; долго ждать на остановке; низкая скорость поездки; много людей в салоне; жарко летом (холодно зимой); я считаю это ниже своего достоинства; невозможно добраться до конечной

цели без пересадки; другое. В варианте ответа «Другое» респонденты могли указать любую иную причину, не вошедшую в список предлагаемых ответов. Анализ вариантов ответов, написанных респондентами в поле «Другое», позволил сгруппировать их в следующие укрупненные группы: «Все расположено в шаговой доступности», «Есть свой автомобиль», «Неудобно возить детей на учебу и в секции» и «Прочее», которые были добавлены к описанным выше и предлагаемым по умолчанию вариантам ответа. При этом предлагаемый по умолчанию вариант ответа «Я считаю это ниже своего достоинства» был выбран один раз и был переведен в категорию «Прочее». На рисунке 1, а приведена гистограмма распределения ответов. Всего было дано 1365 вариантов ответов на данный вопрос. Из рисунка 1, а видно, что наиболее частыми причинами редкого пользования общественным транспортом являются: много людей в салоне (20 %), жарко летом/холодно зимой (20 %), низкая скорость поездки (17 %).

2 «Ваши предложения по улучшению работы транспортной системы города». Тут респонденты указывали конкретные или общие мероприятия, которые, по их мнению, должны улучшить работу транспортной системы города. Анализ таких предложений позволил обобщить их в следующие группы: все устраивает; выделить полосу для общественного транспорта; кондиционеры летом/подогрев зимой; обновление/своевременный ремонт парка; оптимизация вместимости; оптимизация маршрутной сети; оптимизация расписания/интервалов движения; повышение скорости движения; прочее; реконструкция, строительство дорог, развязок, разноуровневых пешеходных переходов, карманов; соблюдение регулярности; совершенствование информационного обеспечения; совершенствование сбора платы за проезд; строительство метро / скоростной электрички; улучшение качества дорожного покрытия. Предложения каждого респондента могли входить более чем в одну из перечисленных выше групп. На рисунке 1, б приведена гистограмма распределения ответов на данный вопрос, где видно, что данная категория респондентов наиболее часто предлагает оптимизацию маршрутной сети (27 %) и оптимизацию расписания / интервалов движения (17 %).

а)



б)

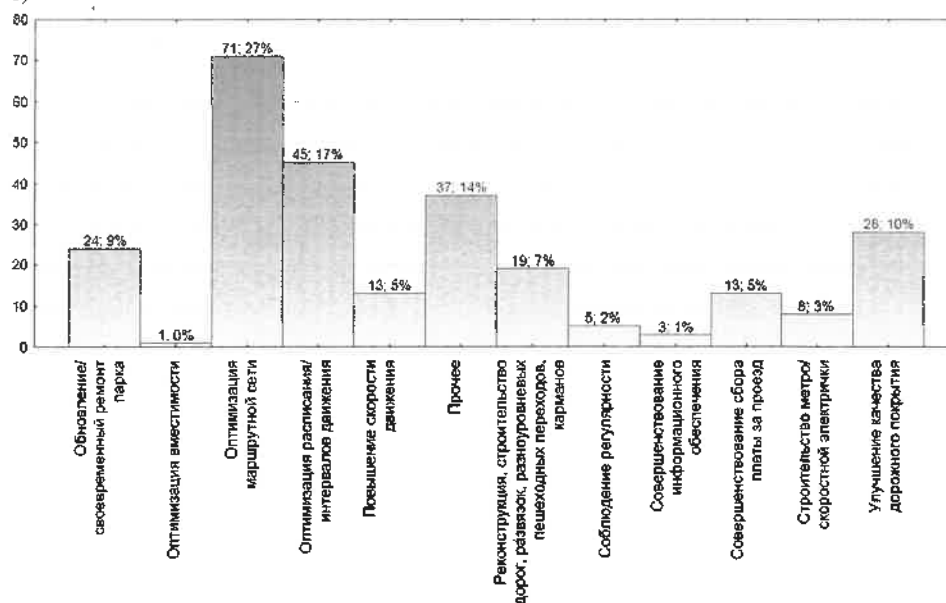


Рисунок 1 – Результаты опроса респондентов, редко пользующихся общественным транспортом:
 а – распределение причин неиспользования общественного транспорта для ежедневных перемещений;
 б – распределение предложений по совершенствованию транспортной системы г. Гомель

Вопросы категории часто пользующихся общественным транспортом.

1 «Какой из показателей работы общественного транспорта, на ваш взгляд, наиболее важный?». В качестве ответа на данный вопрос предлагалось выбрать любое количество из следующих вариантов: безопасность поездки (с точки зрения нарушения водителем ПДД); наполняемость салона; скорость перевозки; стоимость поездки; удобство расположения остановочных пунктов; частота движения; профессионализм персонала; чистота и внешний вид транспортных средств; другое. В поле «Другое» респонденты могли указать любой иной фактор, не вошедший в список предлагаемых ответов. Анализ вариантов ответов, написанных респондентами в поле «Другое», позволил отнести их к одному или нескольким из восьми предложенных по умолчанию вариантов ответов. На рисунке 2, а приведена гистограмма распределения ответов на данный вопрос, где видно, что 40 % респондентов считают наиболее важным показателем работы общественного транспорта

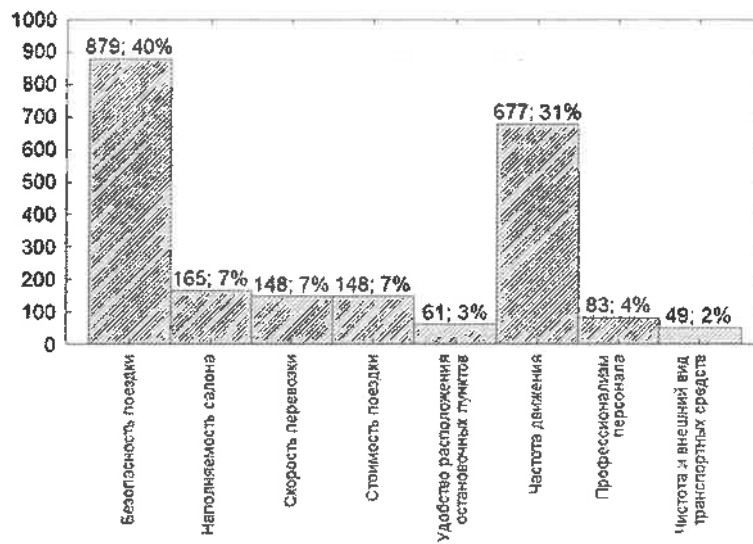
безопасность поездки. Вторым по частоте упоминания показателем является частота движения (31 %).

2 «Ваши предложения по улучшению качества работы общественного транспорта». Респонденты указывали конкретные или общие мероприятия, которые, по их мнению, должны улучшить работу общественного транспорта. Анализ таких предложений позволил обобщить их в следующие группы: все устраивает; выделение полос для общественного транспорта; кондиционеры летом / подогрев зимой; обновление / своевременный ремонт парка; оптимизация вместимости; оптимизация маршрутной сети; оптимизация расписания/интервалов движения; повышение скорости движения; прочее; реконструкция, строительство дорог, развязок, разнуровневых пешеходных переходов, карманов; соблюдение регулярности; совершенствование информационного обеспечения; совершенствование сбора платы за проезд; строительство метро / скоростной электрички; улучшение качества дорожного покрытия; профессионализм / культура водителей и кондук-

торов; чистота / внешний вид парка. На рисунке 2, б приведена гистограмма распределения ответов на данный вопрос, где видно, что треть предложений связаны

с оптимизацией расписания и интервалов движения, 13 % – с оптимизацией маршрутной сети, 9 % – с совершенствованием сбора платы за проезд.

а)



б)

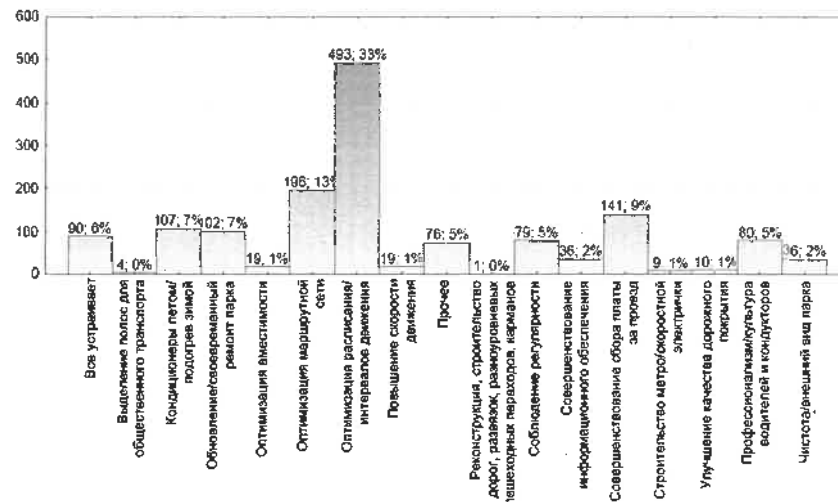


Рисунок 2 – Результаты опроса респондентов, часто пользующихся общественным транспортом:

а – распределение ответов о наиболее важных показателях работы общественного транспорта;

б – распределение предложений респондентов по вопросу улучшения качества работы общественного транспорта

При проведении анкетирования также оценивалось мнение респондентов по двум вариантам повышения привлекательности общественного транспорта.

1 Выделение полос для движения общественного транспорта.

2 Введение платных парковок.

Анализ литературы по оценке эффективности выделения полос для общественного транспорта показал, что, например, скорость общественного транспорта в Вильнюсе после введения выделенных полос для общественного транспорта увеличилась в среднем на 6 км/ч. В большинстве случаев время движения сокращается на 20–50 %. Рост скорости общественного транспорта на 28,1 % в утренний час пик и на 14,8 % в вечерний час пик. Также отмечается, что выделение полос для общественного транспорта позволяет получить ряд эффектов:

– технический эффект, заключающийся в снижении интенсивности изнашивания и повышении ресурса деталей, агрегатов автобусов за счет увеличения доли во

времени движения с установившейся скоростью, уменьшения количества разгонов и торможений, уменьшения времени работы ТС на неустановившихся режимах;

– экономический эффект, заключающийся в уменьшении затрат на ремонт автобусов за счет повышения ресурса деталей и агрегатов; уменьшения расхода топлива за счет уменьшения времени работы на неустановившихся режимах и большего времени работы при движении с постоянной скоростью; выполнении большего числа рейсов в день и уменьшения времени выполнения одного рейса (при увеличении скорости сообщения); возможности обеспечения качества пассажирских перевозок при сохранении параметров меньшим количеством автобусов; снижении затрат на 1 пас·км;

– социальный эффект, заключающийся в ограничении роста тарифов на поездку в ГПОТ за счет снижения эксплуатационных затрат автотранспортного предприя-

тия; повышении привлекательности общественного транспорта за счет обеспечения регулярности движения автобусов.

В ряде научных трудов показано, что выделение полос для общественного транспорта позволит повысить скорость его движения на 10 %. Кроме того, показано, что введение полос для общественного транспорта приводит к росту пассажиропотока за счет переориентации части транспортного спроса с индивидуального легкового автомобиля в сторону общественного транспорта вследствие ухудшения условий пользования личным автомобилем.

Таким образом, вариант выделения полос для движения общественного транспорта направлен на повышение качества услуг, оказываемых пассажирам. При этом очевидно, что выделение полос для общественного транспорта в целом ухудшит условия передвижения на индивидуальных легковых автомобилях в тех частях города, где такие полосы будут выделены. Это, в свою очередь, также дает предпосылки для переориентирования части пользователей индивидуальных легковых автомобилей в сторону общественного транспорта со всеми положительными эффектами такого смещения в части улучшения показателей заболеваемости, смертности населения, безопасности дорожного движения. Таким образом выделение полос для общественного транспорта окажет влияние и на уменьшение привлекательности личного автомобиля, и на повышение качества услуг общественного транспорта.

Аналогичный анализ публикаций был проведен и для оценки возможного эффекта от введения платных парковок. Так, показано, что ценообразование на парковке является важным элементом реализации концепции «Мобильность как услуга (MaaS)» в городах и снижения спроса на личный транспорт. Установлена тесная связь между увеличением количества парковочных мест и количеством личного автотранспорта. Авторы ряда исследований отмечают большой потенциал влияния введения платы за парковку на изменение модального разделения. Исследования, проведенные в начале 1990-х гг. в самом неблагоприятном с транспортной точки зрения регионе США – Южной Калифорнии, показали, что рост стоимости парковочных мест является вторым по значимости фактором, влияющим на решение отказаться от личного автомобиля в пользу общественного транспорта, превысив расходы на топливо и транспортные налоги. Кроме того, недавние исследования показывают, что парковка является еще одним аспектом, который необходимо учитывать, поскольку он влияет как на владение автомобилем, так и на его использование. Если место для парковки трудно найти или оно дорого стоит, то владение автомобилем становится менее привлекательным, поскольку растут затраты как на его использование, так и на хранение. В некоторых научных трудах показано, что доля передвижений на личном транспорте уменьшается при росте платы за парковку таких автомобилей. Также приведены соответствующие аналитические зависимости.

Таким образом вариант организации платных парковок позволяет дестимулировать использование личных автомобилей, что поможет снизить негативные эффекты от автомобилизации. В частности, общеизвестно, что снижение частоты использования личных автомобилей в городах ведет к улучшению экологии, повышению

физической активности жителей и, следовательно, к улучшению показателей заболеваемости и смертности населения. Также снижение интенсивностей движения дает определенные предпосылки к улучшению показателей безопасности дорожного движения. Очевидно, что эта мера окажет влияние на смещение спроса части пользователей индивидуального транспорта в сторону использования общественного транспорта. При этом влияния на показатели качества работы общественного транспорта такая мера не окажет.

При проведении транспортного опроса респондентам были заданы вопросы в части их отношения к введению полос для общественного транспорта, а также в части организации платных парковок. Результаты ответов на эти вопросы представлены на рисунке 3. Из рисунка 3, а видно, что практически 2/3 респондентов отрицательно относятся к организации платных парковок. Из рисунка 3, б видно, что большинство респондентов (68 %) высказались за выделение полос для общественного транспорта. Таким образом, видно, что население г. Гомеля более расположено к выделению полос для общественного транспорта.

На рисунке 4 представлено влияние рассматриваемых к реализации двух мероприятий на пожелания обеих групп респондентов.

На рисунке 4 изображены гистограммы распределения ответов на вопросы, заданные обеим группам респондентов. В верхней части рисунка приведены два рассматриваемых мероприятия, а стрелками от них указаны пожелания респондентов, на которые данные предложения окажут влияние. Так, видно, что оба рассматриваемых мероприятия окажут положительное влияние на скорость передвижения, безопасность поездки, регулярность. Выделение полос для общественного транспорта, кроме того, окажет положительное влияние на наполняемость салона, время ожидания на остановке, частоту движения. Также показан процент пожеланий респондентов, на которые окажут влияние предлагаемые мероприятия. Так, видно, что организация платных парковок окажет влияние:

- на 22 % причин, которые были указаны как основание для редкого использования общественного транспорта;
- 7 % пожеланий респондентов, которые редко пользуются общественным транспортом;
- 47 % показателей, которые были отмечены частыми пользователями общественного транспорта как наиболее важные факторы его работы;
- 6 % пожеланий респондентов, которые часто пользуются общественным транспортом.

Введение полос для общественного транспорта окажет влияние на 50, 24, 85 и 59 % пожеланий соответственно.

Таким образом, выделение полос для общественного транспорта является более действенной мерой поскольку:

- 1) оказывает влияние как на смещение транспортного спроса в сторону использования общественного транспорта за счет ухудшения условий движения на индивидуальных автомобилях, так и на повышение качества услуг общественного транспорта;
- 2) является мерой, более поддерживаемой населением, чем введение платных парковок;
- 3) позволяет удовлетворить большую долю пожеланий респондентов, чем организация платных парковок.

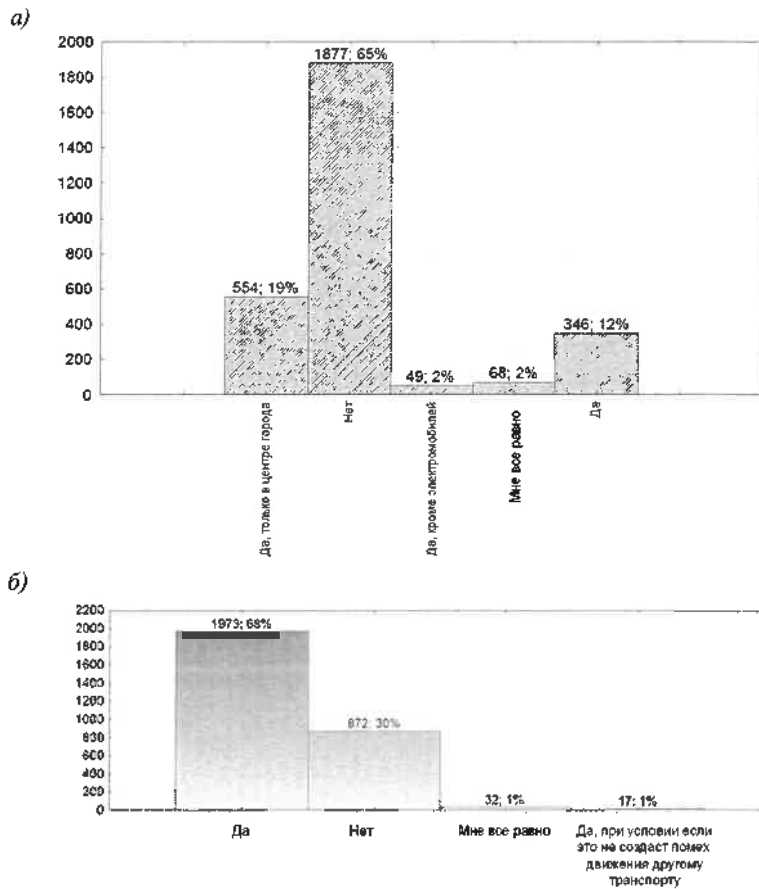


Рисунок 3 – Распределение ответов респондентов: а – по вопросу организации платных парковок; б – по вопросу выделения полос для общественного транспорта

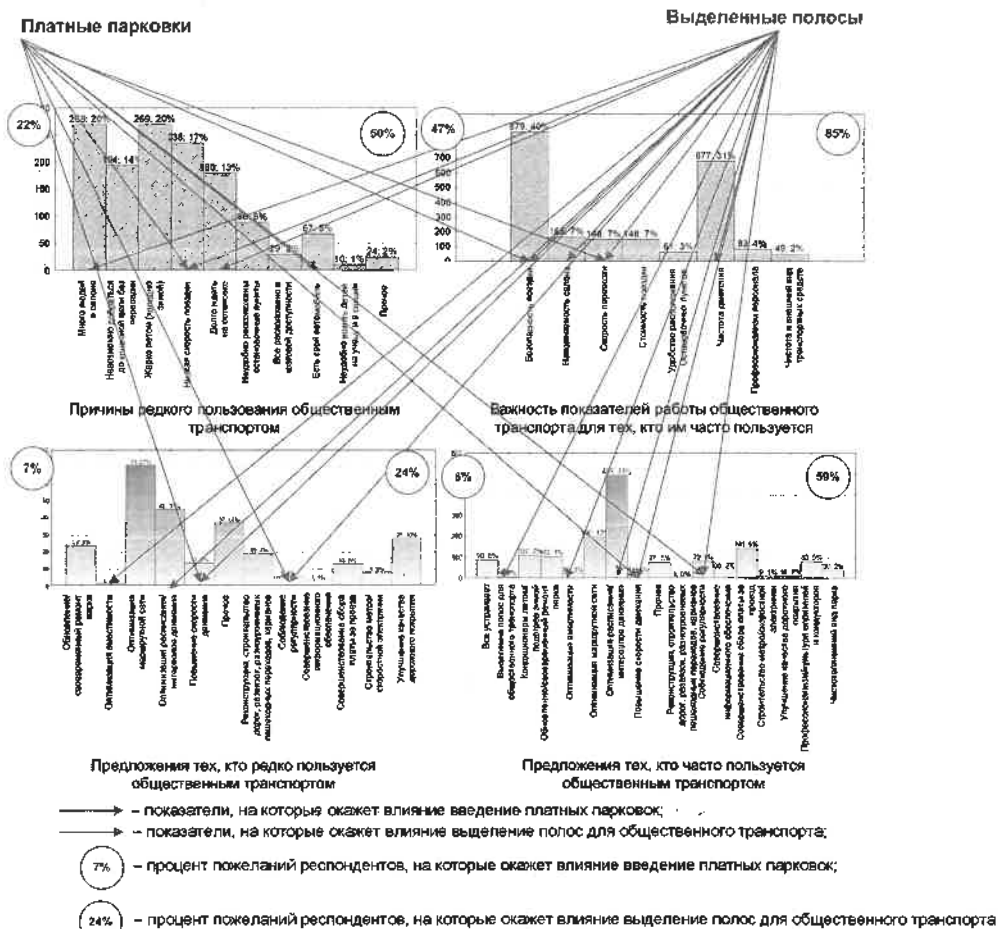


Рисунок 4 – Оценка влияния предлагаемых мероприятий на пожелания респондентов

Следует отметить, что первые действующие полосы для движения общественного транспорта в г. Гомеле были обустроены летом 2015 года [2]. Тогда приоритет МПТОП был организован только на двух участках и оба – на дорогах с интенсивным движением. Общая протяженность полос для МПТОП составляла около 2,5 км. Слияние общественного транспорта с общим транспортным потоком производилось в приоритетном режиме благодаря установке и нанесению соответствующих дорожных знаков и дорожной разметки.

В то же время после нескольких лет удачной эксплуатации такие полосы были демонтированы, что способствовало, в том числе, росту интенсивностей движения личных легковых автомобилей [3, таблица 1], росту аварийности, ухудшению экологической ситуации [4] и, как следствие, продолжительности и качества жизни жителей [5].

В законодательстве Республики Беларусь вопросы условий выделения полосы для маршрутных транспортных средств оговорены в ТКП 45-3.03-227-2010

(02250) «Улицы населенных пунктов. Строительные нормы проектирования». В соответствии с абз. 2 п. 5.1.6 указанного норматива «При суммарной частоте движения автобусов и троллейбусов 30 ед/ч и более в одном направлении в составе проезжей части улиц следует предусматривать дополнительную полосу движения шириной 3,75 м для пропуска маршрутных пассажирских транспортных средств». В то же время такие условия, как число полос для движения в данном направлении, способы организации приоритетного движения на конфликтных объектах и т. д., не оговорены. В этих условиях, а также с учетом предыдущего опыта эксплуатации полос для общественного транспорта представляется целесообразным организовать их в местах, где есть хотя бы три полосы для движения в данном направлении и при этом наблюдаются систематические задержки пассажирских транспортных средств. Такие места, а также места предоставления приоритета при перестроении маршрутным транспортным средствам регулярного сообщения представлены на рисунке 5.

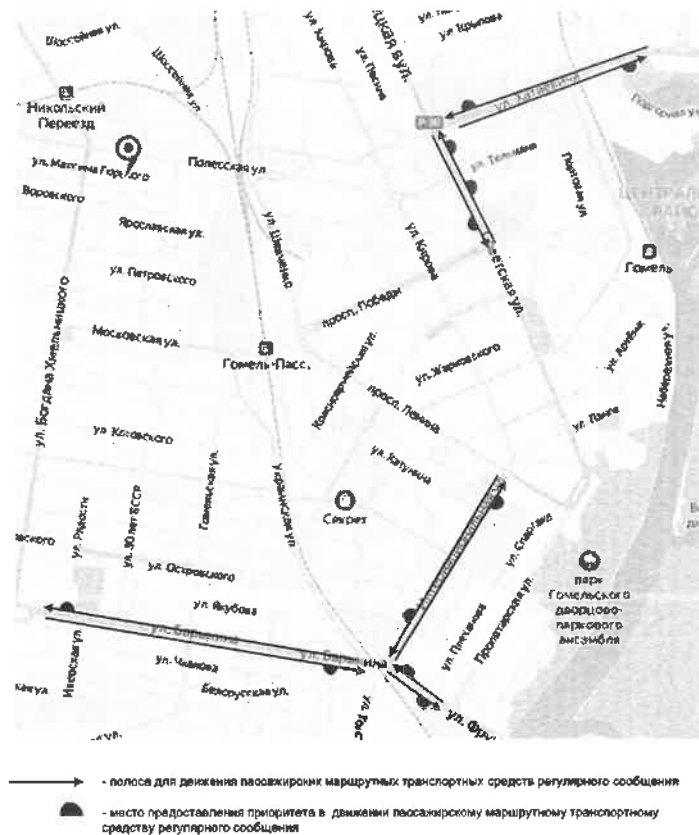


Рисунок 5 – Рекомендуемые места для организации движения полос для общественного транспорта

Для расчета ориентировочного экономического эффекта от введения полосы для общественного пассажирского транспорта принимались во внимание следующие факторы.

1 Сведения о влиянии таких полос на скорость движения. Так, в период эксплуатации полос для общественного транспорта в г. Гомеле было установлено, что время на прохождение 1 км маршрута на участках с такими полосами на 22 % меньше, чем на участках без таких полос [6].

2 Протяженность участков, на которых предлагается введение полос для общественного транспорта. Установлено, что протяженность таких участков составляет:

- по ул. Барыкина – 1,6 км;

- по ул. Фрунзе – 0,33 км;
- по ул. Интернациональной – 1,1 км;
- по ул. Советской – 0,6 км;
- по ул. Хатаевича – 1,2 км.

3 Суточное количество рейсов автобусов и троллейбусов всех маршрутов на рассматриваемых участках в обоих направлениях [7]:

- по ул. Барыкина – 1500;
- по ул. Фрунзе – 1160;
- по ул. Интернациональной – 1838;
- по ул. Советской – 2480;
- по ул. Хатаевича – 890.

4 Существующее время на проезд единицы длины пути на рассматриваемых участках [7], мин/км:

- по ул. Барыкина – 2,04;
- по ул. Фрунзе – 2,37;
- по ул. Интернациональной – 2,82;
- по ул. Советской – 2,38;
- по ул. Хатаевича – 2,46.

Тогда существующее время на проезд каждого рассматриваемого участка, мин, будет равно произведению длины участка, на котором вводится полоса для общественного транспорта, на существующее время на проезд единицы длины пути на нем и составит, мин:

- по ул. Барыкина – 3,264;
- по ул. Фрунзе – 0,782;
- по ул. Интернациональной – 3,102;
- по ул. Советской – 1,428;
- по ул. Хатаевича – 2,952.

Также можно найти экономию времени на движение одного пассажирского транспортного средства при движении на участке, на котором вводится полоса для маршрутных транспортных средств как произведение существующего времени на проезд на 0,22 (сокращение времени на проезд вследствие введения полос для маршрутных транспортных средств), мин:

- по ул. Барыкина – $3,264 \cdot 0,22 = 0,718$;
- по ул. Фрунзе – $0,782 \cdot 0,22 = 0,172$;
- по ул. Интернациональной – $3,102 \cdot 0,22 = 0,682$;
- по ул. Советской – $1,428 \cdot 0,22 = 0,314$;
- по ул. Хатаевича – $2,952 \cdot 0,22 = 0,694$.

Тогда суммарная суточная экономия времени на движение на участке всех транспортных средств будет равна произведению экономии времени на движение одного пассажирского транспортного средства на суточное количество рейсов, мин:

- по ул. Барыкина – $0,718 \cdot 1500 = 1077$;
- по ул. Фрунзе – $0,172 \cdot 1160 = 199,5$;
- по ул. Интернациональной – $0,682 \cdot 1838 = 1253,5$;
- по ул. Советской – $0,314 \cdot 2480 = 778,7$;
- по ул. Хатаевича – $0,694 \cdot 890 = 617,7$.

Годовая экономия времени: $365 (1077 + 199,5 + 1253,5 + 778,7 + 617,7) / 60 = 23886$ ч. Тогда при средней зарплате водителя 1500 руб./мес. экономия за счет сокращения числа рабочих часов составит $(1500 / (24 \times 8)) \cdot 23886 = 186,6$ тыс. руб./год, где $24 \cdot 8$ – количество рабочих часов в месяц.

Учитывая то, что зарплата в структуре себестоимости составляет порядка 35 % [8, с. 61], то общее снижение себестоимости составит $186,6 \cdot 100 / 35 = 533,1$ тыс. руб./год.

Кроме того, учитывая то, что средняя наполняемость за рейс в г. Гомеле составляет 26,33 пас. [9, таблица 3], можно посчитать, что введение полос для общественного транспорта позволит сэкономить время пассажиров, равное $23886 \cdot 26,33 = 628918$ пас·ч. Учитывая среднемесячную зарплату за последний отчетный период (1665,5 руб. [10]), можно определить экономическую оценку от сокращения времени пассажирами, равную $628918 \cdot 1665,5 / (24 \cdot 8) = 5,5$ млн руб.

Заключение и выводы.

Проведенный транспортный опрос жителей г. Гомеля позволил разделить их на две категории:

- 1) часто пользующиеся ГОПТ;
- 2) редко пользующиеся ГОПТ.

Указанным категориям жителей были заданы вопросы относительно текущего качества работы ГОПТ, а также пожеланий в направлении его развития. Результа-

ты анализа ответов на такие вопросы позволили сформулировать следующие основные выводы:

- наиболее частыми причинами редкого пользования общественным транспортом (см. рисунок 1) являются: много людей в салоне (20 %), жарко летом / холодно зимой (20 %), низкая скорость поездки (17 %);

- категория респондентов, которые редко пользуются общественным транспортом, наиболее часто предлагали (см. рисунок 2) оптимизацию маршрутной сети (27 %) и оптимизацию расписания / интервалов движения (17 %);

- 40 % респондентов, часто пользующихся ГОПТ, считают наиболее важным показателем работы общественного транспорта безопасность поездки (см. рисунок 3). Вторым по частоте упоминания показателем является частота движения (31 %);

- треть предложений респондентов, часто пользующихся ГОПТ, связаны с оптимизацией расписания и интервалов движения (см. рисунок 4); 13 % – с оптимизацией маршрутной сети; 9 % – с совершенствованием сбора платы за проезд.

Для решения поставленных задач были рассмотрены два варианта повышения привлекательности ГОПТ.

1 Выделение полос для движения общественного транспорта.

2 Введение платных парковок.

Анализ литературы по оценке эффективности реализации таких мероприятий, а также опроса жителей ГОПТ о приемлемости их реализации в г. Гомеле (см. рисунки 3, 4) показал, что необходимо обустроить выделенные полосы для движения ГОПТ. Для реализации данного мероприятия обоснованы участки по ул. Барыкина – 1,6 км, ул. Фрунзе – 0,33 км, ул. Интернациональной – 1,1 км, ул. Советской – 0,6 км, ул. Хатаевича – 1,2 км (см. рисунок 5).

Ориентировочные расчеты по оценке экономического эффекта от обустройства выделенных полос на данных участках показали, что за счет повышения скорости движения на данных участках можно уменьшить годовой фонд рабочего времени водителей автобусов и троллейбусов на 23886 ч. Это позволит сэкономить на зарплате водителей порядка 186,6 тыс. руб. за год. При этом общее снижение себестоимости перевозок составит более 533 тыс. руб. за год. Кроме того, увеличение скорости поездки позволит снизить временные потери пассажиров, стоимостная оценка которых составляет более 5,5 млн руб. в год.

Список литературы

- 1 Аземша, С. А. Разработка предложений по анкетированию пассажиров городского пассажирского транспорта регулярного сообщения / С. А. Аземша, В. М. Морозов // Вестник СибАДИ. – 2022. – № 19(3). – С. 344–357. – <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-3-344-357>.
- 2 Первые действующие полосы для общественного транспорта появились в Гомеле. Столица на очереди // Onliner. Автоновости [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <https://auto.onliner.by/2015/07/01/polosy>. – Дата доступа: 16.01.2015.
- 3 Аземша, С. А. Оптимизация параметров координированного регулирования по ул. Советской г. Гомеля / С. А. Аземша, Т. В. Грищенко, О. О. Ясинская // Вестник БелГУТА: Наука и транспорт. – 2022. – № 1 (44). – С. 18–26.

4 Azemsha, S. A. Parameters of automobilization in the Republic of Belarus and their impact on greenhouse gas emissions / S. A. Azemsha // ECOLOGICA / glavni urednik Larisa Jovanović, God. 1, broj 1 (1994) – Beograd (Kneza Miloša 7a): Naučno-stručno društvo za zaštitu životne sredine Srbije – 2019. – Vol. 94. – P. 217–223.

5 Azemsha, S. A method for assessing the automobilization impact on population morbidity [Electronic resource] / S. Azemsha, D. Kapski, P. Pegin // Transportation Research Procedia 36. – 2018. – Mode of access : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146518303879>. – Date of access : 15.10.2022.

6 Аземша, С. А. Оценка влияния полос движения для общественного транспорта на скорость перевозки пассажиров / С. А. Аземша // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (26 апреля 2018 г.) / отв. редактор О. Ю. Смирнова. – Тюмень : ТИУ, 2018. – С. 22–27.

7 Расписание в Гомеле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://raspisanie.in/gomel>. – Дата доступа : 15.10.2022.

8 Аредова, А. К. Развитие научно-методических подходов к формированию стоимости городских пассажирских перевозок : дис. ... канд. экон. наук / А. К. Аредова. – М., 2019. – Режим доступа : https://guu.ru/files/dissertations/2019/10/aredova_a_k/dissertation.pdf. – Дата доступа : 15.10.2022.

9 Аземша, С. А. / Исследование наполняемости автобусов при городских перевозках пассажиров в г. Могилеве / С. А. Аземша, Т. В. Грищенко, О. О. Ясинская // Вестник Полоцкого государственного технического университета. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 11. – С. 62–69.

10 Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-excel/Official_statistika/2022/nach_sr_zarplata_obl-2208.xlsx. – Дата доступа : 15.10.2022.

Получено 02.11.2022

S. A. Azemsha, V. M. Marozau. Analysis of the transport survey of Gomel residents and development of proposals to improve the efficiency and attractiveness of public passenger transport.

The quality of urban public passenger transport (PUPT) has an impact on the structure of transport demand of the population of cities. The deterioration of its performance will undoubtedly lead to a shift in transport demand towards the use of personal cars. Such a shift gives a number of negative consequences in the form of an increase in traffic intensity, accidents, gas pollution, which over time undoubtedly affects people's health, the quality and duration of their lives. Therefore, the development and implementation of measures aimed at increasing the attractiveness of PUPT is an urgent task, the successful solution of which will allow shifting transport demand towards the use of PUPT, which, in turn, will reduce the negative consequences of motorization. One way to develop such activities is to conduct surveys of urban residents.

This article presents some results of a transport survey of residents of the city of Gomel. Based on their analysis, measures are proposed to improve the efficiency and attractiveness of the PUPT, and the choice of one of them is substantiated. An economic assessment of the implementation of such an event is also given.

УДК 656.13.08

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ЭФФЕКТОВ ОТ РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОМОБИЛЬНОСТИ В ГОРОДАХ

Экомобильность подразумевает комплексную форму экологически рациональной мобильности, которая объединяет использование немоторизованных видов передвижения (ходьба, езда на велосипедах), с использованием общественного транспорта для того, чтобы люди могли передвигаться в местных условиях без применения личного легкового транспорта. Экомобильность бурно развивается в странах Европейского союза. В Республике Беларусь в настоящее время развитию этого направления уделяется недостаточно внимания.

В статье рассмотрены результаты анализа существующих методических подходов к системе мониторинга эффектов от мероприятий, реализуемых в сфере развития пешеходной и велосипедной инфраструктуры. Приведены выводы и рекомендации по совершенствованию методических подходов к системе мониторинга эффектов от развития инфраструктуры, предназначенной для экомобильности в городах. Рассмотрены недостатки существующих подходов и возможные пути развития применяемых методик. Для количественного определения индикаторов и показателей развития пешеходной доступности и велотранспортной инфраструктуры использован комплексный методический подход к системе мониторинга, включающий периодически проводимые статистические, социологические, маркетинговые и натурные обследования и исследования.

Улучшение условий мобильности населения в городах путем развития инфраструктуры для активных способов передвижения, в том числе с использованием экологических видов транспорта, – важная стратегическая задача современных городов [1–20].

Эффективное управление развитием пешеходной и велотранспортной инфраструктуры в городах является важной задачей, которая должна решаться на основе внедрения системы мониторинга – систематической оценки уровня развития пешеходной и велотранспортной инфраструктуры [1, 4].

Мониторинг заключается в количественных оценках индикаторов и показателей развития пешеходной доступности и велотранспортной инфраструктуры, оценке эффективности существующих подходов, политике и формулировании необходимых корректировок для обеспечения непрерывного прогресса.

При этом следует отметить, что, во-первых, обеспечение безопасности пешеходов и велосипедистов – важнейшее требование к реализации всей политики в сфере создания пешеходной и велотранспортной инфраструктуры. Степень обеспеченности безопасности движения пешеходов и велосипедистов напрямую коррелирует с уровнем развития пешеходной и велотранспортной инфраструктуры. Во-вторых, наряду с анализом и мониторингом показателей безопасности движения в системе мониторинга, безусловно, необходим учет экологических показателей, достигаемых в сфере развития пешеходной и велотранспортной инфраструктуры. В-третьих, представляется весьма востребованным и полезным анализ массива сообщений СМИ и социальных медиа по тематике развития экомобильности в городе на основе изучения массива сообщений СМИ и социальных медиа (Facebook, ВКонтакте, Twitter и других). В результате проведенного анализа с помощью автоматической системы мониторинга и анализа СМИ и социальных медиа в режиме реального времени может быть определено место пешеходной и велосипедной тематики в новостной повестке, а также установлены проблемы в области развития пешеходной и велотран-

спортной инфраструктуры путем изучения анализируемых сообщений.

В области построения и учета объективных показателей большой интерес представляет методика оценки интенсивности движения пешеходов и велосипедистов на исследуемых объектах улично-дорожной сети. Изменение объема пешеходного и немоторизованного трафика является одним из объективных критериев, по которым можно оценить успешность реализации мероприятий. Количество и месторасположение точек учета интенсивности и других дополнительных параметров движения, продолжительность замеров являются определяющими.

Методики обследования транспортных и пешеходных потоков, предусмотренные в известных источниках, как правило, не удовлетворяют необходимым требованиям и не позволяют определить характеристики движения пешеходов и велосипедистов с учетом их изменений и неравномерности во времени по часам суток, дням недели, выявить сезонные социальные активности, изменения активностей с учетом погодных и многих других условий для построения эффективной системы мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры города. В связи с этими обстоятельствами данные методики проведения обследований транспортных и пешеходных потоков нуждаются в пересмотре и уточнении в рамках построения эффективной системы мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры города.

Адекватные замеры интенсивности движения пешеходов и велосипедистов на различных объектах города требуют реализации непрерывных наблюдений в различные периоды суток, что позволяет на основе достоверных данных учесть активность участников дорожно-го движения.

Актуально картирование графика интенсивности контактов и выявление точек, требующих особого внимания, реализация целевых социологических опросов с непременным учетом репрезентативности выборков.

Проведение исследований для определенной социальной группы с большой долей вероятности помогает понять, какими пешеходными пространствами и с какой частотой они пользуются – где предпочитают перемещаться с более высокой, а где с более низкой скоростью, пешком, с использованием транспортных средств общего пользования или немоторизованных транспортных средств. Это позволяет получить сведения об удовлетворенности той или иной территорией и тем или иным качеством городской среды.

Количественными характеристиками, полученными подобным образом, в том числе могут стать средняя скорость пешего передвижения, средняя продолжительность пеших перемещений или перемещений с помощью немоторизованных транспортных средств и другие связанные с ними количественные показатели, что в ряде случаев не учитывают существующие методики системы мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры в городе.

Сегодня анализ интенсивности велосипедного движения на исследуемой городской территории может дополнительно осуществляться по данным мобильных приложений. В частности, мобильное приложение Strava, представленное на сайте www.strava.com, является разновидностью социальной сети для людей, ведущих активный образ жизни, в том числе совершающих поездки на велосипеде. Данное приложение, взаимодействуя с мобильными телефонами и другими GPS/ГЛОНАСС-устройствами, позволяет отслеживать физическую активность участников, а также накапливать и анализировать различные параметры активности, в том числе маршруты передвижения.

Система мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры в городе служит для поддержки принятия решений по улучшению качества и эффективности организации дорожного движения в городе. В зависимости целей мониторинга выбирается тот или иной набор предварительных исследований и оценочных показателей. При этом используемая система показателей является основой системы мониторинга. Рекомендуется построение системы мониторинга, которая предусматривает, что степень достижения ожидаемых результатов измеряется на основе сопоставления фактических значений целевых индикаторов и показателей с их плановыми значениями. Сопоставление значений целевых индикаторов и показателей проводится по каждому плановому индикатору и показателю.

Аналогичный подход предложен в [18], где отмечается, что на основании отклонений фактических значений показателей от плановых могут быть сформированы программные и проектные решения по выбору направлений совершенствования велотранспортной инфраструктуры.

Выбор и определение показателей развития пешеходной доступности и велотранспортной инфраструктуры основывается на отражении динамики развития рассматриваемой инфраструктуры и возможностей ее улучшения.

Качество велосипедного движения определяется скоростью и временем поездки, свободой маневрирования и безопасностью движения, стабильностью движения, комфортабельностью поездки.

В качестве интегрального оценочного параметра уровня обслуживания велосипедного движения выступает комплексный показатель Level of Service (LOS), широко применяемый в США, ЕС и других странах мира, включенный Минтранс России в методические рекомендации [2, 3]. Наряду с этим пункт 2 части 2 статьи 10 Федерального закона от 29.12.2017 № 443-ФЗ (ред. от 15.04.2019) «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» предусматривает, что к основным параметрам мониторинга дорожного движения относятся параметры эффективности организации дорожного движения, характеризующие потерю времени (задержку) в движении транспортных средств и (или) пешеходов.

Уровень обслуживания (Level of Service (LOS)) используется для оценки условий движения транспортных средств и участников дорожного движения. Концепция критерия LOS и методика его применения включена в состав руководства Highway Capacity Manual (HCM).

К настоящему времени в HCM включены показатели LOS почти для всех элементов улично-дорожной сети, сложилась система показателей уровня обслуживания, рассмотрено качество обслуживания велосипедного и пешеходного движения и т. д. Для каждого вида движения (велосипед, автотранспорт, пешеходы и т. д.) и каждого типа элементов улично-дорожной сети (перегоны, перекрестки, тротуары, пешеходные переходы и т. д.) используются свой определенный показатель и соответствующий метод его определения.

Уровень обслуживания – это комплексная характеристика потока как моторизованных, так и немоторизованных транспортных средств, или пешеходов, критериями для которой являются количественные показатели: средняя скорость, плотность объектов (количество приходящейся площади пространства на одного участника движения), интенсивность потока.

Графическое представление LOS для пешеходных пространств представлено в таблице 1, критерии оценки уровня сервиса (LOS) для пешеходных пространств – на рисунке 1 и в таблице 1[3].

Также в качестве оценочных параметров развитости велосипедного движения могут выступать:

1 *Характеристики степени эксплуатации велотранспорта.*

Общая среднесуточная протяжённость велопоездки в городе, км/день.

Средняя протяжённость велопоездки, км/год.

Средняя продолжительность сезона использования велотранспортных средств, дней в год.

Средняя скорость передвижения по городу на велосипеде, км/ч.

Доля использования велотранспорта при поездках на работу/с работы, %.

Доля использования велосипедов при поездках в торговые точки и в иные объекты притяжения, %.

Коэффициент использования велосипедов (отношение произведения количества велосипедов на среднее число велопоездки к общему количеству жителей).

2 *Характеристики городской велосипедной сети и велоинфраструктуры.*

Протяжённость велосипедного пространства, км.

Общая протяжённость велодорожек, км.

Протяжённость велополос, км.

Протяжённость изолированных велодорожек, при-
мыкающих к проезжей части автодороги, км.

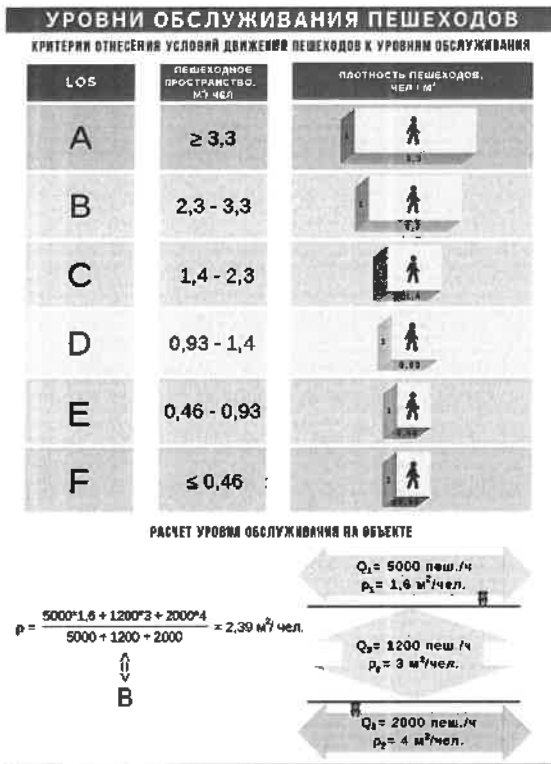


Рисунок 1 – Критерии оценки уровня сервиса (LOS) для пешеходных пространств

Протяжённость изолированных велодорожек, при-
мыкающих к пешеходной дороге, км.

Протяжённость изолированных велодорожек, не
прилегающих ни к проезжей части автодороги, ни к
пешеходной дороге, км.

Протяжённость обособленных велополос на проез-
жей части автодороги, км.

Таблица 1 – Критерии оценки уровня сервиса (LOS) для
пешеходных пространств

Уровень LOS	Значения оптимальных показателей, м ² /чел.		
	Пешеходные пространства	Очереди	Лестничные марши
A	≥ 3,3	≥ 1,2	≥ 1,9
B	2,3–3,3	0,92–1,2	1,4–1,9
C	1,4–2,3	0,65–0,92	0,92–1,4
D	0,93–1,4	0,28–0,65	0,65–0,92
E	0,46–0,93	0,19–0,28	0,37–0,65
F	≤ 0,46	≤ 0,19	≤ 0,37

Проведенный анализ показал [1–18, 20], что для це-
лей мониторинга эффектов от реализуемых мероприя-
тий по развитию инфраструктуры целесообразно при-
менение нижеприведенной системы оценочных критери-
ев и показателей развития велодвижения в городе:

3 Характеристики парка велотранспортных средств.

Количество велотранспортных средств (общая и на
1000 жителей).

Количество велосипедов коллективного пользования
(общая и на 1000 жителей).

Количество велотранспортных средств для людей с
ограниченными физическими возможностями (общая и
на 1000 человек соответствующего контингента) и др.

Протяжённость смешанных велополос на проезжей
части автодороги, км.

Протяжённость обособленных велополос на пеше-
ходной дороге, км.

Протяжённость совмещенных велополос на пеше-
ходной дороге, км.

Протяжённость велотроп, км.

Протяжённость рекреационных велодорожек, км.

Плотность велодорожной сети, км/км².

Связанность городской велодорожной сети (отно-
шение расстояния между двумя пунктами по велодо-
рожкам (веломаршрутам) к расстоянию по прямой).

Техническое состояние городской велодорожной се-
ти, баллы.

Общее количество велопарковок (всего и на одно
велотранспортное средство).

Количество велогаражей (всего и на одно вело-
транспортное средство).

Количество велопарковок системы велошеринга
(всего и на одного жителя).

Количество не крытых бесплатных парковок, ед.

Количество крытых бесплатных парковок, ед.

Количество автоматических камер хранения велоси-
педов, ед.

Количество автоматических стоянок для велосипе-
дов, ед.

Количество перехватывающих парковок (около
станций метро, вокзалов), ед.

Среднее расстояние между велопарковками, км.

Количество станций велопроката, ед.

Количество велосипедов в городском прокате, ед.

Количество станций электропроката, ед.

Количество электровелосипедов в городском прока-
те, ед.

Статистика использования станций велопроката, ед.

Количество объектов сервиса велотранспортных
средств, ед.

Количество дорожных знаков и информационных
табло и других средств навигации, относящихся к вело-
инфраструктуре, ед.

Протяжённость дорожной разметки, относящейся к
велоинфраструктуре, км.

Количество велосветофоров, ед.

Количество перекрёстков, оборудованных светофо-
рами для велосипедистов, ед.

Количество разноуровневых пересечений велодро-
жек с автодорогами, включая специально оборудован-
ные для непрерывного движения велотранспортных
средств пешеходные переходы.

Время ожидания светофорных фаз, с.

Протяжённость зон успокоенного трафика, км.

4 Характеристики безопасности велосипедного движения (при наличии данных).

Общее число ДТП с участием велосипедистов с ука-
занием мест и причин.

Количество ДТП с участием велосипедистов с по-
гибшими, ед.

Количество ДТП с участием велосипедистов с ране-
ными, ед.

Количество ДТП с участием велосипедистов без по-
страдавших с материальным ущербом, ед.

Риск велосипедиста (количество ДТП с пострадавшими с участием велосипедистов, приходящееся на километр совершённых в городе за год велопоездки).

Субъективная оценка степени опасности передвижения на велосипеде по городу, баллы.

5 Экономические показатели велосипедного транспорта и велоинфраструктуры.

Размер инвестиций на развитие и содержание велоинфраструктуры в расчете на 1 жителя города.

Величины транспортных издержек и себестоимости велоперевозок.

Количество рабочих мест в сфере велотранспортной деятельности, обслуживания, аренды и продажи велосипедов и комплектующих.

Налоговые отчисления с велотранспортной деятельности.

Объем рынка в сфере велоэкономики, млн руб.

6 Характеристики качества реализации политики по развитию велодвижения (при наличии данных).

Наличие ответственных лиц в структуре органов власти (да/нет).

Наличие проверок качества инфраструктуры и подсчета количества пользователей (да/нет).

Наличие процедур учёта интересов велообщественности и других заинтересованных лиц (да/нет).

Наличие информационных, воспитательных и образовательных проектов (ед.), мероприятий по безопасности движения велосипедистов (ед.), обследованию транспортного поведения (ед.).

Наличие изменений в нормативно-правовой базе (Правил дорожного движения, разработка/обновление стандартов проектирования велопространств и т. д.) (да/нет).

Наличие регулярной публикации отчетов о проделанной работе (ед.), статей в СМИ и социальных медиа о мобильности и безопасности велосипедистов, ед.

Вместе с тем с учетом тех объективных обстоятельств, что количество факторов, влияющих на аварийность с участием пешеходов и велосипедистов, велико и действие их многовариантно, для оценки уровня обеспеченности безопасности движения пешеходов и велосипедистов в дополнение к существующим методология системы мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры города предлагается подвергнуть мониторингу потенциальную опасность (количество потенциальноопасных точек конфликтного взаимодействия участников дорожного движения по конфликту «транспорт – пешеход» и конфликту «транспорт – велосипедист») на исследуемых объектах улично-дорожной сети.

Оценка потенциальной опасности для движения пешеходов на каждом объекте исследования производилась на основании подсчета количества конфликтных точек между транспортными средствами и пешеходами в ключевых узлах объекта исследования с учетом пиковой интенсивности движения конфликтующих транспортных средств в таких точках по формуле

$$P_{\text{вк}} = \sum_{i=1}^n Q_{ni} Q_{\text{тс}i}, \quad (1)$$

где $P_{\text{вк}}$ – потенциальная опасность ключевого узла для пешеходов; n – число конфликтных точек по конфликту «транспорт – пешеход» в узле; Q_{ni} – часовая интенсив-

ность движения пешеходов в i -й конфликтной точке узла, пеш./ч; $Q_{\text{тс}i}$ – часовая интенсивность движения транспортных средств в физических единицах в i -й конфликтной точке узла, авт./ч.

На улицах с конфликтным взаимодействием автотранспортных потоков с велосипедистами скорость движения автомобилей должна быть приближена к скорости движения велосипедистов, что достигается как путем реализации инженерно-реконструктивных мероприятий по сдерживанию скорости движения автомобилей (успокоению движения), так и применением технических средств организации дорожного движения.

В городах важно расширить практику применения проектных решений по эффективному управлению доступом автомобилей к территориям пешеходных и велосипедных пространств (технические средства ограничения доступа: малые архитектурные формы, зеленые насаждения, ограждения и т. д.), что в каждом конкретном случае решается проектом. Сегодня всё более актуальными являются вопросы создания условий и инфраструктуры для безопасности движения на электросамокатах, сигвеях, гироскутерах, моноколесах и т. д., исключая возможность физических конфликтов таких участников дорожного движения с автомобилями и пешеходами.

Создаваемая система мониторинга развития пешеходной и велосипедной инфраструктуры, городской инфраструктуры для использования средств индивидуальной мобильности должна позволять выявлять уровень качества благоустройства городской среды и недостатки инфраструктуры. К примеру, на улице Большой Никитской (г. Москва) (на участке от Бульварного кольца до ул. Маховой) необходимо устранить несоответствие интенсивности пешеходного потока пропускной способности обустроенного тротуара, который неэффективно заужен вследствие устройства велодорожки. Пространство велодорожек используется преимущественно пешеходами, наблюдается низкий трафик велосипедистов и конфликтное взаимодействие участников дорожного движения (рисунок 2).



Рисунок 2 – Дорожно-транспортная ситуация на улице Большой Никитской г. Москвы с недостатками обустройства пешеходной инфраструктуры

Такие недостатки могут быть выявлены в ходе натурных наблюдений и обследований. Однако существующие подходы к созданию системы мониторинга не позволяют решать такие задачи. В частности, прове-

денный анализ показал, что применение методологии системы мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры города Москвы, разработанной Центром городских исследований бизнес-школы СКОЛКОВО, выполненной в рамках исследовательского гранта Департамента транспорта г. Москвы [1], не удовлетворяет в достаточной мере целям построения эффективной системы мониторинга рассматриваемых эффектов и нуждается в развитии и совершенствовании с учетом отсутствия должной оценки эффективности качества организации движения пешеходов и велосипедистов на исследуемых объектах улично-дорожной сети, а также не позволяет выявить локальные проблемы пешеходной и велотранспортной инфраструктуры на отдельных участках улично-дорожной сети. Кроме того, данная методика не определяет источник получения данных от административных и иных структур по показателям мониторинга, что значительно затрудняет ее практическое применение.

Система мониторинга может быть успешно дополнена мероприятиями по периодическому территориальному обследованию в целях определения активности фасадов на исследуемых объектах улично-дорожной сети (с фотофиксацией и анализом исследуемых объектов).

Пример графической визуализации результатов проведенного территориального обследования в целях определения активности фасадов на исследуемых объектах улично-дорожной сети в г. Москве показан на рисунке 3.

Принятый в настоящее время в международной практике подход к оценке и мониторингу социально-экономического ущерба, связанного с вредным воздействием выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта на здоровье населения, основан на методологии анализа причинно-следственной связи между попаданием загрязняющих веществ в атмосферный воздух и ростом заболеваемости, смертности и сокращением ожидаемой продолжительности жизни (Impact Pathway Approach, IPA).

Ключевым этапом оценки экологической составляющей социально-экономического эффекта реализации

проектов по развитию пешеходной и велотранспортной инфраструктуры является оценка изменения массы выбросов основных загрязняющих веществ автомобильным транспортом в зоне транспортного влияния проекта. Для получения такой оценки рекомендуется использовать методику Европейского агентства по охране окружающей среды, реализованную в программном пакете COPERT (далее – методика ЕЕА/COPERT).

Методология расчета массы вредных выбросов автотранспортных средств ЕЕА/COPERT широко используется органами в сфере охраны окружающей среды ЕС и ЕЭК ООН. В России оценка изменения выбросов от автотранспорта по методике ЕЕА/COPERT проводилась для многих проектов, реализованных в рамках совместной инициативы ПРООН/ГЭФ и Минтранса России «Сокращение выбросов парниковых газов от автотранспорта в городах России». Программный пакет COPERT 5 позволяет автоматически обрабатывать большие объемы данных.

Исходными данными для расчета массы вредных выбросов автотранспортных средств являются:

- статистические данные статистических и аналитических агентств и порталов;
- базы данных Госавтоинспекции (данные о категориях автодорожных транспортных средств по ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств; данные о возрасте, экологическом классе, рабочем объеме двигателя и типе используемых топлив);
- данные натуральных наблюдений интенсивности движения потоков автомобилей на исследуемых объектах и др.

Таким образом, для количественного определения оценочных показателей и индикаторов развития пешеходной доступности и велотранспортной инфраструктуры в городе рекомендуется методический подход к системе мониторинга, включающий периодически проводимые статистические, социологические, маркетинговые и натурные исследования с определением многообразия эффектов, возникающих в процессе развития экомобильности (рисунок 4).



Рисунок 3 – Графическая визуализация активности фасадов на исследуемых объектах улично-дорожной сети в г. Москве

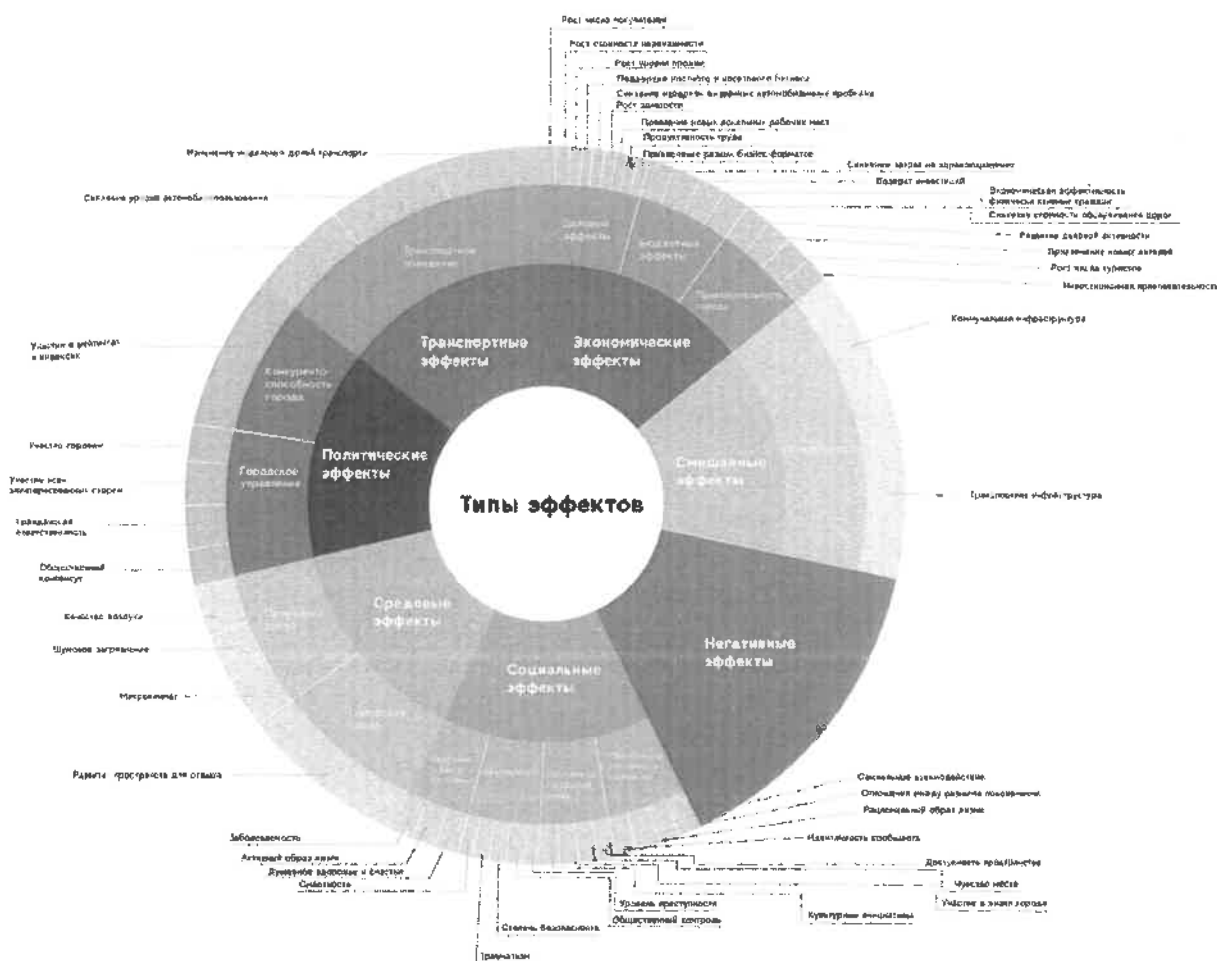


Рисунок 4 – Эффекты от развития экомобильности в городах [1]

Рассмотренные в статье критерии и показатели более эффективно отражают эффективность мероприятий и прогресс на пути к заявленным стратегическим и программным целям и результатам развития пешеходной и велотранспортной инфраструктуры в городе, и могут быть использованы в дальнейшем для уточнения (корректировки) проводимой политики, принятых стратегий и мероприятий по достижению целей. Наряду с этим реализация вышеизложенных предложений в своей совокупности способствует созданию более эффективной методологии системы мониторинга эффектов от мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры города.

Внедрение в практику методических разработок такой направленности позволит повысить эффективность создаваемой системы мониторинга и управления мероприятиями, реализуемыми в сфере развития инфраструктуры для организации экомобильности, и обеспечит рациональное использование ресурсов в этих целях.

Список литературы

1 Разработка концепции системы мониторинга мероприятий в области развития пешеходной доступности и велосипедной инфраструктуры города Москвы : отчет, подготовленный Центром городских исследований бизнес-школы СКОЛКОВО, выполненный в рамках исследовательского гранта, выделенного департаментом транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Москвы в 2016 году. – М., 2017. – 237 с.

2 Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. «Требований к планированию развития инфраструктуры велосипедного транспорта поселений, городских округов в Российской Федерации (одобр. Научно-техническим советом ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (протокол № 2 от 25 апреля 2017 г.), Межведомственный Координационный комитет проекта ПРООН/ГЭФ – Минтранс России «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России» Российской Федерации (05 ноября 2017 г.))». – М., 2017. – 84 с.

3 Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Развитие пешеходных пространств поселений, городских округов в Российской Федерации (одобр. Научно-техническим советом ОАО «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (протокол № 2 от 25 апреля 2017 г.), Межведомственный Координационный комитет проекта ПРООН/ГЭФ – Минтранс России «Сокращение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в городах России» Российской Федерации (05 ноября 2017 г.))». – М. : 2017. – 97 с.

4 Теоретические и практические аспекты организации городского движения велосипедистов / Д. В. Капский [и др.] ; под общ. ред. В. К. Шумчика. – Минск : Капитал Принт, 2019. – 374 с.

5 Разработка методик и стандартов для объектов транспортной инфраструктуры: пешеходного и велосипедного движения по теме: Анализ зарубежного и отечественного опыта, разработка методик, оценка эффективности и уровня безопасности велосипедного и пешеходного движения (1-й этап) : отчет о НИР. – М. : ГТУ-МАДИ, 2016. – 230 с.

6 Галышев, А. Б. Методика оценки эколого-экономической эффективности велотранспорта в зависимости от интенсивности его использования / А. Б. Галышев, С. В. Шелмаков // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 4(39). – С. 107–110.

7 Шелмаков, С. В. Опыт реализации в Москве системы городского велопроката (велошеринга) / С. В. Шелмаков, П. С. Шелмаков // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-3. – С. 331–336.

8 Карасевич, С. Н. Формирование мобильности в городах / С. Н. Карасевич // Мир дорог. – 2017. – № 07. – С. 66–67.

9 Трофименко, Ю. В. Методика оценки эффективности велотранспортной сети крупного города / Ю. В. Трофименко, А. Б. Галышев // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18, № 5(5). – С. 948–958.

10 Карасевич, С. Н. Планирование развития велотранспортной инфраструктуры в городах Республики Беларусь / С. Н. Карасевич, С. А. Аземша // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки, Гомель, 23–24 ноября 2017 г. / БелГУТ ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : 2017. – С. 225–226.

11 Карасевич, С. Н. Применение зон совмещенного использования для повышения качества организации дорожного движения в городах / С. Н. Карасевич // Транспортное планирование и моделирование : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 26–27 мая 2016 г. ; редкол.: А. И. Солодкий [и др.]. – СПб. : СПбГАСУ, 2016. – С. 67–73.

12 Карасевич, С. Н. Организация дорожного движения в контексте устойчивого развития / С. Н. Карасевич, С. А. Аземша // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2 (35). – С. 58–61.

13 Галышев, А. Б. Оценка потенциального акустического эффекта от внедрения мероприятий по развитию велосипедного движения в городах / А. Б. Галышев, С. В. Шелмаков // Инновационное развитие современной науки : сб. статей

Междунар. науч.-практ. конф., 30–31 мая 2014 г., г. Уфа. – Уфа : ОМЕГА САЙНС, 2014. – С. 79–85.

14 Карасевич, С. Н. Развитие проектных решений по формированию качества уличных пространств и мобильности в городах / С. Н. Карасевич // Организация и безопасность дорожного движения : материалы X науч.-практ. конф. (с междунар. участием). В 2 т., Тюмень, 16 марта 2017 г. ; отв. ред.: Д. А. Захаров [и др.]. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2017. – С. 197–202.

15 Карасевич, С. Н. Управление доступом автомобилей к пешеходным пространствам / С. Н. Карасевич // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки, Гомель, 23–24 ноября 2017 г. / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 32–33.

16 Шелмаков, С. В. Оценка экономического эффекта, обусловленного сокращением времени передвижения при эксплуатации велотранспортной сети г. Москвы / С. В. Шелмаков, А. Б. Галышев // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2015. – № 2(4). – 2015. – С. 10.

17 Галышев, А. Б. Решение экологических и социально-экономических проблем крупных городов путем развития велосипедного движения / А. Б. Галышев, Ю. В. Трофименко // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-3. – 2015. – С. 318–319.

18 Завьялов, Д. В. Методика мониторинга воспринимаемого горожанами уровня развития велотранспортной инфраструктуры в г. Москве / Д. В. Завьялов, О. В. Сагинова, Н. Б. Завьялова // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2019. – Т. 10, № 1. – С. 25–34.

19 COPERT. Компьютерная программа для расчета выбросов, создаваемых дорожным движением. Руководство пользователя (версия 9.0) // ЕЕА. – 2012.

20 Евсеева, А. И. Мониторинг велосипедного трафика в условиях города / А. И. Евсеева // Государственное управление. Электронный вестник. – 2017. – № 64. – С. 74–80.

Получено 02.11.2022

S. N. Karasevich, S. A. Azemsha. Improvements of approaches to the system for monitoring the effects of the development of infrastructure for organization of ecomobility in cities.

Ecomobility implies a complex form of sustainable mobility, which combines the use of non-motorized modes of movement (walking, cycling), with the use of public transport so that people can move in local conditions without using personal light vehicles. Ecomobility is booming in the countries of the European Union. In the Republic of Belarus, insufficient attention is paid to the development of this direction.

The article discusses the results of the analysis of existing methodological approaches to the system of monitoring the effects of activities implemented in the development of pedestrian and bicycle infrastructure. Conclusions and recommendations for improving methodological approaches to the system for monitoring the effects of the development of infrastructure designed for ecomobility in cities are presented. The disadvantages of existing approaches and possible ways of developing the applied techniques are considered. To quantify indicators and indicators of the development of pedestrian accessibility and cycling infrastructure, a comprehensive methodological approach to the monitoring system was used, including periodically conducted statistical, sociological, marketing and field surveys and studies.

УДК 656.13.05

А. Б. ХАЛАПСИН, магистрант Академии управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск; С. А. ДАНИЛЮК, инженер-программист ООО «Мотовелозавод», г. Минск

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ О ПРАВОНАРУШЕНИЯХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Современные цифровые технологии затронули каждого, стали неотъемлемой частью нашей жизни и оказывают влияние абсолютно на все сферы человеческой деятельности. Одним из видов социальной деятельности, отличающимся исключительной сложностью, является процесс влияния науки на обеспечение безопасности дорожного движения, связанный с получением и обработкой большого количества разнообразной информации. В последние годы объемы информации увеличились настолько, что обрабатывать их с помощью традиционных программ или аппаратных средств стало весьма затруднительно или даже невозможно. Информация о геолокации, сигналы от датчиков «интернета вещей», информация о транспортных средствах, сведения о пешеходах – всё это генерирует огромные объемы неструктурированной информации, которая может быть использована в конструктивных целях. Поэтому в качестве важнейшего технологического тренда, способного в перспективе кардинально изменить процесс поиска, анализа и использования значимой информации в обеспечении безопасности дорожного движения, можно рассмотреть технологию «больших данных».

Введение. Разработка информационных систем, использующих интеллектуальный анализ для предотвращения возникновения условий совершения дорожно-транспортных правонарушений, имеет большое значение. Несмотря на наличие подобной информационной системы на республиканском уровне, было бы разумно разработать систему, позволяющую проводить такой анализ данных на местах.

Ввиду постоянного развития современных технологий и появления новых было бы разумно применить новые способы хранения и анализа данных при разработке, что существенно повысит эффективность системы.

Для более точного анализа и принятия обоснованных решений можно использовать хранилища данных (Data Warehouse). Хранилище данных представляет собой центральный репозиторий информации из разных источников и обеспечивает пользователя возможностью принимать верные решения на основе целостной информационной картины.

Постановка задачи. Существует необходимость создания информационной системы, способной работать не только на республиканском уровне, но и на местах по следующим причинам:

1) невозможность проведения интеллектуального анализа на местах;

2) ожидание результатов анализа от органов республиканского уровня и, как следствие, невозможность быстрого реагирования на ситуацию.

Такую информационную систему необходимо снабдить хранилищем данных с возможностью отправки данных в центральное хранилище данных республиканского уровня. Информационная система должна поддерживать проведение предварительной обработки данных и следующих видов интеллектуального анализа: разведочный и кластерный. Интерфейс информационной системы должен быть удобным и понятным. Система должна быть гибкой и легко масштабируемой, а технологии, используемые при создании, должны поддерживать кроссплатформенность системы.

Создание такой системы позволит выявлять причины правонарушений на дорогах Гомельской области и реагировать на них существенно быстрее, чем при ис-

пользовании информационной системы республиканского уровня.

Основная часть. Основываясь на международной практике работы с большими данными в сфере дорожной безопасности, для более точного анализа и принятия обоснованных решений можно использовать хранилища данных (Data Warehouse). Согласно определению компании Oracle хранилище представляет собой разновидность системы управления данными, которая обеспечивает поддержку бизнес-аналитики. Хранилища данных предназначены только для выполнения запросов и анализа и обычно содержат большие объемы исторических данных. Хранилище объединяет данные из разных источников. С данными проводят следующие манипуляции: преобразование, унификация, обработка на наличие ошибок и приведение к определенной структуре. Такие манипуляции облегчают дальнейшую работу с данными. Главное отличие хранилища данных от транзакционной системы – сохранение историчности данных. Это имеет большое значение при анализе [1].

Для успешного функционирования информационной системы необходимо правильно подойти к подходу выбора технологий и инструментов.

Интегрированная среда разработки (IDE) – это инструмент, используемый для разработки приложений простым, быстрым и надежным способом.

В качестве IDE был выбран PyCharm от компании JetBrains, который имеет полный комплект средств, необходимых для эффективного программирования на Python.

PyCharm предлагает большой набор инструментов из коробки: встроенный отладчик и инструмент запуска тестов, профилировщик Python, полнофункциональный встроенный терминал, инструменты для работы с базами данных. IDE интегрирована с популярными системами контроля версий, содержит встроенный SSH-терминал, поддерживает возможности удаленной разработки и удаленные интерпретаторы, а также интеграцию с Docker и Vagrant.

Поддерживает работу со всеми популярными базами данных: Oracle, SQL Server, PostgreSQL, MySQL. PyCharm помогает редактировать SQL-код, выполнять запросы, просматривать данные и изменять схемы.

Данная IDE также предоставляет широкие возможности для отладки, тестирования и профилирования.

Основным языком программирования был выбран Python. Python – универсальный современный язык программирования высокого уровня, к преимуществам которого относят высокую производительность программных решений и структурированный, хорошо читаемый код. Имеет широкий перечень встроенных библиотек, позволяет применять внушительный набор полезных функций и возможностей [2].

Основными областями применения Python являются:

- 1) веб-разработка;
- 2) машинное обучение;
- 3) автоматизация процессов.

Также выбранный язык программирования предоставляет широкие возможности для работы с базами данных. В рабочей среде языка находится программный интерфейс, который позволяет пользоваться базами прямо из сценария с помощью запросов SQL. Также код, написанный на Python, может с минимальными доработками использоваться для баз данных PostgreSQL, MySQL и Oracle.

Помимо этого, Python широко используется для работы со сложными вычислительными процессами и позволяет удобно визуализировать полученные данные.

В качестве СУБД была выбрана PostgreSQL. Данная СУБД является передовой базой данных с открытым исходным кодом, и может служить простой реляционной базой данных, базой данных временных рядов и выступать в роли эффективного недорогого хранилища данных. Поддерживает интеграцию с различными аналитическими инструментами [3].

Для построения хранилища данных были написаны скриптовые файлы `create_schema.py` и `sql_queries.py` на языке программирования Python.

Главная задача файла `create_schema.py` – создание базы данных и таблиц, в которые в дальнейшем будут загружены обработанные данные. Для установления соединения с PostgreSQL был использован драйвер psycopg2, который в качестве модуля psycopg2 импортируется в файл Python. `sql_queries.py` содержит SQL-запросы создания необходимых таблиц, «обернутые» в интерфейс языка Python.

Приведем пример нескольких функций скриптового файла `create_schema.py`:

Функция `create_db` при помощи модуля psycopg2 настраивает подключение к серверу PostgreSQL, а также принимает в качестве аргументов информацию, необходимую для подключения: хост и порт, имя пользователя, предполагаемое имя базы данных. Далее создается база данных с заданным пользователем именем.

```
def create_db(db_credential_info):
    db_host, db_user, db_password, db_name =
db_credential_info
    print('Creating new database.')
    conn = psycopg2.connect(host=db_host,
database='postgres', user=db_user,
password=db_password)
```

```
conn.set_isolation_level(ISOLATION_LEVEL_AUTOCOMMIT)
cur = conn.cursor()
try:
```

```
    cur.execute("DROP DATABASE IF EXISTS %s
;" % db_name)
    cur.execute("CREATE DATABASE %s ;" %
db_name)
except psycopg2.errors.lookup("55006"):
    locked = True
cur.close()
```

Следующая функция при помощи модуля psycopg2 настраивает подключение к серверу PostgreSQL, принимает в качестве аргументов информацию, необходимую для подключения: хост и порт, имя пользователя, предполагаемое имя базы данных. Далее запускаются написанные в файле `sql_queries.py` SQL-запросы создания таблиц, обернутые в интерфейс Python.

```
def create_tables(db_credential_info):
    db_host, db_user, db_password, db_name =
db_credential_info
    conn = None
    try:
        for command in create_table_queries:
            print('Building tables.')
            conn = psycopg2.connect(host=db_host,
database=db_name, user=db_user, password=db_password)
            cur = conn.cursor()
            cur.execute(command)
            conn.commit()
            cur.close()
    except (Exception, psycopg2.DatabaseError) as error:
        print(error)
        cur.close()
    finally:
        if conn:
            conn.close()
```

После запуска данных скриптов в PostgreSQL будет построено хранилище данных по схеме «звезда», включающее в себя следующие таблицы:

- dim_member – таблица измерений, содержащая информацию об участнике ДТП;
- dim_viol – таблица измерений, содержащая информацию, характеризующую конкретное ДТП;
- dim_place – таблица измерений, характеризующая место ДТП;
- dim_videos – таблица измерений, содержащая видеоматериал;
- dim_img – таблица измерений, содержащая изображения;
- fact_protocol – таблица фактов, содержащая ключевые поля таблиц измерений.

Посмотреть, правильно ли создались необходимые таблицы, можно в PgAdmin4 – платформе с открытым исходным кодом для администрирования и разработки для PostgreSQL – и связанных с ней систем управления базами данных. Платформа написана на Python и jQuery и поддерживает все функции PostgreSQL.

С помощью PgAdmin4 была создана ERD-схема хранилища данных.

Построенное хранилище позволит хранить всю необходимую информацию для разведочного и кластерного анализа. В хранилище реализована возможность хранить видеофайлы, что позволит быстро и удобно просмотреть необходимые моменты совершения правонарушения, например, видеозаписи с камер наблюдения или с видеорегистраторов, установленных в автомоби-

лях. Также реализована возможность хранить необходимые изображения, которые также помогут в расследовании правонарушений. В будущем предполагается расширить функционал информационной системы с помощью добавления функций анализа видеофайлов и изображений, что позволит быстрее получать необходимую и более точную информацию при расследовании правонарушений.

Следующим этапом реализации информационной системы является построение ETL- или ELT-процесса.

ETL является сокращением от Extract (Извлечение), Transform (Преобразование) и Load (Загрузка). В таком процессе данные извлекаются из разных исходных систем, файлов, а затем происходит преобразование данных, например, операции вычисления, конкатенации, валидации.

В качестве источника данных используются файлы формата xsls, поэтому для обработки данных была выбрана библиотека Pandas.

Pandas является высокоуровневой библиотекой Python для анализа и обработки данных. Построена поверх более низкоуровневой библиотеки NumPy, которая написана на языке программирования C, что существенно повышает производительность. Pandas является продвинутой и быстроразвивающейся библиотекой для обработки и анализа данных в экосистеме Python [4].

Основными структурами данных в Pandas являются DataFrame и Series. Структура Series представляет собой объект, похожий на одномерный массив, но отличительной его чертой является наличие ассоциированных меток – индексов, вдоль каждого элемента из списка. Такая особенность превращает его в ассоциативный массив или словарь в Python.

Объект DataFrame можно представить в виде обычной таблицы, так как DataFrame является табличной структурой данных. Столбцами в объекте DataFrame выступают объекты Series, строки которых являются их непосредственными элементами.

Pandas поддерживает все самые популярные форматы хранения данных: csv, excel, sql, буфер обмена, html.

Для построения ETL-процесса был написан скриптовый файл 'etl.py', где при помощи библиотеки Pandas реализован процесс извлечения данных из исходных файлов формата «xsls», а также трансформация, валидация данных. Далее на этапе загрузки при помощи ранее упомянутого модуля psycopg2 было установлено соединение с построенным хранилищем данных. Ниже приведен пример функции, которая при помощи SQL-запроса, возможностей Pandas и установленного соединения с PostgreSQL загружает обработанные данные в хранилище:

```
def execute_values(conn, df, table):
    tuples = [tuple(x) for x in df.to_numpy()]
    cols = ','.join(list(df.columns))
    # SQL query to execute
    query = "INSERT INTO %s(%s) VALUES %s" %
(table, cols)
    cursor = conn.cursor()
    try:
        extras.execute_values(cursor, query, tuples)
        conn.commit()
    except (Exception, psycopg2.DatabaseError) as error:
        print("Error: %s" % error)
        conn.rollback()
        cursor.close()
```

```
return 1
print("the dataframe is inserted")
cursor.close()
```

Для визуализации данных и их удобного восприятия было решено построить дашборд.

Данный термин обозначает инструмент, выполняющий идентичную функцию: презентует данные о состоянии каких-либо процессов. Дашборд – наиболее эффективный способ представления данных для анализа и управления системой [6].

Целью создания дашборда является представление аналитических данных в компактном виде. Благодаря дашбордам можно определять взаимозависимость между разными показателями, выявлять тенденции и предотвращать потенциальные проблемы.

Для построения дашборда была использована библиотека Streamlit. Streamlit является платформой веб-приложений, которая позволяет создавать и разрабатывать веб-приложения на основе Python, которые используются для обмена результатами анализа, создания многофункциональных интерактивных интерфейсов и иллюстрации новых моделей машинного обучения.

Был написан удобный интерфейс, позволяющий переключаться между различными режимами анализа, опциями, выбирать временные рамки (рисунок 1).

При помощи библиотеки Pandas были реализованы следующие виды анализов: разведочный, кластерный.

Разведочный анализ данных (EDA), расшифровывающийся как Exploratory Data Analysis – один из первых и определяющих шагов проекта науки о данных, который приводит в движение весь проект. Он придает проекту конкретное направление и формирует план его реализации [7].

Разведочный анализ данных означает изучение данных для получения из них практической информации. Включает в себя анализ и обобщение массивных наборов данных в форме диаграмм и графиков. Это один из самых важных этапов в науке о данных. В построенном дашборде можно выбрать режим EDA и перейти к разведочному анализу данных в реальном времени.

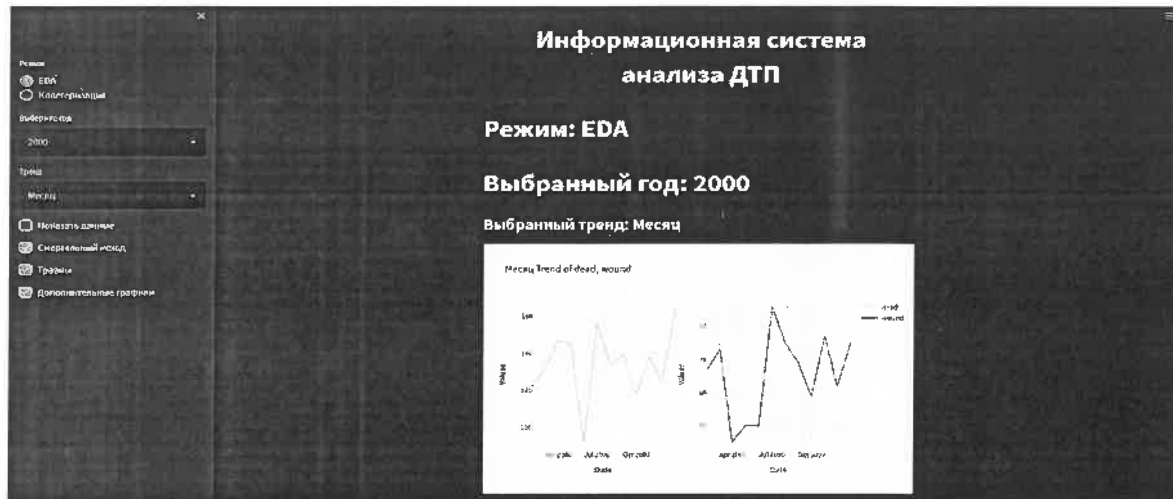
Разработанный интерфейс позволяет увеличивать выбранные отрезки диаграммы, скачивать диаграмму в формате «png», разворачивать диаграмму на полный экран. По построенным диаграммам можно сделать выводы о количестве смертельных исходов, травм в различные периоды времени и, соответственно, принять меры, способные минимизировать число жертв ДТП.

Следующий вид анализа, реализованный в информационной системе, – кластерный.

Под кластерным анализом понимается совокупность многомерных статистических методов классификации объектов по характеризующим их признакам, разделение совокупности объектов на однородные группы, близкие по определяющим критериям, выделение объектов определенной группы.

Совокупность многомерных статистических методов кластерного анализа можно разделить на иерархические методы и неиерархические (метод k-средних, двухэтапный кластерный анализ, метод ближайших соседей). Однако общепринятой классификации методов кластерного анализа не существует, и к ним относят множество алгоритмов машинного обучения, решающих задачу разделения совокупности на однородные группы.

a)



б)

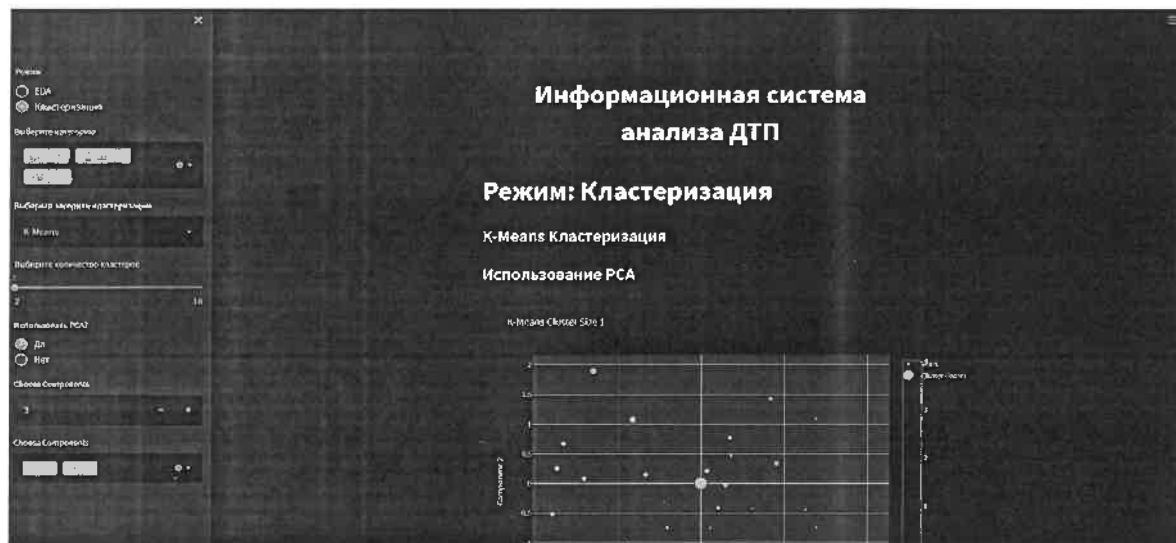


Рисунок 1 – Интерфейс информационной системы:
а – режим EDA; б – кластерный режим

В качестве метода кластерного анализа в работе был использован метод k-средних (рисунок 2).

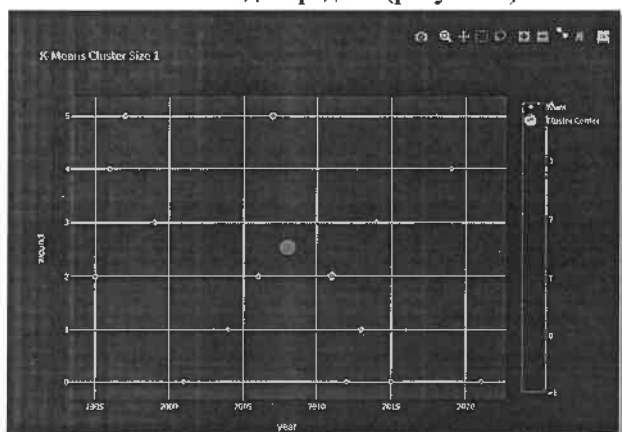


Рисунок 2 – Пример реализации k-средних

Метод k-средних используется для кластеризации данных на основе алгоритма разбиения векторного пространства на заранее определенное число кластеров k [2].

Под кластеризацией понимается разделение множества входных векторов на группы (кластеры) по степени «схожести».

Кластер – это группы объектов, выделенные в результате кластерного анализа на основе заданной меры сходства или различий между объектами [5].

Основная идея заключается в том, что на каждой итерации заново вычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения кластеров.

Заключение и выводы. В ходе работы был представлен и проанализирован материал, касающийся возможности применения методов интеллектуального анализа больших данных при работе с информацией о правонарушениях в мировой практике и в Республике Беларусь. Создано хранилище данных, позволяющее хранить все необходимые данные для разведочного и кластерного анализа. В хранилище также реализована возможность хранить видеофайлы, что позволит быстро

и удобно просмотреть необходимые моменты совершения правонарушения. Также реализована возможность хранить необходимые изображения. Кроме этого, был разработан удобный веб-интерфейс, интуитивно понятный и позволяющий переключаться между различными режимами анализа, опциями, выбирать временные рамки. Интерфейс информационной системы позволит сравнивать разные блоки информации в реальном времени и быстро получать результат в компактном, настроенном под себя виде.

Преимущества от внедрения заключаются в том, что разработанная информационная система позволяет хранить, обрабатывать и анализировать данные на высокой скорости и с большой точностью, а также принимать обоснованные решения, способные минимизировать число погибших и пострадавших в результате дорожно-транспортных происшествий, повысить безопасность дорожного движения.

Список литературы

1 **Quinlan, J. R.** Simplifying ETL-processes / J. R. Quinlan // *Int. J. Man-Mach. Stud.* – 1987. – P. 321–334.

2 Объем данных всего мира [Электронный ресурс] / Информационный портал About data. – Режим доступа : <https://aboutdata.ru/2017/04/27/volume-of-data-by-2025/>. – Дата доступа : 20.04.2022.

3 **Гусятников, В. Н.** Стандартизация и разработка программных систем / В. Н. Гусятников, А. И. Безруков. – М. : Финансы и статистика, 2010. – 288 с.

4 Интеллектуальный анализ данных. – Data Mining [Электронный ресурс] / ITstan. – 2011. – Режим доступа : <https://www.itstan.ru/>. – Дата доступа : 16.04.2022.

5 **Петров, А. И.** Оценка корреляционно-регрессионных связей между уровнем автомобилизации и тяжестью ДТП в европейских странах / А. И. Петров // *Фундаментальные исследования.* – 2016. – № 6, ч. 2. – С. 439–443.

6 Об органах внутренних дел Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2007 г. № 263-З : в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.05.2021 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021.

7 **Михайличенко, О. В.** Создание информационных хранилищ данных / О. В. Михайличенко. – М. : Информационные технологии, 2018. – 689 с.

Получено 01.12.2022

A. B. Khalapsin, S. A. Daniliuk. Information system for intelligent analysis of large data on offenses in the Republic of Belarus.

Modern digital technologies have affected every person, an exceptional part of life and the impact on absolutely all types of activities. One of the social activities of exceptional diversity is the process of studying the science of road safety, associated with the receipt and processing of a very large variety of diverse information. In recent years, the amount of information has increased dramatically, making it very difficult or impossible to use it with software or hardware. Geolocation information, IoT sensor signals, vehicle information, pedestrian information all generate vast amounts of unstructured information that can be used for constructive purposes. Therefore, “big data” technology can be considered as the most important technological trend that can radically change the process of searching, analyzing and using significant information in ensuring road safety in the future.

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 624.012.45.004.6

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

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Представлен метод расчета остаточного ресурса несущих конструкций на основании базового подхода, сформированного на принципе безопасной эксплуатации конструкций по техническому состоянию. Приведена методика расчета остаточного ресурса несущих конструкций, предложены значения постоянных износа для железобетонных элементов, эксплуатирующихся в различных атмосферных средах.

Введение. Оценка остаточного ресурса (ОР) зданий и сооружений (их отдельных элементов) в настоящее время в Республике Беларусь является одной из самых актуальных задач. Ее острота усиливается тем, что на сегодняшний день в стране значительная часть зданий и сооружений эксплуатируется длительные сроки (зачастую превышающие нормативные), с пропущенными либо выполненными некачественно и не в полном объеме, капитальными ремонтами [1].

Основными подходами к оценке ОР являются вероятностный и детерминированный [2].

Детерминированная модель оценки ОР на данный момент имеет наибольшее распространение. Это объясняется её относительно небольшой трудоемкостью при удовлетворительном качестве.

Принципы методов на основе детерминированных расчетов:

- к данным методам относятся методы исследования, в которых зависимость между рассматриваемыми признаками строго задана или детерминирована, поэтому исследование приводит к однозначным выводам;

- имеется достоверная информация о техническом состоянии конструкции;

- многочлен слишком низкой степени даёт грубое описание эмпирического материала, а многочлен высокой степени не будет сглаживать шумы эксперимента;

- выбор оптимальной степени многочлена основывается на допущении, что искомая функциональная зависимость с достаточным приближением может быть представлена многочленом некоторой степени n и что измеренные значения содержат только случайные ошибки;

- при накоплении достаточного экспериментального материала более перспективно в смысле достижения объективной оценки величины остаточного ресурса использование случайных функций.

При использовании данного подхода ОР рассчитывается по следующим признакам:

- изменению параметров несущей способности конструкции;

- изменению параметров технического состояния;

- степени физического износа;

- нормативам сроков эксплуатации до капитального ремонта;

- определению коэффициента запаса по видам предельных состояний.

Основная часть. В качестве базового при оценке ОР несущих конструкций принят подход, основанный на принципе безопасной эксплуатации по техническому состоянию (ТС). В соответствии с ним оценку ТС конструкций осуществляют по параметрам, обеспечиваю-

щим их надежную и безопасную эксплуатацию в соответствии с действующей НД, а ОР – по определяющим параметрам ТС [2].

В общем случае для оценки ОР в качестве определяющих параметров ТС приняты такие, изменение которых (в отдельности или в совокупности) может привести конструкцию в неработоспособное или предельное состояние.

Параметрами ТС конструкций, в зависимости от выбранных критериев предельного состояния и условий эксплуатации, служат:

- характеристики материалов (механические, химический состав, характеристики микроструктуры и т. д.);

- несущая способность (с учетом граничных условий, нагрузок и возможных типов разрушений);

- характеристики нагрузок и воздействий (температура, давление, динамика и т. д.).

В качестве основного параметра технического состояния конструкций для оценки их остаточного ресурса, как правило, принимают несущую способность, которую определяют в зависимости от вида их материала согласно требованиям действующей НД.

Оценку параметров ТС и выбор определяющих параметров осуществляют по результатам анализа технической документации, экспертного обследования, данных мониторинга (при наличии).

Прогнозирование ОР в общем случае осуществляется согласно закономерностям изменения определяющих параметров, полученным при анализе механизмов развития повреждений и (или) по результатам измерения функциональных показателей. На основании полученных оценок принимается решение о дальнейшей эксплуатации конструкций.

Расчетный подход к оценке остаточного ресурса.

При эксплуатации несущей конструкции рассматривают три этапа: первый – период приработки конструкции; второй – время работоспособной работы конструкции; третий – достижение предельного срока службы конструкции (рисунок 1).

На первом этапе возведенная конструкция эксплуатируется некоторое время без снижения надежности (период приработки). За этот период протекают основные длительные деформации конструкций (например, ползучесть), возрастает прочность бетона, нормально функционируют системы водоотведения и гидроизоляция и т. п. На данном этапе вероятность безотказной работы конструкции сохраняется на высоком уровне: $P(t) = 0,9986$. В течение данного временного промежутка осуществляются мероприятия по содержанию конструкций, проводимые в соответствии с [2].

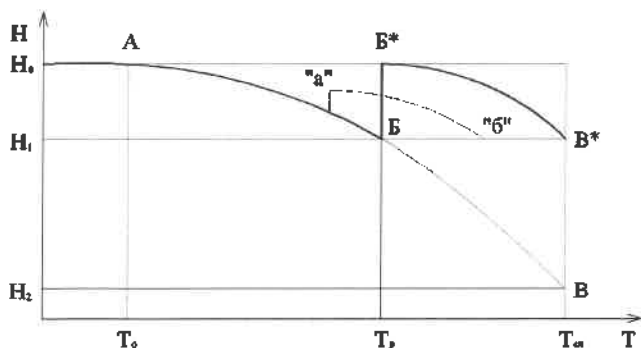


Рисунок 1 — График снижения надежности (Н) конструкции:
 T_0 — период приработки; T_p — работоспособность;
 T_{ca} — предельный срок службы

Продолжительность этого периода зависит от качества изготовления и монтажа конструкций (см. рисунок 1, точка А). Второй этап эксплуатации характеризуется появлением и развитием дефектов, изменением свойств материалов конструкций, возможностью появления и развития коррозионных процессов различной степени интенсивности. Появляются отказы в элементах с меньшим расчетным сроком службы (покрытия, деформационные швы, изоляция и т. п.). Дефекты и отказы влияют на несущую способность конструкций. Конструкции продолжают эксплуатироваться в прежнем режиме (без ограничений), хотя их надежность постепенно снижается (см. рисунок 1, линия А–В). Продолжительность второго этапа определяется временем, за которое вероятность безотказной работы конструкций снижается с 0,9986 до 0,9000. В этот период за ними ведется уход и проводятся плановые профилактические работы, а также локальный ремонт в рамках работ по содержанию. Продление этапа возможно при проведении ППР (см. рисунок 1, линия «а»–«б»).

Снижение вероятности безотказной работы конструкций в течение второго этапа (см. рисунок 1, точка В) означает, что дальнейшая эксплуатация конструкций по первоначальной схеме невозможна и они подлежат ремонту. В случае если выполнение ремонта задерживается или перенесено на более поздний срок, то допускается дальнейшая временная эксплуатация конструкций (до проведения ремонта) при обязательном изменении условий ее нагружения (т. е. при введении ограничений по временной нагрузке).

Третий этап эксплуатации конструкций характеризуется двумя факторами: наличием дефектов, снижающих их несущую способность, введением ограничений по нагрузкам и воздействиям на конструкции, и периодическим последующим снижением их величин с целью обеспечения требуемой надежности.

Продолжительность третьего этапа (см. рисунок 1, участок В–В) определяется временем, необходимым для достижения конструкциями такого состояния, когда, при максимально возможных ограничениях по временной нагрузке, вероятность их безотказной работы снова достигает $P = 0,9$. На третьем этапе эксплуатации конструкций обязательно должен быть выполнен их ремонт, не дожидаясь наступления момента В (см. рисунок 1), или предпринята серия ремонтных мероприятий (определяется экономическими расчетами), включая планово-предупредительные работы, цель которых переместить момент времени ремонта конструкций в том числе за счет изменения темпов деградации материалов.

Уровни надежности в общем случае определяются основными принципами подхода к расчету по оценке остаточного ресурса несущих конструкций. В данной методике рассматриваются два основных уровня надежности — N_1 и N_2 (рисунок 1). Уровень N_1 характеризуется достаточным значением вероятности безотказной работы конструкций ($P = 0,9$) в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует временной отрезок T_p , называемый работоспособным периодом (условно — работоспособностью) и определяемый для проектируемых, строящихся или недавно построенных сооружений. При достижении уровня N_1 снижается несущая способность конструкций или выполняется их ремонт. Уровень N_2 характеризуется пониженным значением вероятности безотказной работы в условиях действия проектных нагрузок. Этому уровню соответствует предельный износ конструкций, а их дальнейшая эксплуатация недопустима даже при пониженной эксплуатационной нагрузке. Первое снижение допустимой нагрузки происходит в возрасте конструкций до T_p .

Последующие снижения нагрузки возможны на участке В–В (В*–В*) (см. рисунок 1), что может продлить период эксплуатации до достижения уровня N_2 .

Критерием невозможности эксплуатации несущих конструкций преимущественно принимают исчерпание ими несущей способности.

Уровни надежности N_1 и N_2 также могут быть характеризованы соответствующей величиной индекса надежности β , являющейся аргументом функции (Φ) вероятности наступления отказа. Величины индекса надежности β принимают в общем случае с учетом уровня ответственности здания или сооружения, в котором находятся рассматриваемые конструкции, расчетной ситуации и других факторов. Допускается назначать индексы надежности β согласно таблице 1.

Таблица 1 — Рекомендуемые минимальные значения индекса надежности β для предельных состояний по несущей способности

Класс сложности здания (сооружения)	Минимальные значения β при базовом периоде	
	1 год	50 лет
К 3–5	5,2	4,3
К-2	4,7	3,8
К-1	4,2	3,3

Остаточный ресурс эксплуатируемых конструкций определяется периодом эксплуатации до достижения предельного износа. Момент наступления предельного износа определяют обычно на основании графика снижения несущей способности, построенного по результатам перерасчета.

При перерасчете конструкций учитывают:

- деградацию материалов конструкций;
- прогнозируемые изменения характеристик материалов конструкций на момент t_i (прогноз изменения прочности на сжатие, растяжение, сдвиг и т. п., изменения площади поперечного сечения, включая коррозионные процессы);
- изменение граничных условий и жесткости конструкций;
- иные факторы, которые могут оказать влияние на величину ОР конструкций.

Деградация свойств материалов конструкций вызывается неблагоприятной комбинацией воздействий статиче-

ски и динамически действующих внешних сил и внутренних самоуравновешивающихся полей напряжений. Она зависит главным образом от комбинации силовых полей в конструкциях. С учетом этого принятая в действующих НД методика оценки надежности в форме сопоставления комбинации суммарных напряжений с предельными значениями прочности, изменяющейся во времени, может быть использована и в оценке ОР конструкций. При этом учитывают, что величины напряжений, как и надежность, изменяются во времени вследствие деструктивных процессов в материалах конструкций, изменений деформативных свойств и др.

При оценке ОР рассматривают различные возможные модели отказов (износа). Отказы возникают в различных комбинациях и сочетаниях. Вероятность их реализации в разных конструкциях различна. Основная часть предсказуемых износов относится к категориям медленно протекающих, постепенных отказов. Они могут быть своевременно обнаружены и приостановлены или устранены в результате ремонта.

Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций. Основными этапами определения ОР несущих конструкций являются:

- анализ исходной технической документации;
- оценка ТС;
- анализ результатов оценки ТС (включая установленные критерии предельных состояний и выбор определяющих параметров ТС);
- определение ОР.

В рамках анализа исходной технической документации устанавливают номенклатуру технических параметров конструкций, устанавливают предельные состояния, выявляют наиболее вероятные отказы и повреждения, которые могут привести к их отказу. Особое внимание должно быть уделено анализу критериев, причин, последствий и критичности отказов, выявлению возможных постепенных, деградационных и зависимых отказов, подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов.

Аналізу подлежат: нормативно-техническая, конструкторская (проектная) и эксплуатационная, в том числе монтажная и ремонтная, документация. Кроме того, следует проанализировать базу данных по техническим параметрам конструкции или составленные ранее аналогичные технические заключения по результатам анализа технического состояния конструкции или его мониторинга при их наличии. Также в процессе анализа может быть рассмотрена иная научно-техническая информация по отказам и повреждениям по аналогичным конструкциям.

По результатам анализа исходной технической документации составляют:

- перечень проанализированной документации;
- схему конструкции с указанием элементов и участков, которые в результате особенностей их конструкторской или технологической реализации и (или) условий функционирования и нагруженности представляются наиболее предрасположенными к появлению повреждений и (или) отказам (в особенности скрытым, зависимым и внезапным);
- перечень технических параметров конструкции;
- программу оценки ТС конструкции.

В качестве исходных данных для приближенной оценки ОР несущих конструкций используют результаты визуального осмотра, выполняемого согласно [3, 4].

В общем случае оценку ТС конструкции выполняют согласно [3]. В рамках оценки ТС конструкций получают информацию о реальном ТС конструкций, наличии в них повреждений, выявлении причин и механизмов их возникновения и развития.

Оценку ТС выполняют в соответствии с программой, разработанной на основании анализа технической документации. Программой, как правило, предусматривают:

- визуальный контроль;
- измерения геометрических параметров, включая толщинометрию;
- замеры твердости и определение механических характеристик материалов, металлографические исследования, определение химического состава металла, дефектоскопический контроль, вид и объем которого устанавливается с учетом требований полноты и достаточности выявления дефектов и повреждений рассматриваемой конструкции;
- испытания на прочность (с испытанием контрольных образцов, с применением неразрушающих методов, методов тензочувствительных покрытий, тензометрии, акустической эмиссии, термографии и др.).

Анализ результатов оценки ТС конструкций должен включать:

- оценку фактической нагруженности конструкций, выполненную расчетным методом по действующим НД с учетом всех режимов нагружения и действующих нагрузок (включая температурные воздействия), фактической геометрии конструкций, фактических толщин несущих элементов, имеющихся и выявленных концентраторов напряжений и экспериментальных результатов исследований НДС, полученных при их обследовании;
- установление механизмов образования и роста обнаруженных дефектов и повреждений, возможных отказов (постепенных, деградационных, внезапных, включая их категории, последствия и критичность) вследствие развития дефектов и повреждений, при этом особое внимание должно быть уделено подтверждению отсутствия возможности внезапных отказов, при которых нельзя прогнозировать остаточный ресурс;
- оценку параметров ТС объекта, их соответствие требованиям действующих НД и конструкторской документации;
- установление при необходимости уточненной по сравнению с указанной в действующей НД системы предельных состояний и их критериев (например, уровень прогрессирующего формоизменения, возникновение предельно допустимых трещин, уровень течи перед разрушением и т. д.);
- заключение о необходимости дальнейших уточненных расчетов и экспериментальных исследований НДС конструкций и характеристик материалов;
- заключение о возможности дальнейшей эксплуатации конструкций с установлением назначенного ресурса (до проведения уточненных расчетов и экспериментальных исследований НДС, характеристик материалов и оценки остаточного ресурса) в случае отсутствия повреждений, влияющих на параметры ТС объекта.

Результаты анализа оценки ТС оформляют в виде технического заключения с решением о продолжении дальнейших исследований НДС конструкций и характеристик материалов или возможности дальнейшей эксплуатации с указанием назначенного ресурса. Также в рамках анализа результатов оценки ТС конструкций могут быть выполнены уточненные расчеты и исследования НДС и характеристик материалов.

В рамках выполнения уточненных расчетов и экспериментальных исследований НДС конструкций и характеристик материалов получают дополнительную (а также отсутствующую в технической документации) информацию о номинальных и местных напряжениях и деформациях с учетом фактических свойств материалов, необходимую для установления механизмов повреждений и (или) расчетов остаточного ресурса.

Уточненные расчеты проводят с учетом всех режимов и действующих нагрузок за период эксплуатации (включая температурные воздействия и взаимодействие с внешней средой), а также возможным изменением характеристик материалов.

Результаты расчетов НДС конструкций, выполненные по действующим нормативным документам, не регламентированным непосредственно для обследуемой конструкции, должны быть проверены экспериментальными методами (тензометрии, тензочувствительных покрытий, термометрии, акустической эмиссии и т. д.), которые в отдельных случаях (например, при отсутствии достаточно точных или апробированных на практике методов для сложных расчетов) могут использоваться самостоятельно. При этом могут применяться (при достаточном теоретическом и экспериментальном обосновании) методы моделирования и ускоренные методы испытания.

Определение уточненных характеристик материалов должно проводиться с учетом необходимой точности и объемов контроля неразрушающими методами или на образцах, вырезанных из конструкций в соответствии с программами исследований, составленными с учетом обнаруженных повреждений и условий эксплуатации конструкции. Перечень характеристик материала должен быть расширен и включать кроме стандартных прочностных свойств в зависимости от условий эксплуатации характеристики малоциклового и многоциклового усталости, длительной прочности, трещиностойкости, сопротивления коррозии и коррозионному растрескиванию и др.

Испытания образцов и определение характеристик материалов должны осуществляться в соответствии с действующими НД.

По результатам уточненных расчетов и исследования НДС конструкций и характеристик материалов должны быть уточнены механизмы повреждений, параметры технического состояния, установлены определяющие параметры технического состояния и критерии предельных состояний.

Категории технического состояния (КТС) в общем случае принимают согласно [3]. КТС и соответствующие относительные надежности конструкции приведены в таблице 2 [5].

ОР конструкции необходимо устанавливать на основе совокупности имеющейся информации прогнозированием

его технического состояния по определяющим параметрам до достижения предельного состояния.

Таблица 2 – Соотношение категорий технического состояния и средней относительной надежности

Категория технического состояния (СН 1.04.01-2020)	Средняя относительная надежность $\gamma_{ср}$
I – Исправное (хорошее) техническое состояние	1,00
II – Работоспособное (удовлетворительное) техническое состояние	0,95
III – Ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) техническое состояние	0,85
IV – Неработоспособное (неудовлетворительное) техническое состояние	0,75
V – Предельное (предаварийное) техническое состояние	0,65

На первой стадии прогнозирования ОР должно быть установлено, что в результате проведенных обследований и анализов ТС выполнены одновременно следующие условия:

- известны параметры ТС объекта, в частности, определяющие параметры ТС, изменяющиеся соответственно выявленному механизму повреждения элементов объекта;

- установлены критерии предельных состояний объекта, достижение которых возможно при развитии выявленных повреждений.

Прогнозирование ОР может быть выполнено упрощенными или точными методами. Выбор способа прогнозирования ОР зависит от периодичности контроля за конструкциями.

При непрерывном (или дискретном) контроле за параметрами ТС могут допускаться упрощенные методы, при которых прогнозирование осуществляют по одному параметру ТС.

Упрощенные методы прогнозирования могут использоваться, например, при прогнозировании ОР:

- конструкций, работающих в условиях статического нагружения и коррозионной среды, несущая способность которых снижается вследствие уменьшения площади поперечного сечения (когда основной повреждающий фактор – общая коррозия);

- конструкций, работающих в условиях циклического нагружения при отсутствии коррозионной среды, несущая способность которых снижается вследствие малоциклового усталости;

- конструкций по функциональным параметрам, когда имеется объем информации по параметрам за период эксплуатации, достаточный для экстраполяции этих значений на последующий период эксплуатации, при выполнении условий безопасной эксплуатации данных конструкций.

В общем случае выбор метода должен обосновываться точностью и достоверностью полученных данных, а также требованиями точности и достоверности прогнозируемого остаточного ресурса конструкций и риска, связанного с их дальнейшей эксплуатацией, наличия и точности системы контроля за их ТС.

В качестве основного показателя ОР в результате прогноза определяют наработку до отказа T , при заданной вероятности безотказной работы $P(t)$ или по индексу надежности β , в виде функции вероятности безотказной работы в течение этой наработки.

Величину вероятности $P(t)$ выбирают в зависимости от назначения, степени ответственности и режима использования конструкций. Если переход конструкций в предельное состояние (ресурсный отказ) связан с опасностью для жизни и здоровья людей, со значительными экологическими последствиями, с отсутствием непрерывного контроля за техническими параметрами, то продолжительность эксплуатации следует нормировать заданным назначенным ресурсом, опираясь при этом на полученные показатели ОР.

ОР несущей конструкции (годы) определяют по формуле

$$T_p = \frac{k}{\lambda}, \quad (1)$$

где T_p – остаточный ресурс, годы; 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 несущей способности на момент обследования,

$$\lambda = \frac{-\ln \gamma_{cp}}{t_i}, \quad (2)$$

где γ_{cp} – средняя относительная надежность; t_i – срок службы в годах, на момент проведения обследования.

Необходимо отметить, что большой вопрос вызывают значения постоянной износа и ее применение. Так, в [6] приведено, что для железобетона, в период нормальной эксплуатации $\lambda = 0,003 \dots 0,005$. С течением времени, по данным [7], она увеличивается в конце срока эксплуатации примерно в три раза и возрастает с 0,003 до 0,01.

Авторские исследования физического износа железобетонных элементов, эксплуатировавшихся различные длительные сроки в разных атмосферных условиях показывают, что в условиях открытой атмосферы, в зонах нормальной эксплуатации, значения постоянной износа близки к предлагаемому, значительно увеличиваясь к концу нормативного срока эксплуатации ($\lambda = 0,0145 \dots 0,0290$); в условиях зданий сельскохозяйственного назначения – выше (коровники – $\lambda = 0,0063 \dots 0,0100$; свинарники – $\lambda = 0,0125 \dots 0,0145$) и тем более значительно выше в конце эксплуатационных сроков в зонах неудовлетворительного и предаварийного технических состояний (λ до 0,0490), что необходимо учитывать при расчете сроков наступления неудовлетворительного (предаварийного) технического состояния (капитального ремонта) [8, 9].

На основании данных по оценке ТС конструкций и ОР должно приниматься обоснованное решение о возможности дальнейшей их эксплуатации в соответствии

с остаточным или назначенным ресурсом или их ремонте, снижении рабочих параметров, демонтаже. Решение принимается организацией, проводившей техническое диагностирование и оценку ОР.

Заключение. Методика расчета ОР несущих конструкций позволяет выполнить расчетный прогноз их остаточного ресурса как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации.

Использование предлагаемого метода позволяет повысить не только качество оценки ОР, но и объективность составления и планирования бюджетов на обслуживание и капитальный ремонт несущих конструкций зданий и сооружений.

Список литературы

- 1 К вопросу оценки остаточного ресурса зданий и сооружений / А. А. Васильев [и др.] // «OPEN INNOVATION»: сб. статей VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение. – 2019. – С. 46–49.
- 2 Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций зданий и сооружений. – М. : Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве, 2018. – 50 с.
- 3 СН 1.04.01–2020. Техническое состояние зданий и сооружений. – Введ. 2020-10-27. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2021. – 68 с.
- 4 СП 1.04.02–2022. Общие положения по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений. – Введ. 2022-05-05. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2022. – 78 с.
- 5 Васильев, А. А. Оценка граничных значений характеристик надежности для различных категорий технического состояния железобетонных конструкций / А. А. Васильев, В. М. Швед, В. О. Бондаренко // «WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS»: сб. статей XL Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение. – 2020. – С. 28–30.
- 6 Пухонто, Л. М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен) / Л. М. Пухонто. – М. : АСВ, 2004. – 424 с.
- 7 Бойко, М. Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий / М. Д. Бойко. – М. : Стройиздат, 1975. – 334 с.
- 8 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование физического износа строительных конструкций, зданий и сооружений : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 189 с.
- 9 Оценка постоянной физической 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.

Получено 05.10.2022

A. A. Vasilyev. Assessment of the remaining life of load-bearing structures.

A method for calculating the residual resource of load-bearing structures is presented, based on a basic approach formed on the principle of safe operation of structures according to technical condition. The method of calculating the residual life of load-bearing structures is given, the values of constant wear for reinforced concrete elements operating in various atmospheric environments are proposed.

УДК 621.8, 625.144.1

В. Л. МОЙСЕЕНКО, кандидат технических наук, Д. С. ПУПАЧЁВ, магистр технических наук, К. В. МАКСИМЧИК магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ В ПУТЕВОМ ХОЗЯЙСТВЕ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Приводится описание ряда технологических операций, выполняемых в путевом хозяйстве Белорусской железной дороги, с учетом существующей проблематики проведения их механизации при помощи необходимого технического оборудования. Описываются конструкции разработанных устройств, призванных обеспечить частичную механизацию, а также безопасность проведения отмеченных путевых работ, даны их технические характеристики, особенности и показатели, подтверждающие их работоспособность.

Введение. Путевое хозяйство является основой работы всего железнодорожного транспорта. От эффективности его ведения и планирования зависит безопасность движения, рациональность использования финансовых и материальных ресурсов. Следовательно, задачи по совершенствованию технического уровня производства путевых работ являются одними из приоритетных.

Одним из основных направлений решения поставленных задач является механизация производственных процессов при выполнении ремонтов и текущем содержании пути, а также при осуществлении операций непосредственно на предприятиях путевого хозяйства (например, на звеносборочных линиях или при погрузке/разгрузке рельсошпальной решетки в путевых машинных станциях). Это сокращает время на выполнение отмеченных работ, повышает их качество и безопасность проведения.

На текущий момент путевое хозяйство Белорусской железной дороги располагает значительным парком специализированной техники и устройств, способных формировать технологические цепочки по производству основных работ по текущему ремонту и содержанию пути, но в то же время существует ряд операций, требующих разработки и внедрения устройств новой и даже типовой конструкции ввиду недостаточности насыщения ими (в заводском исполнении) предприятий, выполняющих отмеченные работы.

Поэтому специалистами РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги» в кооперации с научными сотрудниками кафедры «Транспортно-технологические машины и оборудование» Белорусского государственного университета транспорта на постоянной основе проводятся изыскания по разработке средств механизации и устройств, позволяющих рационально и экономически эффективно оптимизировать работу путевого хозяйства, повысить возможности использования находящихся на балансе предприятия технических средств и ресурсов [1]. За последнее время в рамках такого взаимодействия были разработаны конструкции оборудования по балластировке и перераспределению балласта, а также платформы для перетяжки пакетов звеньев на производственных базах.

Устройство для перераспределения и планировки щебеночного балласта. Одними из основных работ, направленных на поддержание оптимального эксплуатационного состояния магистралей и осуществляемых на железных дорогах, имеющих балластное основание, являются балластировочные.

В рамках их проведения выполняются операции по формированию и отделке балластной призмы с приданием ей требуемого поперечного очертания, направление балластного материала в зону под шпалами путевой решетки, а также его перераспределение в шпальные ящики. При необходимости осуществляется уборка и перераспределение излишков балластного материала для обеспечения равномерной толщины уложенного щебня [2]. При этом правильная планировка и распределение балласта обеспечивают равноупругость и равнопрочность подшпального основания, а также сток воды с пути.

Для механизации отмеченных работ нашел применение такой класс машин, как планировщики-распределители балласта. К примеру, можно выделить ряд таких машин, как ПБ-01 и РПБ-01, СПЗ-5 и SSP-110SW [3]. Последняя, в частности, является скоростным планировщиком балласта и хорошо зарекомендовала себя на Белорусской железной дороге.

Однако данные высокопроизводительные самоходные экипажи имеют возможность работать только на железнодорожной колее 1520 мм. В то же время на Белорусской магистрали в западных приграничных областях республики активно эксплуатируются пути с колеей 1435 мм, которые также необходимо обслуживать для поддержания их в надлежащем состоянии. Но ввиду того, что их протяженность невелика в сравнении с общей протяженностью всех железнодорожных путей страны (составляет для Брестского и Барановичского отделений чуть больше 60 и 20 км соответственно, при путевом хозяйстве ГО «Белорусская железная дорога» более чем в 5,5 тыс. км), покупка достаточно специализированной самоходной техники под т. н. «европейскую» колею является экономически нецелесообразной [4]. Выходом из этой ситуации стала разработка работниками структурного подразделения «Путевая машинная станция Брест» РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги» совместно со специалистами кафедры «Транспортно-технологические машины и оборудование» УО «БелГУТ» комплекта оборудования для перераспределения и планировки щебеночного балласта на путях с шириной колеи 1435 и 1520 мм на скреплениях типа КБ и СБ в виде адаптерных устройств, позволяющих как осуществлять выполнение возложенных на них операций, так и повысить функциональность уже имеющегося в парках путевого хозяйства специального самоходного подвижного состава.

Разработанное адаптерное устройство (рисунок 1) представляет собой рамную конструкцию, опирающуюся

ся на головки рельсов железнодорожного пути опорными роликами, и передвигается посредством перетаскивания стальными канатами за проушины любым специальным самоходным подвижным составом или хозяйственным поездом. Перераспределение и планировка балласта производится крыльями и отвалами при поступательном движении устройства вперед.

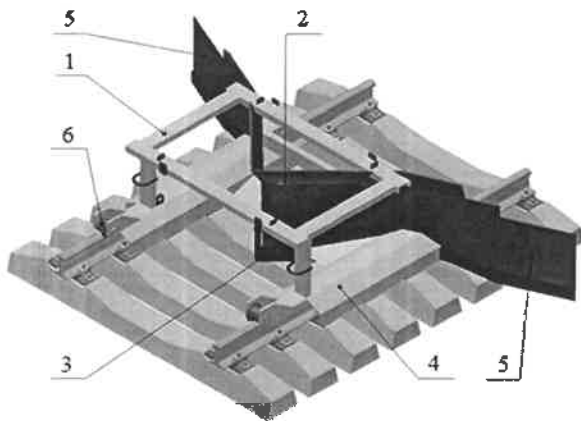


Рисунок 1 – Конструкция устройства для перераспределения и планировки щебеночного балласта:

1 – рама; 2 – отвал; 3 – ножи; 4 – защитный тоннель;
5 – съемные крылья; 6 – ролик

Рама 1 сварного типа состоит из металлических профилей переменного сечения. Для обеспечения жесткости конструкции непосредственно в раму вваривается отвал 2 (его центральные и боковые листы), тем самым образуется единый пространственный каркас устройства, предотвращающий скручивание и деформацию элементов устройства при работе.

На отвале 2 при помощи сварки монтируются ножи 3 специальной формы, обеспечивающие вырезание, перемещение и перераспределение балласта от центра железнодорожного пути к его краям. При этом для обеспечения защиты промежуточных скреплений и рельсов от попадания на них балласта при его перераспределении на представленном устройстве предусмотрены защитные тоннели 4.

Рабочее оборудование устройства обеспечивает планировку плеча балластной призмы как в прямых, так и в кривых с любым возвышением наружного рельса. Крылья 5 съемные. Монтаж и их фиксация на устройстве осуществляются посредством болтовых соединений.

Опорные ролики обеспечивают снижение нагрузки при продвижении устройства по рельсам при работе и в то же время выступают направляющими, предотвращающими боковое смещение данной конструкции во время работы.

Для обеспечения устойчивости устройства при работе оно прижимается к пути балластным грузом (один противовес укладочного крана), размещаемым на верхней части рамы конструкции. От перемещения груза по раме в процессе движения применяются продольные и поперечные ограничители.

Перемещение устройства производится за счет тяговых проушин, на которых фиксируются тросы от самоходного подвижного состава. Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ с устройством предусмотрены транспортировочные проушины. Улучшению

возможностей транспортировки также способствуют и съемные крылья 5.

Техническая характеристика разработанного устройства представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика устройства для перераспределения и планировки балласта (с учетом модификаций)

Показатель	Значение
Рабочая колея, мм	1520 / 1435
Тип скрепления	КБ / СБ-3
Тип рельсов	Р50 / Р65
Механизм передвижения	При помощи ССПС или хозяйственного поезда
Скорость движения рабочая, не более, км/ч	5
Минимальный радиус проходимых кривых, м	200
Применяемый балластный груз	Противовес крана
Масса балластного груза, кг	1000
Масса устройства без груза, не более, кг	695–750

В процессе разработки для обеспечения работоспособности оценивалось тяговое усилие, необходимое для перемещения устройства при работе, рассчитываемое по формуле

$$F = \sum W + (G\alpha_1\alpha_2k), \quad (1)$$

где $\sum W$ – сумма составляющих сопротивление перемещению, вызванных срезанием балласта и его перемещением, кН; G – вес устройства с пригрузом, Н; α_1 – коэффициент трения в подшипниках скольжения роликов, $\alpha_1 = 0,025$; α_2 – коэффициент трения роликов о рельс, $\alpha_2 = 0,09$; k – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению в кривых участках пути, на подъеме.

При этом было установлено, что перемещать разработанное оборудование сможет любой имеющийся в парке путевого хозяйства специальный самоходный подвижной состав.

Расчет на прочность конструкции осуществлялся на базе модели устройства в пакете Autodesk Inventor с учетом известных нагрузок и сопротивлений. Результаты расчета подтвердили полную работоспособность конструкции с учетом принятых материалов и изделий.

Платформы для перетяжки пакетов рельсошпальной решетки. Перетяжка пакетов звеньев является важной частью технологического процесса погрузки/разгрузки и транспортировки собранной рельсошпальной решетки для укладки в путь или после ее демонтажа по месту проведения работ на предприятиях путевого хозяйства.

При осуществлении такого типа операций в пути в составе путеукладочных поездов применяют лебедки, смонтированные на моторных платформах типа МПД и МПД-2 [5, 6].

Однако при работе на звеноборочных или звено-разборочных участках (или базах) количество таких машин ограничено, поэтому для обеспечения работоспособности структурных подразделений РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги» были спроектиро-

ваны и в последствии построены конструкции устройств для перетяжки пакетов звеньев рельсошпальной решетки в виде лебедок, монтируемых на типовых грузовых платформах модели 13-401. Реализация данной конструкторской работы возымела ряд положительных эффектов: было осуществлено сохранение ресурса и остаточного срока службы имеющихся платформ МПД и МПД-2 за счет снижения интенсификации их применения в рамках производственных баз, а также введены в оборот использования простаивающие грузовые платформы модели 13-401.

При разработке учитывались имеющиеся на балансе предприятий компоненты и электрооборудование, которые могли использоваться в составе грузотранспортного оборудования. Как следствие, был сконструирован ряд платформ, отличающихся конфигурацией и расположением типовых элементов, однако обеспечивающих при этом необходимое тяговое усилие для выполнения возложенных на них операций.

Основной тяговый орган платформ представлен лебедкой (рисунок 2), которая состоит из следующих сборочных узлов: редуктора 3, барабана 6 с опорами 4, 7, муфт (упругой втулочной 2 и фланцевой 8) и электродвигателя 1, смонтированных на общей раме 5 сварной конструкции. Непосредственно на раме платформы крепится пусковая аппаратура привода лебедки.

Рабочим органом лебедки является барабан, служащий для намотки каната. Закрепление каната на барабане осуществляется с помощью закрепительных планок.

Редуктор лебедки – цилиндрический двухступенчатый горизонтальный. Предназначен для увеличения крутящего момента и уменьшения частоты вращения. Электродвигатель – асинхронный трехфазный. Состоит из следующих частей: статора, ротора, переднего и заднего подшипниковых узлов, вентилятора, кожуха вентилятора и коробки выводов. Для соединения валов компонентов лебедки, а также незначительной компенсации их радиальных смещений применяются два вида муфт: втулочно-пальцевая (типа МУВП) и фланцевая.

В зависимости от модификации возможна установка тормозов колодочных гидравлических типа ТКГ.

Фиксация лебедки на раме платформы осуществляется при помощи болтового соединения и сварки для реализации оптимальной надежности закрепления. Для

обеспечения защиты компонентов лебедки от атмосферных осадков возможна установка защитного навеса.

Полученные в итоге изделия предназначены для перетяжки 25-метровых звеньев рельсошпальной решетки, на линии разборки или сборки ж.-д. звеньев с железобетонными и деревянными шпалами.

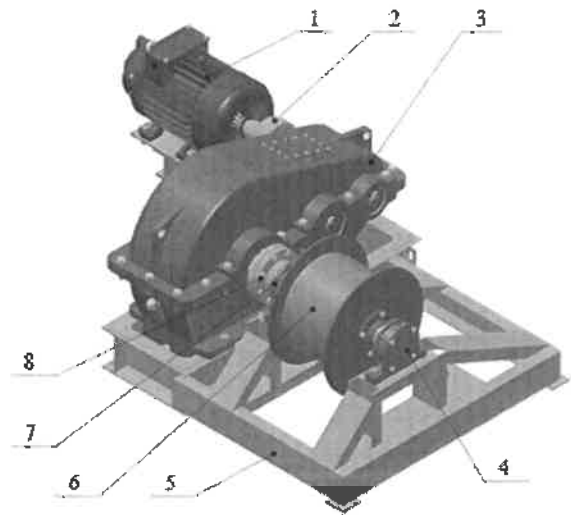


Рисунок 2 – Общий вид лебедки:

1 – электродвигатель; 2 – муфта МУВП; 3 – редуктор; 4 – опора глухая; 5 – рама; 6 – барабан; 7 – опора проходная; 8 – муфта фланцевая

Общий вид платформы с лебедкой представлен на рисунке 3.

Конструкция представляет собой несамohодную платформу модели 13-401 грузоподъемностью до 63 тонн (состоящую из рамы, опирающейся на две двухосные ходовые тележки) со смонтированной на ней лебедкой и элементами электрооборудования, необходимого для ее управления. Платформа имеет тормозную систему, а также автосцепки с поглощающим аппаратом.

Пакеты звеньев посредством лыж перетягиваются вдоль платформ по роликовым транспортерам с помощью лебедки.

Платформа для перетяжки звеньев транспортируется к месту работ тепловозом или другой тяговой подвижной единицей.

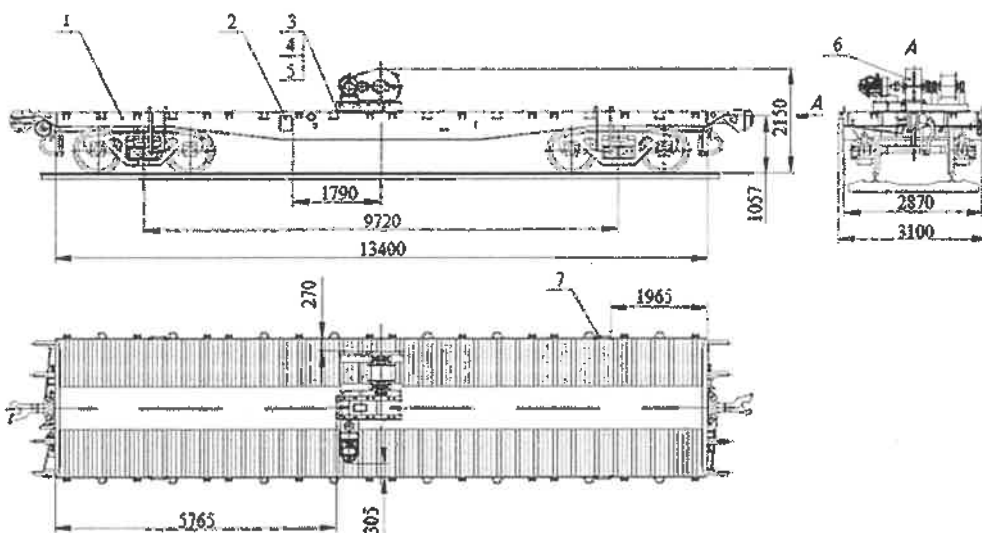


Рисунок 3 – Общий вид платформы для перетяжки пакетов звеньев рельсошпальной решетки:

1 – базовая платформа; 2 – ящик с электроаппаратурой; 3–5 – крепеж лебедки; 6 – тяговая лебедка; 7 – лестница

Ввиду того, что значительная часть компонентов (электродвигатели, редукторы, муфты и барабаны), применяемых в разработанной конструкции, аналогична тем, которые используются в заводских исполнениях (лебедки типа ЛМ или ТЛ), для определения работоспособности конструкции велся подбор и расчет необходимого каната с учетом максимально достигаемого тягового усилия по формуле [7]

$$F_0 \geq SZ_p, \quad (2)$$

где F_0 – разрывное усилие каната в целом, принимаемое по стандарту для данного типа каната, Н; S – наибольшее натяжение ветви каната, Н; Z_p – минимальный коэффициент использования каната в зависимости от группы классификации механизма.

Расчет на прочность металлоконструкции рамы лебедки при ее конструировании проводился на базе твердотельной модели, созданной в пакете Autodesk Inventor с учетом известных нагрузок и сопротивлений.

Технические характеристики для разработанной платформы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика платформы для перетяжки пакетов звеньев рельсошпальной решетки

Показатель	Значение
Модель вагона	13-401
Ширина колеи, мм	1520
Тяговое усилие лебедки, кН	Не менее 32
Привод лебедки	Электрический
Питание лебедки	От внешних источников
Тип электродвигателя	Асинхронный трехфазный МТФ/МТН/АИР
Мощность электродвигателя, кВт, не менее	7,5
Тип редуктора	Двухступенчатый цилиндрический
Скорость навивки каната на первом слое, м/с	До 0,3
Масса лебедки без каната, кг	Не более 1500

Получено 25.10.2022

V. L. Moiseenko, D. S. Pupachou, K. V. Maximchyk. Optimization of technological processes with own designed devices using in the track facilities of the Belarusian Railway.

A description of a number technological operations performed in the track facilities on the Belarusian Railway is given, taking into account the existing problems of carrying out their mechanization with the help of the necessary technical equipment. The designs of the developed devices that provide partial mechanization, as well as the safety of the noted track work, are described, their specification, features and performance indicators confirming their efficiency are given.

Заключение. В рамках проведенных работ на основании существующей проблематики были решены задачи по оптимизации технологических процессов, выполняемых в путевом хозяйстве работ за счет разработки конструкторской документации и последующего производства и внедрения спроектированных конструкций устройств, таких как планировщик-распределитель щебеночного балласта адаптерного типа и платформы для перетяжки пакетов звеньев путевой решетки, в структурных подразделениях РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги».

Список литературы

- 1 О Государственной программе «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] / Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : https://pravo.by/upload/docs/op/C22100165_1616792400.pdf. – Дата доступа : 29.09.2022.
- 2 Путевые машины : учеб. / М. В. Попович [и др.] ; под ред. А. С. Половича, В. М. Бугаенко. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. – 820 с.
- 3 Егоров, А. С. Механизация путевых работ : учеб. пособие / А. С. Егоров. – М. : Маршрут, 2006. – 90 с.
- 4 Кулаков И. А. Логистическое развитие железнодорожных станций Республики Беларусь / И. А. Кулаков, Л. О. Кулакова // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : Четвертая междунар. науч.-практ. конф., 28 апреля 2021 г. – Тюмень, 2021. – Т. 2. – С. 88–95.
- 5 Крейнис, З. Л. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути : учеб. / З. Л. Крейнис, Н. Е. Селезнева. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2012. – 568 с.
- 6 Федосов, А. В. Устройство, текущее содержание и ремонт железнодорожного пути : учеб. пособие / А. В. Федосов. – Минск : РИПО, 2020. – 427 с.
- 7 Кузьмин, А. В. Справочник по расчетам механизмов подъемно-транспортных машин / А. В. Кузьмин, Ф. Л. Марон. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 1983. – 350 с.

УДК 625.1

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

АНАЛИЗ ФАКТОРНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СИСТЕМЫ ВЕДЕНИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА

Рассматриваются перспективы перехода дистанций пути как основных организаций путевого хозяйства на новую систему административного деления в условиях реального производственного процесса. Проанализированы основные положения Концепции развития путевого хозяйства на период с 2022 по 2030 год, принятой Белорусской железной дорогой в 2021 году, а также факторные решения по изменению системы ведения путевого хозяйства и системы административного деления с учетом опыта Брянск-Льговской дистанции пути Московской дирекции инфраструктуры.

Введение. Работа путевого хозяйства в значительной мере зависит от формирования внешних и внутренних условий, оказывающих влияние не только на организацию и планирование путеремонтных работ, но и на величину эксплуатационных расходов. В настоящее время задачами формирования стратегий в области развития отрасли являются, с одной стороны, изменение методических подходов к системе ведения путевого хозяйства и административной структуре дистанций пути, а с другой – совершенствование технологий производства путеремонтных работ.

Система ведения путевого хозяйства – свод принципов, технических параметров и нормативно-технических требований, направленных на обеспечение надлежащего уровня надежности железнодорожного пути и безопасности движения поездов.

Действующая на сегодняшний день система ведения путевого хозяйства (далее – система) регламентирована стандартом организации СТП БЧ 56.388-2022 «Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги» (приказ от 14.05.2022 № 370 НЗ) [1]. Положение введено в действие с 20.06.2022, заменив систему, которая действовала согласно приказу от 01.01.2019 года 1072 НЗ. Изменение системы обусловлено необходимостью оптимизации основных положений, а также принятием кардинальных мер, направленных на повышение эффективности работы отрасли.

Разработка новой системы выполнена в рамках Концепции развития [2] как одного из основных направлений совершенствования путевого хозяйства.

В статье выполнен анализ факторов, влияющих на работу путевого хозяйства на текущем этапе и в перспективе, подтверждена возможность изменения подходов планирования ремонтов железнодорожного пути.

Таблица 1 – Классы железнодорожных путей согласно приказу от 01.01.2019 года 1072 НЗ с учетом изменений согласно приказу от 14.05.2022 № 370 НЗ

Грузонапряженность, млн т·км брутто/км в год	Допускаемые скорости движения поездов, км/ч (числитель – пассажирские, знаменатель – грузовые)					
	> 140 > 90	121–140 81–90	81 101–120 71–80	71–100 51–70	41–70 41–50	61–80 61–70
Более 30 40	1	1	1	1	2	3
От 20 до 30 40 вкл.	1	1	1 2	2	3	3
» 10 » 20 »	1	1	2	3	3	4
» 5 » 10 »	1	1 2	3	3	4	4
5 и менее	1	2 3	3 4	4	4	4

Примечание – Жирным выделены классы путей согласно приказу от 14.05.2022 № 370НЗ.

Классификация железнодорожных путей не только ранжирует показатели, но и предусматривает ступенчатую перекладку элементов ВСП с путей более высоких

Структуризация факторов, влияющих на эффективную работу путевого хозяйства. Ключевые факторы позволяют определить положительные возможности и узкие места анализируемых подходов для дальнейшей разработки оптимальной стратегии развития отрасли, например:

- скорость движения поездов;
- грузонапряженность участков;
- межремонтный срок согласно реальным условиям;
- новые технологии путеремонтных работ;
- реальное техническое состояние элементов верхнего строения пути (ВСП);
- ресурсосберегающие технологии;
- контингент рабочих, занятых на текущем содержании пути и т. п.

Все перечисленные факторы имеют динамический характер и в определенной степени влияют как друг на друга, так и на производственную деятельность предприятий путевого хозяйства.

Основная задача по содержанию путевого хозяйства возложена на двадцать дистанций пути (ПЧ), шесть дистанций защитных лесонасаждений (ПЧЛ) и государственное предприятие «Ремпуть Белорусской железной дороги». На работу каждой из организаций оказывает влияние ряд факторов, которые вносят свои коррективы не только в настоящее время, но и будут влиять в будущем.

Изменение методологических подходов к системе ведения путевого хозяйства. Основным принципом, положенным в разработку системы ведения путевого хозяйства, является классификация железнодорожных путей, то есть сочетание грузонапряженности и максимальной скорости движения поездов. В ныне действующей системе в ряде случаев класс пути снижен на единицу (таблица 1).

классов на пути более низких. Первый и второй (самые высокие) классы путей предусматривают укладку только новых элементов ВСП, третий – старогодных рель-

сов в сочетании с новыми или старогодными шпалами и скреплениями, четвертый и пятый – старогодных рельсов и шпал, новых или старогодных скреплений. Такая организация повторного применения материалов позволяет элементам ВСП, имеющим различный срок службы, выработать его до полного исчерпания ресурса.

Оптимизация классификации путей учитывает изменения условий их эксплуатации, а именно, повышение скоростей и снижение грузонапряженности. Таким образом, понижение класса пути на участках с низкой грузонапряженностью даст возможность расширить полигон применения старогодных материалов, а также продлить их межремонтный срок. В реальных условиях производственной деятельности отрасли такие изменения должны положительно сказаться на эксплуатационных расходах.

Обслуживание железнодорожного пути определяет систему путеремонтных работ, включающую капитальный, восстановительный, средний ремонт, планово-предупредительную выправку и работы по текущему содержанию пути.

В настоящее время задачами формирования стратегий в области развития путевого хозяйства обозначены поиски путей для обоснованного продления межремонтных сроков как за счет оптимизации планирования работ, так и за счет внедрения ресурсосберегающих технологий. Вводятся новые промежуточные работы по текущему содержанию, выполняемые с использованием путевых машин и средств малой механизации, например, очистка щебеночного балласта на стрелочных переводах, алюминотермитная наплавка рельсов и другие.

Вместе с тем не до конца остается вопрос определения элемента ВСП, относительно которого возможно установить нормативный срок восстановительного ремонта пути, так как у каждого из элементов свой ресурс. Неравнозначность сроков приводит к тому, что в ремонт включаются участки, не выработавшие свой ресурс, а в других – приводит к повышению расходов на текущее содержание пути, в то время как целесообразнее выполнить полный комплекс работ по замене ВСП.

Для всех прошлых систем при планировании ремонтов основной расчет делался на состояние рельсов, в то время как показывают практические наблюдения, что наиболее эффективно нормативный срок установить в зависимости от срока службы железобетонных шпал:

- для первого класса при укладке пути на новых материалах – 30 лет;
- второго – 35 лет;
- третьего – 40 лет.

Принятие решения о проведении ремонта выполняется на основании комиссионного обследования, и в случае если по истечении нормативных лет состояние шпал не снижает надежность работы пути, нормативный срок возможно увеличить. Допускается неоднократное продление межремонтного срока, при этом разовое продление не должно превышать 5 лет, а суммарное не должно быть более 50 % от расчетного.

Внедрение и развитие информационно-управляющих систем в путевом хозяйстве позволяет расширить количество критериев назначения ремонтов, например, индекс предотказного состояния геометрии рельсовой колеи $ind_{geom}^{пред}$ – параметр, характеризующий степень расстройств рельсовой колеи непрерывно в каждой

точке пути и рассчитывается как среднее значение за 6 месяцев. На основании этого параметра определяется коэффициент предотказного состояния геометрии рельсовой колеи на участке оценки, возникающий из-за отступлений, и определяющий состояние пути как исправное, работоспособное, частично работоспособное, предотказное и неработоспособное.

Информационно-управляющие системы позволяют производить мониторинг состояния пути, что дает возможность при назначении ремонта учитывать фактическое назначение ВСП.

Изменение системы административного деления дистанции пути. Укомплектованность кадров – одна из острых проблем дистанции пути, так как производственная деятельность этих предприятий, кроме выполнения работ, включает ведение технической документации, периодические осмотры и проверки пути, искусственных сооружений, земляного полотна, путевых устройств и т. п. В настоящее время ограничение по количеству персонала затрудняет выполнение в полной мере всех функций предприятия, что приводит к систематической выдаче средствами диагностики ограниченной установленной скорости движения поездов и выявлению километров с неудовлетворительной оценкой (рисунок 1). Такая ситуация в большей мере характерна для Минского отделения пути (НОД-1), куда входят Минская (ПЧ-3) и Борисовская (ПЧ-2) дистанции пути.

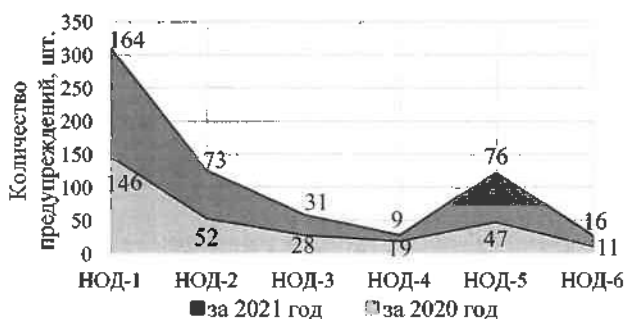


Рисунок 1 – Количество ограничений скорости из-за неисправности пути

В создавшихся условиях встает вопрос об установлении рациональных путей повышения эффективности и качества текущего содержания пути с учетом всех реалий. Одним из путей может стать переход на иную систему расчета численности рабочих отделений, в зависимости от местных условий околотка. Планируется, что функции, списочная численность монтеров пути, порядок ежедневного осмотра участка будут устанавливаться от группы околотка (линейный, узловый и смешанный).

Околоток, включающий в свои границы значительную долю главных путей и/или железнодорожные станции 3–4-го классов (не более двух), будет относиться к линейному. Внеклассные и железнодорожные станции 1-го и 2-го классов будут включены в околотки узлового типа.

Как правило, ВСП всех главных путей представляет собой однотипную конструкцию, а именно рельсы типа Р65, шпалы железобетонные на щебеночном балласте – 97 % от общей протяженности, в то время как бесстыковой путь – 67 %. При такой конструкции пути и своевременном проведенном ремонте объемы работ на текущее содержание могут быть значительно снижены.

Прогнозируемые улучшения подтверждаются опытом реформирования путевого комплекса ОАО «Российские железные дороги». Согласно концепции реформирования, дистанция пути является основным структурным подразделением дирекции инфраструктуры, на которое возложено проведение надзора и контроля за техническим состоянием железнодорожного пути и сооружений, а также выполнение путевых (неотложных, первоочередных и плановых) работ по текущему содержанию.

Существенные изменения в системе ведения путевого хозяйства проводились в 2013 году согласно распоряжению ОАО «РЖД» № 2758 [3]. Эти изменения позволили:

- сократить непроизводительные расходы на доставку и проход рабочих к месту работ;
- сократить количество и продолжительность технологических «окон»;
- повысить стабильность технического состояния пути.

Результаты реформирования рассмотрим на примере эксплуатационного участка № 3 Брянск-Льговской дистанции пути, которая является структурным подразделением Московской дирекции инфраструктуры.

Основным подразделением дистанции является эксплуатационный участок, которым руководит начальник участка пути (ПЧУ). В состав Брянск-Льговской дистанции пути входит 5 эксплуатационных участков. ПЧУ осуществляет руководство в рамках своего участка, планирует совместно с дорожными мастерами (ПД) путевые работы, организывает и контролирует их выполнение.

Например, ПЧУ-3 обслуживает 123,657 км главных путей, 28,791 км станционных путей и 122 стрелочных перевода (станции Синезерки, Клоковники и Навля), согласно чьей его структура включает рабочие отделения по обслуживанию пути (ПДБ_п) и стрелочных переводов (ПДБ_{сп}) (рисунок 2).

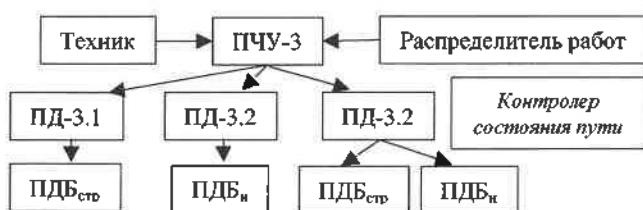


Рисунок 2 – Структура 3-го эксплуатационного участка

Согласно техническим характеристикам обслуживаемых участков структура входящих в них околотков определяется согласно протяженности приведенных километров, которые рассчитываются в зависимости от протяженности главных и станционных путей, количества одиночных и перекрестных стрелочных переводов.

Получено 26.10.2022

V. V. Romanenko. Analysis of factor decisions to change the system travel management.

The article discusses the prospects for the transition of track distances, as the main organizations of the track facilities, to a new system of administrative division in a real production process. The main provisions of the Concept for the development of track facilities for the period from 2022 to 2030, adopted by the Belarusian Railways in 2021, and factorial decisions to change the system of track facilities and the system of administrative division, taking into account the experience of the Bryansk-Lgovskaya track distance of the Moscow Infrastructure Directorate, are analyzed.

Линейные участки включают в себя подразделения с бригадой по плановым и неотложным работам (ПДБ_п), в зависимости от класса железнодорожного пути на линиях с грузонапряженностью более 5 млн т·км брутто/км в год и интенсивностью движения более 8 пар поездов в сутки могут входить укрупненные бригады по плановым видам работ. В противном случае укрупненные бригады могут не создаваться, в состав линейного подразделения входят только ПДБ_п.

Как видно из структуры, в пределах ПД-3.1 основная доля эксплуатационных расходов приходится на содержание стрелочных переводов, в пределах ПД-3.2 – главных путей, а ПД-3.3 обслуживает как перегон, так и промежуточную станцию.

Кроме эксплуатационных участков в дистанции создан участок диагностики, в состав которого входят контролеры состояния пути, на которых возложена задача проведения осмотров и контроля за техническим состоянием пути и устройств.

Вывод. Анализируя возможности изменения системы административного деления дистанции пути с учетом опыта Брянск-Льговской дистанции пути, можно сделать вывод, что основными целями реформирования являются:

- рациональное распределение людских ресурсов за счет пересмотра численности линейных подразделений в зависимости от характеристики участка;
- введение должности контролера содержания пути позволит разделить функции контроля и содержания пути, уменьшив таким образом нагрузку на дорожного мастера (ПД);
- за счет распределения обязанностей и приобретения конкретных необходимых навыков улучшить систему контроля и повышения надежности работы железнодорожного пути.

Реализация подобных целей позволит оптимизировать работу путевого хозяйства в условиях существующих реалий, наиболее рационально подойти к расчету контингента рабочих и перераспределению нагрузки на руководителей среднего звена.

Список литературы

- 1 СТП БЧ 56.388-2022. Положение о системе ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 14.05.2022 № 370 НЗ. – Введ. 20.06.22. – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 30 с.
- 2 Об утверждении Концепции развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 2022–2030 гг. : утв. приказом от 28.12.2021 № 404 Н. – Минск : Белорусская железная дорога, 2021. – 16 с.
- 3 Положение об участковой системе текущего содержания пути : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 13.12.2013 г. № 2758р ЦЗ. – ОАО «РЖД», 2013. – 16 с.

УДК629.464.2

К. В. МАКСИМЧИК, магистр, В. Л. МОИСЕЕНКО, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СНЕГОУБОРОЧНЫЙ ПОЕЗД СМ-2. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПАРКА ТЕХНИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Рассмотрены конструкции снегоуборочных поездов, эксплуатируемых на Белорусской железной дороге. Проанализировано техническое состояние подобного типа подвижного состава в условиях длительной эксплуатации. Исследованы вопросы обслуживания технического состояния и определения остаточного ресурса вагонов снегоуборочной техники.

Введение. Республика Беларусь находится в зоне умеренного климата с выпадением осадков в виде снега, поэтому своевременная очистка пути от него имеет большое значение для нормального функционирования транспорта в зимний период. Снежные заносы нарушают график движения поездов, затрудняют перевозочный процесс, в особенности на станциях. Важной задачей является борьба со снежными заносами на железнодорожном транспорте. Для выполнения этих работ созданы три класса машин: путевые струги и службные снегоочистители, роторные снегоочистители, снегоуборочные машины.

Обзор конструкции снегоуборочного поезда. Снегоуборочные машины предназначены для очистки путей и станций от снега (мусора), его транспортировки и выгрузки. На Белорусской железной дороге наиболее часто применяют снегоуборочный поезд типа СМ-2 и его модификации. В его состав входят: головная машина (рисунок 1), промежуточные полувагоны (рисунок 2) и конечной полувагон (рисунок 3).

Основным рабочим органом на головной машине является ротор-питатель, который вращается двигателем переменного тока.

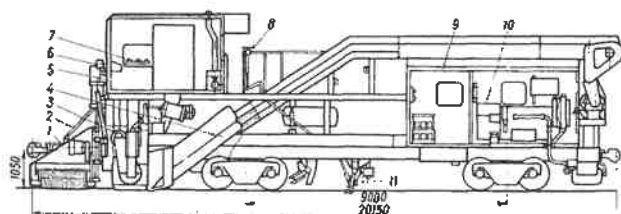


Рисунок 1 – Схема головной машины:

1 – крыло со щеткой; 2 – рама ходовая; 3 – питатель с механизмом подъема; 4 – конвейер; 5 – кабина управления; 6 – электрооборудование; 7 – пневматическое оборудование; 8 – ручной тормоз; 9 – кабина электростанций; 10 – электростанция; 11 – льдоскалывающее устройство

Питатель установлен на траверсе, что позволяет им вместе подниматься и опускаться, за питателем установлен нож, который очищает путь на 50 мм ниже уровня верха головки рельса (УВГР) при поднятом питателе. Забираемый снег подается на транспортер, который состоит из горизонтальной и наклонной частей. В транспортном положении носовая часть может подниматься на 400 мм. Для забора снега с междупутий в головной части машины располагают два крыла с рабочей шириной захвата 5,1 м. В средней части машины установлено льдоскалывающее устройство, которое необходимо для отколки или уплотнения снега на 80 мм ниже УВГР при общей ширине 4 м. Оно состоит из

средней и двух боковых частей. В транспортном положении среднюю часть поднимают, а боковые части убирают в габарит.

Для очистки междупутий машину оснащают двумя щетками, при этом машина делает два прохода: при первом снег попадает внутрь колеи, при втором – подбирается питателем. На новых машинах щетки устанавливают в нижней части боковых крыльев, что исключает необходимость второго прохода.

Электродвигатели питателя, транспортера, боковых щеток и рабочих органов промежуточных и конечного полувагонов питают от дизель-электростанции мощностью 200 кВт, которую устанавливают в машинном отделении.

Стрелочные переводы и горловины очищают щеточным барабаном-питателем при поднятом подрезном ноже. Станционные пути можно очищать щеточным барабаном при поднятом ноже или подрезным ножом при поднятом щеточном барабане. Поднятый щеточный барабан можно включать в работу, когда снег плохо поступает по подрезному ножу на погрузочный транспортер и его необходимо проталкивать [1, 2, 6].

Промежуточный полувагон (см. рисунок 2) состоит из рамы с кузовом, которые опираются на две двухосные тележки. Полон полувагона служит продольный транспортер-накопитель с металлической лентой, установленной наклонно, при помощи которого снег (мусор) транспортируют в следующий полувагон.

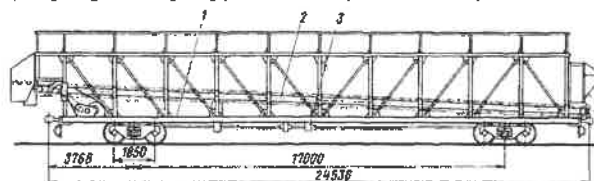


Рисунок 2 – Схема промежуточного полувагона:

1 – ходовая рама; 2 – конвейер; 3 – тормозное оборудование

Для предотвращения просыпания снега (мусора) при перемещении из одного полувагона в другой установлены шитки на петлях, по бокам и снизу – резиновый фартук. Продольный транспортер приводится в движение электродвигателем через редуктор [1, 2, 6].

Конечной полувагон (рисунок 3) состоит из рамы, кузова, транспортера-накопителя и разгрузочного устройства. Транспортер-накопитель по конструкции аналогичен продольному транспортеру промежуточного полувагона и также расположен наклонно. Транспортер-питатель принимает материал от транспортера-накопителя и передает его на разгрузочное устройство.

Разгрузочное устройство, как и транспортер-накопитель, выполнен резиноканевым и в движение его приводят электродвигателем, а поворачивают пневматическим цилиндром. Разгрузочное устройство выгружает материал в любую сторону от пути на расстояние до 12 м на стоянке или в движении поезда [1, 2, 6].

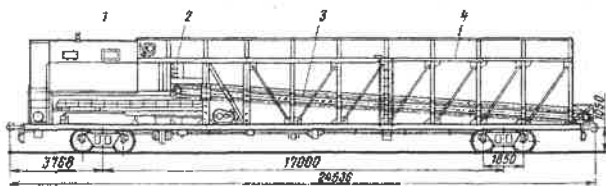


Рисунок 3 – Схема концевой полувагона:
1 – рама; 2 – разгрузочное устройство; 3 – накопитель;
4 – ходовая рама

Снегоуборочный поезд может убирать глубокий снег высотой до 900 мм и небольшой снег до 100 мм в порядке профилактической очистки станционных путей. Производительность машины достигает 1200 м³/ч [2].

Анализ состояния парка снегоуборочных поездов. В настоящее время основным поставщиком снегоуборочной техники в парки государственного объединения «Белорусская железная дорога» является ОАО «Трансмаш» (г. Энгельс) [3]. Следует отметить, что последнее поступление снегоуборочной техники типа СМ-2 было в 2005 году, а старые машины планомерно выводились из эксплуатации по истечении нормативного срока службы. Это привело к значительному сокращению парка вагонов для уборки снега и появлению проблемы поддержания их технического состояния в пределах, обеспечивающих безопасность движения поездов. Согласно [4] нормативный срок службы снегоуборочных поездов составляет 20 лет. По состоянию на 01.01.2022 на Белорусской железной дороге эксплуатируют 23 снегоуборочных поезда типа СМ-2 различных модификаций, при этом свой нормативный ресурс выработали 22 машины, что составляет 96 % (рисунок 4). В связи с этим в Беларуси сложилась неблагоприятная ситуация с обновлением парка снегоуборочной техники.

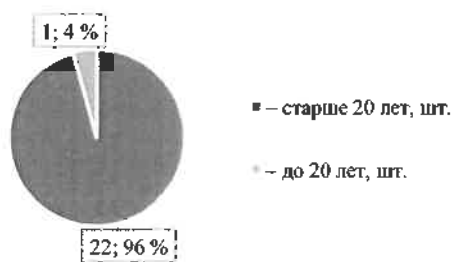


Рисунок 4 – Распределение машин по нормативному сроку службы

Так как повсеместное обновление всего парка снегоуборочных машин невозможно по экономическим соображениям, то решением проблемы может стать проведение мероприятий по продлению срока службы снегоуборочной техники на основе выполнения плановых ремонтов в соответствии с [5].

В том числе для этих целей, сотрудниками учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» разработано руководство по капитальному ремонту снегоуборочной машины СМ-2 и ее модификаций.

Обследование текущего состояния парка вагонов снегоуборочной техники с истекшим сроком службы. Перевозимый в вагонах снег при определенных условиях создает коррозионно-активную среду, которая вызывает повышенное коррозионное разрушение контактируемого металла. Основной причиной потери несущей способности кузова является коррозия, ведь водные растворы и увлажненные соли обладают повышенной коррозионной агрессивностью и вызывают интенсивную коррозию углеродистых сталей. Подобное воздействие на металлоконструкции упомянутых растворов в сочетании с высокими циклическими напряжениями ускоряют появление усталостных трещин в деталях и узлах вагонов снегоуборочной техники.

При капитальном ремонте производят полную разборку снегоуборочного поезда, а также его составных частей до состояния, когда есть возможность провести диагностику всех составных частей рам. Рамы очищают от грязи, ржавчины, отслоенной старой краски, а затем выполняют обследование, в ходе которого проводят следующие работы [6]:

- а) изучение технической документации на снегоуборочную технику;
- б) выявление характерных повреждений, степени коррозии несущих деталей и узлов в эксплуатации;
- в) толщинометрия и дефектоскопия элементов рамы.

В настоящее время при ремонте снегоуборочных поездов на ремонтных предприятиях Беларуси обнаружены следующие дефекты рам:

- а) незначительная коррозия несущих элементов;
- б) часть силового каркаса имеет прогиб более допускаемых размеров;
- в) механизмы имеют повреждения в местах крепления рабочего оборудования.

Вывод. В связи с тем, что 96 % снегоуборочных поездов типа СМ-2, эксплуатируемые на Белорусской железной дороге, выработали свой нормативный ресурс, тема продления их срока службы является актуальной. Для теоретического обоснования возможности продления срока службы можно провести комплекс исследований с целью оценки прочности и долговечности снегоуборочной техники.

Исследования планируется провести в три этапа. На первом этапе планируется выполнить расчеты с номинальными толщинами элементов кузова и рамы снегоуборочного поезда. По результатам расчетов выбрать наиболее опасные режимы нагружения. На втором этапе провести расчет конструкции при наиболее опасных режимах нагружения с учетом усиления рамы при производстве капитального или капитально-восстановительного ремонта. На третьем этапе выполнить исследование зависимости прочности элементов снегоуборочного поезда от степени их коррозионного износа при наиболее опасных режимах, установленных на первом этапе.

Список литературы

- 1 Путьевые машины : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / М. В. Попович [и др.] ; под ред. М. В. Поповича, В. М. Бугаенко. – М. : Желдориздат, 2007. – 750 с.
- 2 Теклин, В. Г. Путьевые струги, снегоочистители, уборочные машины : учеб. для проф.-техн. училищ. – М. : Транспорт, 1986. – 232 с.
- 3 Болтабаев, А. С. Оценка прочности вагонов-снегоочистителей при коррозионном утончении их базовых узлов /

А. С. Балтабаев, М. В. Зимакова, А. С. Сараев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб., 2011. – С. 34–39.

4 Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений М-ва экон. Респ. Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 30 сентября 2011 г. № 161 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&sp0=W21124359>. – Дата доступа : 20.10.2022.

Получено 31.10.2022

K. V. Maksimchyk, V. L. Moiseenko. Snow removal train SM-2. Assessment of the current state of the vehicle fleet in the Republic of Belarus.

The designs of snow-removing trains operated on the Belarusian railway are considered. The technical condition of this type of rolling stock under conditions of long-term operation is analyzed. Questions of examination of the technical condition and determination of the residual resource of snowplow cars have been investigated.

5 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.

6 Балтабаев, А. С. Модернизация и продление сроков службы специального подвижного состава для уборки снега : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.07 / А. С. Балтабаев. – СПб., 2012. – 125 с.

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ, ЛЕЖАЩЕЙ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ, ПРИ ВНЕЗАПНОМ ОБРАЗОВАНИИ ТРЕЩИНЫ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕЙСТВИЯ БЫСТРО ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ НАГРУЗОК

Построена математическая модель вынужденных изгибных колебаний балки Эйлера – Бернулли на упругом основании Винклера, инициированных внезапным образованием поперечной трещины. При этом балка нагружена равномерно распределённой нагрузкой единичной интенсивности и жёстко закреплена по концам. Динамические прогибы и изгибающий момент исследуются путем разложения внешней нагрузки и начальных статических прогибов и момента в ряды по формам собственных колебаний поврежденной балки. Приводятся численные оценки и сравнения напряженно-деформированных состояний балки при квазистатическом и внезапном образовании трещин разной глубины и локализации.

Введение. При строительстве и эксплуатации конструкций зданий и сооружений в них могут появляться недопустимые трещины в результате концентрации микротрещин с последующим их слиянием в макротрещины, образование которых зависит от уровня нагрузки, скорости нагружения, модулей упругости, начальных дефектов и других показателей. При этом начало разрушения зависит от величин главных напряжений и соотношения между ними, а кажущаяся видимость внезапного разрушения есть продолжительный процесс накопления всевозможных повреждений – дефектов, приводящих к техногенным катастрофам. Поэтому изучение процесса внезапного образования трещин вследствие быстро изменяющихся нагрузок является актуальным направлением исследования.

Для анализа деформаций и внутренних усилий использовался метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояний произвольных сечений балки. Определены частоты и формы собственных изгибных колебаний балки при различных сочетаниях параметров системы «балка – основание» с глубиной и локализацией трещины. Для этого использовалась математическая модель динамического процесса в нагруженной балке на основании Винклера, инициируемого внезапным образованием дефекта балки в виде открытой поперечной трещины [1]. Помимо этого, рассмотрены вынужденные колебания балки, статически нагруженной равномерно с распределенной нагрузкой заданной интенсивности q , опертой на упругое основание Винклера и жестко закрепленной по концам, с использованием результатов, полученных в работе [1].

Постановка задачи.

1 Вынужденные колебания балки с трещиной.

Физической моделью балки, опертой на упругое основание, испытывающей изгибные колебания после внезапного трещинообразования, принята конструкция из двух балочных сегментов, соединенных безмассовой пружиной кручения.

Поперечные перемещения сечений балки определяются решением уравнения вынужденных колебаний, описанных в работе [1]:

$$\frac{\partial w_{i, \text{дин}}}{\partial \xi^4} + 4\alpha^4 \left(w_{i, \text{дин}} + \frac{\partial w_{i, \text{дин}}}{\partial \tau^2} \right) = \bar{q}; \quad (1)$$

$$\xi_i = \frac{x_i}{L}; w_{i, \text{дин}} = \frac{v_i}{L}; \tau = \omega_0 t; \omega_0 = \sqrt{\frac{K}{\rho A}},$$

где x_i, ξ_i – осевая размерная и безразмерная координаты; $v_i, w_{i, \text{дин}}$ – размерный и безразмерный прогибы сечения ξ_i ; t, τ – размерное и безразмерное время; ρ – плотность материала балки; ω_0 – условная частота – параметр системы «балка – основание», имеющий размерность частоты.

Разделим переменные в уравнении (1) с помощью ряда

$$w_{\text{дин}} = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n(\tau) W_n(\xi), \quad (2)$$

где $W_n = W_n(\xi)$ – собственные функции балки, полученные сопряжением собственных функций сегментов $W_{ni}(\xi) (i = 1, 2)$ из уравнений [1].

2 Собственные изгибные колебания балки с открытой поперечной трещиной. Поскольку сегменты поврежденной балки, образующейся после внезапного образования трещины, отличаются только длиной: 1-й сегмент длиной $v = L_1 / L$, 2-й сегмент длиной $(1 - v)$, уравнение их собственных колебаний имеет вид

$$\frac{\partial^4 w_{i, \text{дин}}}{\partial \xi^4} + 4\alpha^4 \left(w_{i, \text{дин}} + \frac{\partial^4 w_{i, \text{дин}}}{\partial \tau^2} \right) = 0. \quad (3)$$

Решение уравнения (2) ищем, полагая колебания гармоническими и разделяя переменные представлением

$$w_{i, \text{дин}}(\xi, \tau) = W_i(\xi_i) \sin \bar{\omega} \tau, \quad (4)$$

где $\bar{\omega} = \frac{\tilde{\omega}}{\bar{\omega}_0}$ – искомая относительная частота, отнесенная к относительной условной частоте; $\tilde{\omega} = \frac{\omega}{\omega_0}$ –

искомая частота, отнесенная к эталонной частоте $\omega_0 = \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$; $\bar{\omega}_0 = \frac{\omega_0}{\omega_0}$ – условная частота, отнесенная к ω_0 .

Далее в качестве обобщенной жесткости системы «балка – основание» удобно использовать безразмерную условную частоту $\bar{\omega}_0$ вместо параметра α , которые связаны между собой соотношением

$$4\alpha^4 = \frac{\omega_0^2}{EI/L^4 \rho A} = \left(\frac{\omega_0}{\omega_3} \right)^2 = \bar{\omega}_0^2.$$

Подстановка представления (4) в уравнение (3) дает уравнение форм собственных колебаний сегментов

$$W_i^{IV} - (\bar{\omega}^2 - \bar{\omega}_0^2)W_i = 0. \quad (5)$$

Применяя к (5) подстановку Эйлера $W_i = Ae^{r\xi_i}$, получим характеристическое уравнение

$$r^4 - (\bar{\omega}^2 - \bar{\omega}_0^2) = 0, \quad (6)$$

его корни

$$r_{1,2} = \pm\beta_1; r_{3,4} = \pm i\beta_1; \beta_1 = \sqrt[4]{\bar{\omega}^2 - \bar{\omega}_0^2}$$

и функцию прогибов

$$W_i(\beta_1 \xi_i) = W_{0i}R_4(\beta_1 \xi_i) + W'_{0i}R_3(\beta_1 \xi_i) + W''_{0i}R_2(\beta_1 \xi_i) + W'''_{0i}R_1(\beta_1 \xi_i), \quad (7)$$

где $R_j = R_j(\beta_1 \xi_i)$ ($j = 1...4$) – функции Крылова вида

$$R_1(\beta_1 \xi_i) = \frac{\text{sh}\beta_1 \xi_i - \sin\beta_1 \xi_i}{2\beta_1^3}; R_2 = R'_1; R_3 = R'_2; R_4 = R'_3;$$

$$R'_4 = \beta_1^4 R_1;$$

$W_{0i}, W'_{0i}, W''_{0i}, W'''_{0i}$ – начальные параметры i -го сегмента ($W_{01} = W'_{01} = 0$).

Последовательно дифференцируя прогиб (7), получим остальные кинематические и силовые факторы: угол поворота сечения $W'_i(\beta_1 \xi_i)$, изгибающий момент $W''_i(\beta_1 \xi_i)$, и поперечную силу $W'''_i(\beta_1 \xi_i)$. Теперь состояние произвольного сечения ξ_i сегмента можно представить матричным уравнением

$$\bar{W}_i = V_1(\xi_i)\bar{W}_{0i}, \quad (8)$$

где $\bar{W}_i(\beta_1 \xi_i)$ – вектор состояния произвольного сечения ξ_i i -го сегмента;

$$\bar{W}_i(\beta_1 \xi_i) = \left\{ \bar{W}_i(\beta_1 \xi_i) W'_i(\beta_1 \xi_i) W''_i(\beta_1 \xi_i) W'''_i(\beta_1 \xi_i) \right\}^T;$$

\bar{W}_{0i} – вектор начальных параметров i -го сегмента,

$$\bar{W}_{0i} = \{W_{0i} W'_{0i} W''_{0i} W'''_{0i}\}^T;$$

$$V_1(\xi_i) = \begin{pmatrix} R_4(\beta_1 \xi_i) & R_3(\beta_1 \xi_i) & R_2(\beta_1 \xi_i) & R_1(\beta_1 \xi_i) \\ \beta_1^4 R_4(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) & R_3(\beta_1 \xi_i) & R_2(\beta_1 \xi_i) \\ \beta_1^4 R_2(\beta_1 \xi_i) & \beta_1^4 R_1(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) \\ \beta_1^4 R_3(\beta_1 \xi_i) & \beta_1^4 R_2(\beta_1 \xi_i) & \beta_1^4 R_1(\beta_1 \xi_i) & R_4(\beta_1 \xi_i) \end{pmatrix}.$$

функциональная матрица влияния начальных параметров i -го сегмента на состояние произвольного сечения ξ_i этого сегмента.

Численные результаты.

Результаты расчетов, приведенных ниже, относятся к системе «балка – основание» со следующими исходными данными.

1 Балка: материал – бетон, $E = 3,5 \cdot 10^{16} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$; длина

$L = 6,7$ м; поперечное сечение прямоугольное с шириной $B = 0,25$ м и высотой $h = 0,148$ м; площадь $A = 0,045 \text{ м}^2$; осевой момент инерции $I = 1,125 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4$; удлинение $\frac{L}{h} = 40$.

2 Основание: материал – гравий; коэффициент жесткости $\bar{K} = 7,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$; коэффициент постели $K = \bar{K} \cdot B = 1,875 \cdot 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

3 Нагрузка, перпендикулярная оси балки, равномерно распределенная, безразмерной единичной интенсивности.

4 Обобщенный параметр жесткости системы «балка – основание» $\alpha = 3,976$.

5 Трещина: глубина $\chi = \frac{a}{h}$ от 0,3 до 0,7; локализация

трещины $v = \frac{l_T}{L}$.

6 Относительно параметра v заметим, что диапазон изменения его ограничен требованием, чтобы оба сегмента балки с трещиной, соединённые пружиной кручения, удовлетворяли основным гипотезам и допущениям, которые приняты в строительной механике стержневых систем. В частности, отношение длин сегментов v и $1 - v$ к максимальному размеру поперечного сечения h , т. е. их удлинение, должно быть не меньше 10. Такому же требованию должно удовлетворять удлинение исходной (бездефектной) балки. Таким образом, длины сегментов должны удовлетворять системе первенств.

При соотношении $\frac{h}{L} = k = \frac{1}{40} \rightarrow 0,025 < v < 0,75$, то

есть в данной постановке задачи, приняв $\frac{L}{h} = 40$,

допустимо рассматривать образование трещин в сечениях, удаленных от концов балки на расстояниях не менее четверти её длины, либо в сечениях, расположенных в заделках, когда рассматривается, по существу, один сегмент, соединённый с одной опорой пружиной кручения (упругая заделка).

При расчете прогибов, изгибающих моментов и напряжений рассматривали два варианта расположения трещины: в среднем сечении балки $v = 0,5$ и в сечении в заделке $v = 1$. Для случая $v = 0,5$ рассчитывались максимальные моменты и напряжения в двух сечениях: в середине балки $\xi = 0,5$ и в заделке ($\xi = 0$ или $\xi = 1$). Для случая $v = 1$ такие же расчеты проводились для трех сечений: в неповрежденном сечении $\xi = 0$, в середине балки и в поврежденном сечении $\xi = 1$.

Расчеты приводятся в безразмерных значениях максимальных изгибающих моментов и растягивающих

напряжений при квазистатическом и внезапном образовании трещин различной глубины χ в среднем сечении балки $\nu = 0,5$. Полученные результаты показали, что при квазистатическом образовании трещины в середине балки и небольших глубинах трещины ($\chi < 0,5$) опасными являются сечения в заделках, в неповрежденной балке с наибольшими напряжениями $\sigma \approx 47...48$, при более глубоких трещинах $\chi \geq 0,5$ опасным становится среднее сечение $\xi = 0,5$ с наибольшими напряжениями $\sigma_{\text{наиб}} > 50$. При внезапном образовании трещины в сечении $\xi = 0,5$ оно становится опасным уже при глубинах трещины $\chi > 0,3$, когда напряжение становится > 50 .

Для приведения числовых значений максимальных моментов и напряжений к размерному виду их следует умножать соответственно на $\frac{EI}{L} \cdot \text{м}$ и $E \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

Далее определяем отношения наибольших напряжений в сечениях балки, получаемых при образовании трещин различной глубины в середине балки, к наибольшему напряжению (41,75) в неповрежденной балке.

Определено, что наибольшее (более чем трехкратное (3,53)) приращение получает среднее сечение балки при внезапном образовании трещины $\chi = 0,7$ в этом же сечении. При квазистатическом образовании такой же трещины напряжение увеличивается в 2,93 раза.

В последующем определены показатели, характеризующие влияние внезапности образования трещин различной глубины на величину напряжения. В качестве критерия принято отношение напряжений, развивающихся после внезапного и квазистатического образования трещины.

Наибольший эффект внезапности образования трещины (1,92) получился для трещины глубиной $0,5h$.

Далее провели расчеты напряжений в балке при образовании трещины в сечении правой заделки $\nu = 1$.

В данном случае опасным сечением во всех обстоятельствах является сечение с трещиной $\xi = 1$. Показано, что напряжение может превышать наибольшее статическое напряжение в этом сечении (41,75) в 5 раз при квазистатическом и в 7 раз при внезапном образовании трещины до глубины $0,7h$.

Сравнительный анализ двух вариантов локализации трещины показывает, что более опасным для несущей способности балки на упругом основании с жестко заделанными концами при равномерном распределении внешней нагрузки является случай образования трещины в одной из заделок.

Вывод. В работе завершено построение математической модели динамики конструктивно нелинейной системы взаимодействующих балки и упругого основания Винклера, описанное в работе [1].

Разработан аналитический метод расчета вынужденных колебаний в системе «балка – основание», инициируемых внезапным образованием открытой поперечной трещины.

Вынужденные колебания исследуются путем разложения внешней нагрузки и статического прогиба неповрежденной балки в ряды по формам собственных колебаний балки с дефектом.

Сравнением напряженных состояний сечений балки в ходе вынужденных колебаний с состоянием при квазистатическом образовании тех же трещин, а также с состоянием неповрежденной балки, показано перераспределение и многократное превышение значений максимальных напряжений в балке, обусловленные фактором внезапности образования трещины.

Список литературы

- 1 Поддубный, А. А. Динамика конструктивно нелинейной системы «балка – основание» при внезапном образовании трещин / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 1(44). – С. 84–97.

Получено 31.10.2022

A. A. Poddubny. Forced vibrations of a reinforced concrete beam sitting on an elastic foundation in the case of a sudden formation of a crack due to the action of rapidly changing loads.

A mathematical model of forced bending vibrations of an Euler-Bernoulli beam on an elastic Winkler foundation, initiated by the sudden formation of a transverse crack, is constructed. The beam is loaded with a uniformly distributed load of unit intensity and is rigidly clamped at the ends. Dynamic deflection and bending moment are investigated by expanding the external load and the initial static deflection and moment into rows according to the eigenmodes of the damaged beam. Numerical estimates and comparisons of the stress-strain states of the beam under quasi-static and sudden formation of cracks of different depths and localizations are given.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 629.4.027

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, Р. И. ЧЕРНИН, кандидат технических наук, П. А. ДАШУК, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. В. АВХАЧЕВ, Белорусская железная дорога, г. Могилев

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ТРАНСКОЛЕЙНОМУ ДВИЖЕНИЮ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЗА СЧЁТ ИЗМЕНЕНИЯ МЕЖКОЛЕЙНОГО РАССТОЯНИЯ ЕГО ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ

В статье приведен обзор конструкций и описан принцип действия раздвижных колёсных пар, разработанных и используемых в мировой практике, а также информация о разработках и испытаниях перспективных вариантов конструкций. Приведены данные о результатах эксплуатации некоторых конструкций.

Историческое развитие железнодорожного транспорта происходило локально в каждой стране с учётом лишь национальных интересов, поэтому в результате ширины колеи, используемые на железных дорогах мира, варьируются от 600 до 1676 мм.

На сегодняшний день на Европейском континенте можно выделить три основные ширины: 1668 мм (Испания и Португалия), 1520 мм (страны СНГ, Балтии и Финляндия), 1435 мм (страны Западной Европы).

В результате развития международных экономических связей железнодорожный транспорт перестал решать лишь локальные задачи каждой страны в отдельности, а с вовлечением в перевозки других стран вышел на новый уровень. Технологии перехода вагонов с одной ширины колеи на другую начали разрабатываться уже в конце XIX – начале XX в.

Процесс смены ширины колеи можно разделить на три вида: перегрузки-пересадки грузов и пассажиров, перестановки тележек или колёсных пар в тележках, а также изменение ширины колеи колёсных пар.

Перегрузка является самым старым из используемых способов трансколейного перемещения грузов и пассажиров. Так, на пограничных станциях между царской Россией (затем СССР) и Европой происходила перегрузка грузов и пересадка пассажиров, что увеличивало время пребывания составов в пути и требовало дополнительных материальных затрат. Следует отметить, что практически все перегрузочные работы являются трудоёмкими, а для некоторых видов грузов (например, опасных) они нежелательны либо принципиально невозможны. Более прогрессивным способом перехода стыков является перегрузка укрупнённых грузовых единиц – контейнеров, контрейлеров и т. п. Но в целом перевалка грузов остается менее продуктивной технологией по сравнению с перестановкой вагонов на тележки под другую колею.

В связи с этим на пограничных стыках колеи широкое распространение получила технология перестановки на специализированных пунктах перестановки тележек в грузовых и пассажирских вагонах (страны Европы – страны СНГ, Балтии, Китай) или смены отдельных колёсных пар (испанская фирма TAFESA более сорока лет использует технологию для перехода грузовых вагонов с колеи 1668 мм на колею 1435 мм и обратно. Станция смены колёсных пар размещается на франко-испанском пограничном переходе Хендай – Ирун и обслуживает как двухосные вагоны, так и вагоны на

тележках), но данная технология и ее разновидности также являются ресурсозатратными.

Наиболее эффективным способом преодоления железнодорожным подвижным составом системных стыков рельсовой колеи является применение раздвижных колёсных пар (РКП).

Разработки РКП имеют более чем столетнюю историю (первые патенты по указанной тематике появились уже в конце XIX в.). В то время их внедрение ограничивалось сложностью, недостаточной надежностью конструкций и технологий, а также необходимостью дополнительных затрат на обслуживание.

Практическое применение РКП началось в 1969 г., когда из Барселоны в Женеву прибыл первый пассажирский поезд Talgo RD (rueda desplazable – «колесо, которое переставляется»).

Еще в 1968 г. Международный союз железных дорог (МСЖД) организовал конкурс на лучшую конструкцию тележек, которые можно было бы применять на линиях разной колеи. Из 43 предложенных проектов отобрали два: швейцарской компании Vevey и испанской OGI. Однако до настоящего времени ни один из этих проектов так и не воплощен в жизнь.

С 1974 г. поезда фирмы Talgo, состоящие из спальных вагонов, стали курсировать между Барселоной и Парижем. В 1984 г. они появились и на линии Мадрид – Париж. В настоящее время такие поезда курсируют по скоростным линиям (скорость движения – 160 км/ч), связывающим Мадрид и Барселону как с городами за пределами Испании (Парижем, Цюрихом и Миланом), так и внутри страны (Малагой, Севильей, Кадисом и Уэльвой).

В Испании высокоскоростная линия AVE имеет колею шириной 1435 мм. Чтобы поезда, прибывшие в Мадрид по стандартной для этой страны колее шириной 1668 мм, могли следовать далее по линии AVE со скоростью 300 км/ч, на станции Мадрид – Аточа их пропускают через стационарную переводную установку (локомотив при этом остается на прежней колее). В среднем в обоих направлениях ежедневно переводится на другую колею около 400 колёсных пар.

Система Talgo работает по принципу принудительного поперечного смещения отдельных колёсных блоков, происходящее при движении вагона. Каждый из блоков состоит из колеса с тормозными дисками, короткой оси и конических роликовых подшипников. Единая ось в дан-

ной конструкции отсутствует, т. е. колесной пары, в традиционном понимании этого термина, нет.

Перемещение колес происходит в разгруженном состоянии. При снятии нагрузки с колес они перестают контактировать с рельсами широкой колеи. Это происходит за счет того, что находящиеся с внешней стороны наружных подшипников опоры скольжения надвигаются на поддерживающие рельсы стационарной установки (высота которых плавно увеличивается) и перемещаются по ним с использованием воды в качестве смазки. При этом Т-образные направляющие стационарной установки заходят в соответствующие пазы блокирующих устройств колесных узлов и вытягивают замки крепления подшипников. Колеса с подшипниками высвобождаются. Направляющие рельсы стационарной установки сходятся, воздействуя на наружные грани ободов колес, и сдвигают их в поперечном направлении к оси в положение, соответствующее ширине новой колеи. Т-образные направляющие вновь заходят в пазы блокирующих устройств, возвращая на место замки крепления подшипников, и колеса фиксируются в новом положении. Высота поддерживающих рельсов плавно уменьшается. Скользящие упоры сходят с них, и колеса, находящиеся в положении, соответствующем колее 1435 мм, опускаются на рельсы колеи 1668 мм. Процесс происходит подобным образом и в обратном направлении [1].

Аналогичную систему автоматического перехода с колеи 1668 мм на колею 1435 мм и обратно фирма Talgo разработала и для грузовых вагонов. Конструкция колесной пары с раздвижными колесами для установки на тележки типа Y21 широко применяется на грузовых вагонах Испании. Эти тележки аналогичны тележкам типа Y25, которые являются стандартными для грузовых вагонов колеи 1435 мм.

Общий вид такой колесной пары показан на рисунке 1.

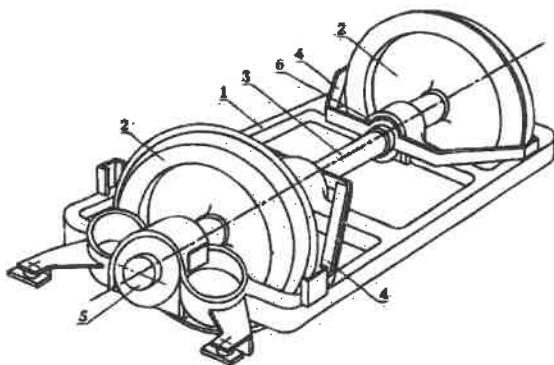


Рисунок 1 – Грузовая колёсная пара системы Talgo

Она представляет собой так называемую осевую группу, которая состоит из рамы 1, объединяющей два колесных блока 2. Каждый блок состоит из колеса, насаженного на свою полуось с буксовыми узлами 5 на концах. Колесные блоки соединены специальным устройством 3, которое обеспечивает совместное вращение колес. Осевая группа также снабжена механизмом перемещения тормозных башмаков 4 и системой электрических соединений. Во внешней крышке внутренней буксы установлено устройство контроля температуры подшипников 6. Исполненные таким образом колесные пары устанавливаются на раму тележки по традиционной схеме. Главной особенностью этой колесной пары является конструкция оси, которая обеспечивает вращение колес с одинаковой угловой скоростью, но не воспринимает вертикальных нагру-

зок. Эта ось имеет телескопическую конструкцию, т. е. состоит из двух трубообразных частей, которые могут смещаться друг относительно друга в аксиальном направлении с фиксацией в одном из двух положений, но вращаются они синхронно. Кроме того, тележка с РКП оборудована устройством автоматического перемещения тормозных колодок. На перспективу предусмотрена возможность замены колодочного тормоза дисковым.

В процессе перехода подвижного состава, оборудованного колесными парами Talgo, через переводное устройство их колеса разгружаются от действия вертикальных сил. Эти силы воспринимают опоры скольжения, которые опираются на поддерживающие рельсы и перемещаются по ним с использованием воды как смазки. Поэтому при использовании РКП системы Talgo в условиях низких температур приходится реализовывать дополнительные мероприятия во избежание замерзания воды на стационарном колеепереводном устройстве.

К преимуществам ходовых частей грузовых вагонов с РКП системы Talgo можно отнести контролируемость температуры внутренних подшипниковых узлов. Однако конструкция тележки слишком сложна, что может привести к снижению показателей эксплуатационной надежности. Кроме того, увеличение массы неподдрессоренных частей может неблагоприятно отражаться на динамическом взаимодействии колесных пар и верхнего строения пути, а также на безопасности движения.

Принцип работы новой системы аналогичен той, которая длительное время применяется в пассажирских поездах Talgo RD. Перестройка колесных групп для движения по железной дороге с другой шириной колеи осуществляется при прохождении вагонами стационарных переводных устройств, установленных на стыковых пунктах железных дорог с разной шириной колеи. Одновременно с изменением межколесного расстояния в автоматическом режиме осуществляется перемещение тормозных башмаков с колодками. Скорость движения вагонов через переводные устройства составляет 15 км/ч [2].

В 1970-х годах болгарским инженером Николой Гайдаровым была предложена оригинальная конструкция РПК [3] (рисунок 2).

Каждое колесо 1 такой РПК устанавливалось на подшипники качения 2, закрепленные на подвижной гильзе 3. Последняя вместе с колесами была попарно установлена на общей неподвижной пустотелой оси 4. Гильзы и колеса фиксировались от сдвига относительно оси зубчатым механизмом 5, который был нагружен рамой тележки 6. Колеса РПК данной конструкции вращались относительно неподвижной оси независимо одно от другого.

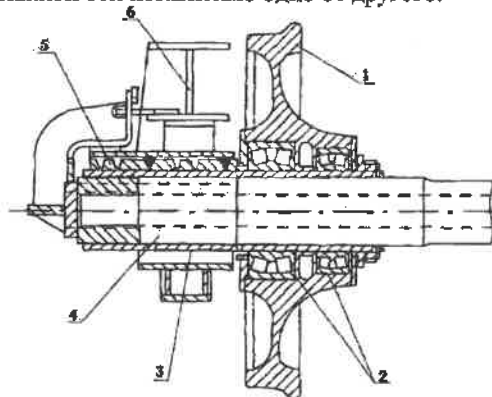


Рисунок 2 – Колёсная пара конструкции Н. Гайдарова

Конец гильзы 3 заходил (без подшипников) в буксу, предназначенную для размещения механизма фиксации положения колеса на оси. Внутри нее (на потолке) были расположены призматические замки-ребра, которые входили в пазы фиксаторов, составляющих единое целое с гильзой. Как и в серийной тележке Y21 (Y25), пружины опирались на два крыла буксы, в ее нижней части была создана плоскость, которой букса опиралась на специальные рольганги при проходе через переводное устройство. Таким образом, вертикальная нагрузка от вагона воспринималась нижней частью корпуса буксы, а колеса полностью обезоруживались. При этом колесные пары постепенно опускались, т. к. ходовые рельсы были уложены с наклоном вниз.

Выходя из углублений гильз, призматические ребра прекращали фиксацию колес на оси. Колеса, попавшие в направляющие желоба переводного устройства, принудительно сдвигались в положение, соответствующее необходимой ширине колеи. На выходе из переводного устройства ходовые рельсы располагались так, что колесные пары вместе с гильзами поднимались, а призматические замки вновь входили в углубления фиксаторов, но уже в те, которые соответствовали новому значению ширины колеи. В свою очередь буксы поднимались с рольгангов, и колесные пары вновь воспринимали вертикальную нагрузку. На этом процесс перехода с одной ширины колеи на другую завершался. Максимальная скорость движения вагонов на участке с переводным устройством составляла 30 км/ч.

После проведения некоторых конструктивных изменений колесных пар системы Н. Гайдарова ими оборудовали стандартные тележки типа Y25 (тип Y25 Lsd-2M). Последние прошли несколько этапов комплексных испытаний, которые включали в себя как поездные на экспериментальном кольце ВНИИЖТ, так и испытания на магистральных линиях.

Для проверки возможности применения РКП болгарского производства в 1994 г. Львовской железной дорогой было приобретено 10 тележек типа Y25 Lsd-2M. Этими тележками оборудовали пятивагонную рефрижераторную секцию и подвергли её динамическим и ходовым испытаниям.

В результате проведения испытаний был выявлен ряд недостатков указанных тележек, из-за которых они не были допущены к эксплуатации на железных дорогах Украины. Основная причина подобного заключения состояла в непригодности конструкции тележек колеи 1435 мм к работе на железных дорогах колеи 1520 мм, т. к. на железных дорогах Украины и стран СНГ действуют нормативы содержания колеи, не допускающие воздействие на подвижной состав динамических возмущений, уровень которых может достигать 70 % от статических нагрузок. Тележки же типа Y25 рассчитаны на динамические добавки сил в рессорном подвешивании до 30 % от статических. Из-за этого во время движения вагонов на тележках типа Y25 по железным дорогам колеи 1520 мм возможно замыкание витков пружин подвешивания, что может стать причиной появления недопустимых динамических усилий и ускорений, которые могут привести к нарушениям условий безопасности движения.

Следует отметить, что наблюдения за болгарскими РКП во время динамических испытаний не выявили каких-либо дефектов в их работе. Работоспособность

механизма автоматического изменения положения колес относительно ширины колеи проверялась на переводном устройстве, расположенном на ст. Батеве Львовской ж. д. Пропуск испытательной рефрижераторной секции через переводной стенд показал, что все узлы колесных пар работали без замечаний к их надежности и работоспособности.

После объединения ГДР и ФРГ железные дороги страны активно включились в работу по созданию РКП для грузовых вагонов. Она проходила в научно-исследовательском центре Германии в г. Деличе, где ее продолжили с того уровня, на котором закончили исследователи ГДР и СССР. Усилия немецких специалистов были направлены на устранение (или сведение к минимуму) фреттинг-коррозии на посадочных поверхностях ступицы колеса и различных сопрягаемых поверхностях, а также на необходимость обеспечения постоянства расстояний между внутренними поверхностями ободов колес.

Разработанная немецкими специалистами колесная пара (рисунок 3) имеет два связанных с осью при помощи системы замыкания колеса, которые передвигаются по ней. При прохождении через специальное переводное устройство прежде всего открывается колесный замыкатель и только после этого происходит перемещение колес с колеи 1435 мм на колею 1520 мм, и наоборот. Затем колеса фиксируются в позиции новой ширины колеи с помощью замыкающего устройства [4].

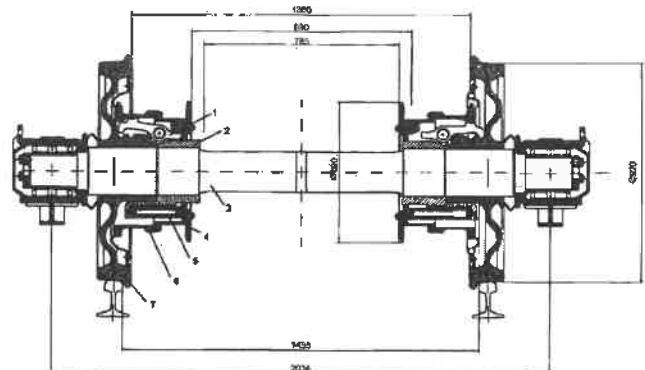


Рисунок 3 – Раздвижная колесная пара системы DB AG/Rafil Type V:

1 – механизм блокирования; 2 – пружинистая втулка; 3 – ось;
4 – размыкающий диск; 5 – пружина сжатия; 6 – фланец механизма блокирования; 7 – колесо

К наиболее отработанным системам автоматического перехода вагонов с одной ширины колеи на другую относится система SUW 2000 [5]. Эта конструкция принципиально не отличается от немецкой и, что не менее важно, для перехода с одной колеи на другую используется переводное устройство, разработанное в Германии.

Проектные работы по конструкции этой системы начались в 1990 г. и завершились в 1993 г. После одобрения технического решения началось ее внедрение, а после отработки конструкции (в 2000 г.) началась ее коммерческая эксплуатация в грузовом и пассажирском сообщениях.

Основные элементы РКП системы SUW 2000 схематично показаны на рисунке 4. Она состоит из оси 1, колес 2 на скользящей посадке и механизма блокирования 3. Буксовый узел 4 имеет типовую конструкцию. Соединение колеса с осью защищено наружным 5 и внутренним 6 кожухами.

РПК главным образом предусматривает применение дисковых тормозов. Поэтому на средней части оси колесных пар размещаются тормозные диски. Такое решение тормозной системы значительно упрощает систему перехода вагонов с одной колеи на другую. Для случаев, когда используются колодочные тормоза, разработаны трианглы со сменным размещением колодок.

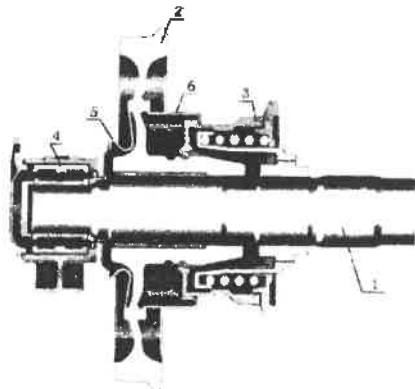


Рисунок 4 – Раздвижная колесная пара системы SUW 2000

Предприятие ZNTK Poznan S. A. оборудовало колесными парами SUW 2000 партию вагонных тележек, предназначенных для международного сообщения.

Из-за оборудования тележки РПК (масса одной колесной пары составляет 2,1 т) ее общая масса составляет примерно 6,1 т.

Используемое переводное устройство состоит из двух рабочих рельсов желобчатого сечения, двух разблокирующих рельсов, которые взаимодействуют с механизмом блокирования колесных пар, внутренних и внешних защитных рельсов, которые размещаются по обе стороны рабочих рельсов. Из-за несимметричности конструкции переводного устройства в новое положение сначала перемещается одно колесо колесной пары, а затем другое. Общая длина переводного устройства составляет 27,1 м, а рабочая скорость перехода вагонов через него – 30 км/ч.

Процесс перестройки колесных пар системы SUW 2000: 1) заблокированные колеса накатываются гребнями на желобчатые рельсы; 2) в контакт с разблокирующим рельсом вступает фланец механизма блокирования левого колеса, при этом происходит разблокирование левого колеса, а правое колесо, оставаясь заблокированным, направляет колесную пару; 3) освобожденное левое колесо желобчатым рельсом выводится в положение, которое соответствует колее 1520 мм, т. е. перемещается на половину разницы ширины колеи. Далее происходит изменение положения для правого колеса.

Так как механизмы взаимодействия с рельсовой структурой на участке перехода у SUW 2000 и DB AG/Rafil подобны, то это же переводное устройство можно использовать для пропуска РПК обоих разработчиков.

После продолжительных эксплуатационных испытаний в составе тележек пассажирских и грузовых вагонов они были демонтированы. Осмотр и технические измерения показали, что элементы механизмов блокирования практически не имели износа. По результатам комплексных испытаний РПК данной системы допущены к эксплуатации на сети польских железных дорог.

Применяемая традиционная технология перестановки тележек занимает минимум 120–150 мин на поезд, а при использовании системы SUW 2000 время проезда

одного вагона через пункт автоматического изменения ширины колеи составляет около 30 с.

Швейцарская компания PROSE успешно испытала тележку изменяемой колеи и соответствующую установку, разработанную для возможности безостановочного перехода между железными дорогами Mountreux-Oberland Bahn (MOB) (ширина колеи 1000 мм) и BLS нормальной колеи (1435 мм). Наряду с изменением ширины колеи тележек система также позволяет менять высоту пола вагона в пределах 180 мм для адаптации к платформам разной высоты [6].

На японских железных дорогах широко используются две разные колеи: колея 1067 мм, используемая на обычных линиях jr (Japan Railways) и некоторое число других частных железных дорог. Поэтому пассажиры испытывают неудобство, когда им приходится переходить со стандартной колеи Синкансен (строилась с «европейской» ширины колеи 1435 мм) на обычные узкоколейные линии при пересадке.

С 1994 года разрабатывается система с переменной шириной колеи для сквозного движения между секциями Синкансен стандартной и узкой колеи. С 2001 по 2003 год проводились испытания на скорости до 200 км/ч.

Разработаны 2 типа тележек. Одна из них представляет собой моторную тележку с механизмами управления типа А, а вторая – тип В с параллельным карданным валом.

Тележка состоит из четырех независимых колес с двигателями прямого привода для движения, для которых был принят синхронный двигатель с постоянными магнитами с вращением по внутреннему кольцу. В колесную пару вставлена ось, состоящая из тяговых двигателей и скользящих цилиндров для операции смены ширины колеи. Ось тележки А не вращается. Тележка имеет функцию рулевого управления. Существует два типа рулевого устройства. Одним из них является шатунный тип. Угол пересечения кузова и тележки обеспечивает управляемость колесных пар за счет соединения тяг между кузовом и тележкой. Второй тип – рулевая траверса. Угол пересечения рулевой балки на раме тележки и тележки обеспечивает управление колесными парами посредством тяги.

Тележка типа В представляет собой обычную тележку с карданным приводом без надрессорной балки. Крутящий момент тягового двигателя передается на колесные пары посредством ведущего редуктора и оси с роликовыми шлицами. Тяговые двигатели представляют собой обычные асинхронные двигатели.

Процесс изменения ширины колеи приведен на рисунке 5.

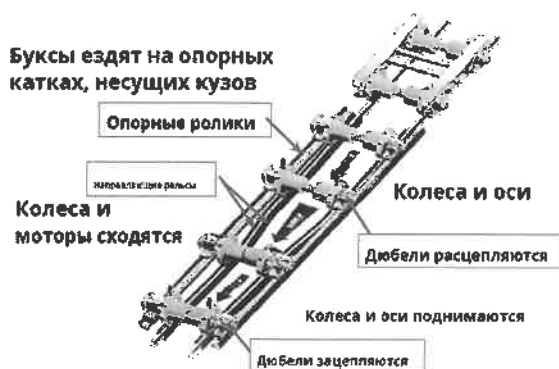
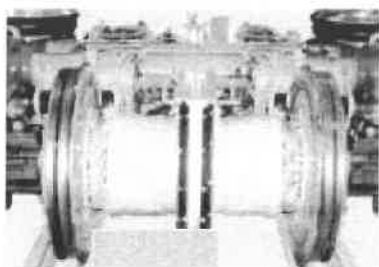


Рисунок 5 – Процесс изменения ширины колеи

Колёсные пары до изменения ширины колеи и после приведены на рисунке 6 [7].

а)



б)

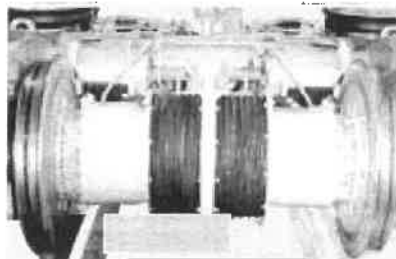


Рисунок 6 – Положения РПК:
а – узкая колея; б – широкая колея

Первый обмен опытом между специалистами Западной и Восточной Европы по созданию специальных тележек с РПК для перевозок в межгосударственном сообщении состоялся в 1956 г. на встрече в Берлине. Железные дороги СССР и ГДР в конце 1950-х – начале 1960-х гг. начали работать над созданием РПК. В Советском Союзе в 1957 г. были разработаны, построены и испытаны опытные образцы РПК, конструкция которых предусматривала процесс перехода с одной колеи на другую через переводное устройство под нагрузкой от вагона (порожного или груженого).

Особенность советско-германской конструкции заключается в том, что колеса вращаются вместе с осью, удерживаясь от проворота специальной шпонкой. Перемещение на оси происходит под действием сил, получаемых со стороны направляющего рельса через диск. Освобождение колес от закрепления на оси происходит путем разжатия буферов отжимными (направляющими) рельсами. Перевод тормозных башмаков осуществляется специальной кулисой.

Переводное устройство представляло собой несложную конструкцию. Колесная пара работала в трехэлементных тележках грузовых вагонов ЦНИИ-ХЗ. Испытания раздвижных колесных пар проводились как под грузовыми, так и под пассажирскими вагонами.

К концу 1960-х гг. все работы в СССР по созданию надежной и работоспособной конструкции раздвижной колесной пары (РПК) для ускоренного перехода грузовых и пассажирских вагонов с колеи 1520 мм на колею 1435 мм (и обратно) в силу различных причин были остановлены.

Позже работы в указанном направлении были продолжены на Брянском машиностроительном заводе, где были изготовлены опытные образцы РПК типа ТГ-14 (рисунок 7). Эти колесные пары прошли цикл заводских и эксплуатационных испытаний, по результатам которых был выявлен ряд недостатков. Основным таким недостатком являлась ненадежная работа предохранительного

устройства (замка), предназначенного для исключения случаев самопроизвольного переvedения колес.

Передвижение колёс из одного положения в другое происходит автоматически при движении вагона по специальному переводному стенду, соединённому одним концом с колеёй 1520 мм, а вторым – с колеёй 1435 мм. Раздвижная колёсная пара состоит из оси 2, вдоль которой могут перемещаться колёса 1 при переходе вагона с колеи одной ширины на колею другой ширины.

Для обеспечения скольжения между ступицей колеса 1 и подступичной частью оси 2 установлена капроновая втулка 3. На наружной поверхности ступицы имеются две кольцевые выточки для закрепления колеса на оси посредством секторов 9. В одну выточку секторы входят тогда, когда колесо находится в колее 1520 мм, а во вторую – в колее 1435 мм. Такое положение секторов фиксируется барабаном 5, укрепленным на оси посредством горячей посадки. Для предупреждения самопроизвольного выхода секторов из кольцевых выточек ступицы предусмотрено замковое кольцо 4, прикреплённое болтами к буферу 6. Внутри буфера расположены пружины 8, опирающиеся на крышку 7 и отжимающие буфер и замковое кольцо к середине оси. Повороту колеса на оси препятствует зубчатое зацепление барабана и ступицы колеса.

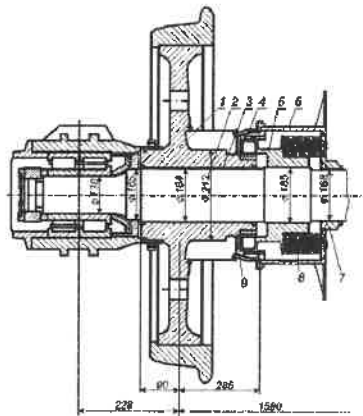


Рисунок 7 – РПК типа ТГ-14

Раздвижная колёсная пара приводится в действие следующим образом. При прохождении вагона по переводному стенду специальным упором отжимается буфер 6, в результате чего замковые кольца 4 перемещаются в сторону колёс и перестают удерживать секторы 9 в выточках ступицы. Затем упор стенда, нажимая на колёса 1, передвигает их вдоль оси 2 в необходимое положение. В начале этого передвижения колёса выжимают сектор 9 из кольцевых выточек, в конце передвижения колёс секторы оказываются напротив вторых выточек. Одновременно они освобождаются от нажатия буфера 6 и под действием пружин 8 возвращаются вместе с замковыми кольцами 4 в исходное положение. При этом кольца 4 нажимают на сектор 9, в результате чего сектор входит во вторые выточки, закрепляя колеса в изменённом положении.

Позднее, в 1975 г., на Уралвагонзаводе с применением тангенциально-осевого замка, предложенного БелИИЖТом, этими колесными парами были оборудованы две тележки модели 18-100. Одновременно была разработана и изготовлена рычажная тормозная передача для тележек с РПК и колесо-переводное устройство.

Были разработаны два варианта колесных пар аналогичной конструкции, но с разными способами смазки

деталей замкового устройства и посадочных поверхностей колес и оси – жидкой или твердой смазкой. Несмотря на то, что использование твердой смазки значительно упрощало конструкцию колесной пары, по некоторым причинам от этого варианта пришлось отказаться.

На рисунке 8 показана схема конструкции РКП с жидкой смазкой. Эта колесная пара состоит из пустотелой оси 1 с закрепленными на ней шлицевыми втулками 2, фиксирующего устройства 3 с замковой муфтой 4, колес 5, которые свободно насажены на ось и жестко соединены со шлицевыми втулками 6. На шлицевых втулках 2 установлены упорные кольца 7 и замковые кольца 8. Каждое фиксирующее устройство 3 имеет шесть подпружиненных фиксаторов 9, которые размещены на равных расстояниях по кругу, и отжимной диск 10, выполненный как одно целое с корпусом фиксатора.

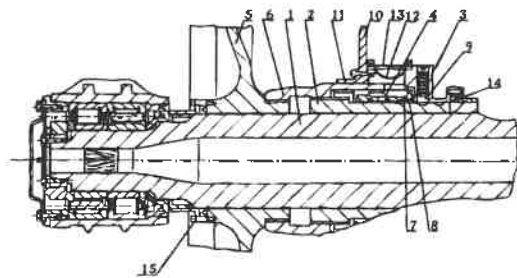


Рисунок 8 – Схема конструкции РКП с жидкой смазкой

Все элементы колесной пары, которые взаимодействуют посредством трения, омываются жидкой смазкой (автотракторным маслом), которая обеспечивает антикоррозийную защиту и создает надежные масляные клины между контактирующими поверхностями шлицевого соединения, а также между колесом и осью. Масло заливается в полость, которая образуется между корпусом фиксатора, шлицевой втулкой 6, компенсатором 12, колесом и осью. Компенсатор 12 защищен от механических повреждений кожухом 13. Заправка маслом осуществляется при установке колес на колею 1435 мм. Для исключения возможности его вытекания на торцах корпуса фиксатора и отжимного диска, а также с наружной стороны ступицы колеса устанавливаются манжетные уплотнения 14 и 15.

Конструкция тангенциально-осевого замка в то время была нововведением. В ней было применено эвольвентное шлицевое соединение силовых деталей с большой площадью контакта, способной выдерживать значительные динамические нагрузки. Термообработанные контактирующие поверхности и наличие масла должны были обеспечить продолжительный срок службы РКП. Кинематическая схема замка представляла собой косозубое шлицевое соединение с одной степенью свободы. Для блокирования подвижности использовалась замковая муфта.

При прохождении РКП через переводной участок колеи каждый отжимной диск во взаимодействии с направляющими отводится ими в направлении средней части оси, вытягивая из зацепления замковую муфту 4 до упора ее шлицевых зубьев в кольцо 7. В это время подвижная шлицевая втулка 6 получает возможность

перемещения по косым шлицам неподвижной втулки. При этом колеса отводятся направляющими рельсами переводного устройства и устанавливаются на требуемую ширину колеи. После перевода колес замковые муфты перемещаются в обратном направлении и замыкают шлицевые втулки 6 и 2, благодаря чему обеспечивается прочное соединение колес с осью. Подпружиненные фиксаторы 9 западают в проточки неподвижной втулки и исключают возможность самопроизвольного открывания замка.

Переводное устройство состояло из двух силовых рельсов и двух контррельсов, уложенных с зазором между ними. Зазор был равен ширине гребня колеса. Рельсы крепились к шпалам таким образом, чтобы образовалась монолитная жесткая конструкция. С каждой стороны переводного устройства располагались направляющие, которые предназначались для выключения и включения замков колес при прохождении колесной пары. Направляющие жестко закреплялись на шпалах и имели устройства для регулирования их положения относительно головок рельсов. Для перевода колодок на устройстве устанавливались направляющие, которые также жестко закреплялись на шпалах. Общая длина переводного устройства составляла 12,5 м. Максимальная расчетная скорость движения вагонов с РКП по переводному устройству составляла 10 км/ч.

Приведенные разработки указывают на то, что данная тематика на современном этапе развития экономики, укрепление международных торговых связей являются достаточно актуальными и востребованными, а разработка отечественного варианта РПК повысит конкурентоспособность Белорусской железной дороги как перевозчика.

Список литературы

- 1 Newechologies of gauge variation for wheelset vechilecrossing / P. Nicolae [et al.] // Bulletin of the Transilvania University of Braasov. – 2015. – No. 8. – С. 248–250.
- 2 Садчиков, П. И. Технология перехода железнодорожного подвижного состава с одной колеи на другую (международный опыт) / П. И. Садчиков, О. Л. Целищева // Техника железных дорог. – 2014. – № 12. – С. 27–28.
- 3 Колесная пара для множества колей [Текст] : пат. 2131816 Рос. Федерация : МПК В 61 Б 7/00, В 60 В 35/10 / Н. М. Гайдаров ; заявитель и патентообладатель Железнодорожный завод. – № 96107245/28 ; заявл. 06.09.93 ; опубл. 20.06.99.
- 4 Villmann, J. Vorstellung des Spurwechselradsatzes "RAFIL / DB AG Typ V" sowie der zugehörigen Systemkomponenten // Automatische Umspurung von Schienenfahrzeugen / J. Villmann, M. Schwartze Wien, 2005. – S. 22.
- 5 Graff, M. System SUW2000 w komunikacji przestawczej 1435/1520 mm / M. Graff // TTS Technika Transportu Szynowego. Z. 1–2. – 2016. – S. 34–53
- 6 Железные дороги мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://zdmira.com/news/v-shvejtsarii-proshla-ispytaniya-telezha-izmenyaemoy-kolei-kompanii-prose>.
- 7 Takao, K. Development of the gauge change EMU train system in Japan / K. Takao, K. Uruga // Urban Transport X. – 2004. – P. 521–530.

Получено 20.12.2022

V. Ya. Negrey, R. I. Chernin, P. A. Dashuk, A. V. Aukhachou. Technical solutions for the trans-track movement of railway rolling stock by changing the inter-track distance of its running parts.

The article provides an overview of the designs and describes the principle of operation of sliding wheelsets developed and used in world practice, as well as information on the development and testing of promising design options. Data on the results of operation of some structures are given.

УДК 629.463.3

В. Я. НЕГРЕЙ, доктор технических наук, К. А. БОЧКОВ, доктор технических наук, А. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЕВРОПЕЙСКИЕ МОДУЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СЪЕМНЫХ И СМЕННЫХ КУЗОВОВ

Описаны конструктивные особенности конструкций облегченных модульных платформ, разработанных в рамках европейских проектов для перевозки съемных или сменных кузовов. Выделены конструктивные особенности каждого из проектов. Приведены результаты предварительных прочностных расчетов рамы платформы с конструктивным построением, аналогичным проекту «TransANT».

В последние годы на рынке наблюдается увеличение количества моделей вагонов различных типов. В большинстве своем это специальные вагоны предназначенные для перевозки ограниченной номенклатуры грузов. Потребность в вагонах для перевозки того или иного груза неравномерна в течение года. Соответственно, в большей степени специальные вагоны в определенные месяцы могут простаивать или, наоборот, наблюдается их дефицит.

Обеспечение спроса на вагоны того или иного типа возможно путем установки необходимого типа кузова (съемного или сменного). Таким образом, можно говорить о модульном грузовом вагоне, в котором можно выделить два модуля: кузов (съемный или сменный) и платформу-носитель для его перевозки.

Применение съемных и сменных кузовов, аналогично использованию контейнеров. Однако размеры типовых контейнеров не позволяют полностью использовать габаритные возможности вагонов как по ширине, так и по высоте. Поэтому возникла идея использования съемных и сменных кузовов.

Данное направление в разработке конструкций вагонов и кузовов получило развитие в странах Евросоюза. Большое количество конструкций съемных, сменных кузовов и платформ для их перевозки разработала компания "InnoFreight". Модельный ряд кузовов включает в себя кузова различной длины (от 11 до 40 футов), которые предназначены для перевозки широкой номенклатуры грузов: сыпучих, жидких, скатывающихся, штучных и т. д.

Наибольшей эффективности применение всего модельного ряда кузовов достигается совместно с платформами, специально разработанными для их перевозки. Они спроектированы таким образом, чтобы в сочетании с кузовами обеспечить максимальную эффективность перевозок и погрузочно-разгрузочных операций. Семейство платформ "InnoWaggon" в большинстве своем представлено сцепами из двух платформ с суммарной погрузочной длиной 60, 80 и 90 футов [1].

Рама платформ выполнена из сварных профилей. При этом концевые части унифицированы, а средние части имеют конструктивные различия, что позволяет на стадии изготовления выпускать платформы различной длины в зависимости от потребности. Особенностями всех конструкций является отсутствие в средней части рамы хребтовой балки, что позволяет получить свободное пространство в середине рамы, ограниченное боковыми продольными балками 4 рамы (рисунок 1).

Оно позволяет разместить необходимые устройства для разгрузки сменных кузовов, предназначенных для перевозки жидких, а также сыпучих грузов.

Концевая часть платформ "InnoWaggon", представленная на рисунке 1, состоит из трех поперечных (концевой 1, шкворневой 2 и средней поперечной 3) и боковых продольных 4 балок. Боковые продольные балки рамы имеют переменное по высоте сечение с максимальной высотой в средней части вагона. На верхних горизонтальных листах боковых балок устанавливаются откидные контейнерные упоры 5 (по двенадцать штук с каждой стороны). Рядом со вторым и одиннадцатым упорами располагаются места 6 для установки и крепления на болтах ограничителей продольных перемещений съемных кузовов типов цистерна и хоппер. Места установки контейнерных упоров на боковых продольных балках усилены вертикальными ребрами 7.

Отрезки хребтовых балок 8 в консольных частях сверху частично перекрыты усиливающим листом и усилены вертикальными ребрами, а на участке между шкворневой и средней поперечной балкой 3 разделяются на два сварных профиля 9. Далее они переходят в раскосы 10 переменной высоты по длине для передачи продольных усилий на боковые балки.

Масса тары одного вагона сцепа длиной 30 футов составляет 14,1 т, а для вагонов длиной 40 и 45 футов – 14,5 и 14,95 т соответственно.

Компания «Wascosa» разработала систему применения съемных кузовов, которая получила название «Wascosa flex freight system». Она включает в себя облегченные платформы для установки съемных кузовов с погрузочной длиной 60, 54, 52, 48 и 45 футов. Масса тары перечисленных вагонов находится в диапазоне от 17,4 до 16,0 т, что достигается, в том числе, и наличием на боковых продольных балках рамы вырезов круглой формы, которые изменяют свой диаметр в зависимости от высоты поперечного сечения [3].

В рамках проекта «TransANT» [4] были спроектированы семейство платформ для перевозки съемных и сменных кузовов, а также четыре конструкции кузова, позволяющие их переуплотнить в зависимости от потребностей (для перевозки лесоматериалов, сыпучих грузов, типа полувагон). Платформы имеют облегченную конструкцию по сравнению с находящимися в эксплуатации. По данным разработчиков снижение массы тары достигает 20 %. Разработанные платформы имеют погрузочную длину 33, 40, 45, 48, 52, 60 и 70 футов. Они изготавливаются из унифицированных комплекту-

ющих. Рамы независимо от длины вагона собираются из трех модулей: двух концевых и среднего, который и

определяет окончательную длину рамы, необходимую для потребителя.

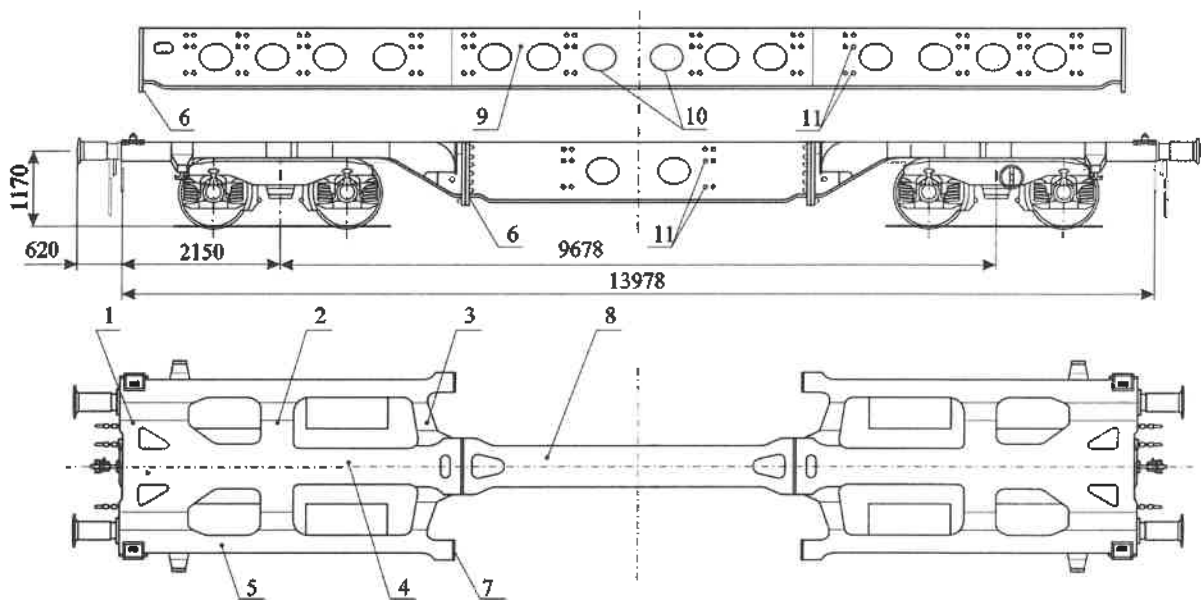


Рисунок 1 – Сцеп из двух платформ Inno Waggon 2×40 футов [2]

Концевые модули рамы состоят из концевой 1, шкворневой 2 и хребтовой 3 балок (рисунок 2). Шкворневая и концевая балки по краям соединены при помощи отрезков боковых продольных балок 4. Дополнительно передача продольных сил с отрезков боковых балок на хребтовую осуществляется через верхний горизонтальный лист, который после шкворневой балки сужается до ширины хребтовой балки. Снизу он подкреплен вертикальными листами 5 расположенными по диагонали. Хребтовая балка концевой части рамы имеет замкнутое коробчатое сечение, которое по мере отдаления от шкворневой балки увеличивает свои размеры как по ширине, так и по высоте. В ее нижнем горизонтальном и в вертикальных листах в зоне перехода на большую высоту с меньшей предусмотрены фигурные вырезы. Конструкция концевых частей для всех длин вагонов идентична за исключением 33-футового вагона.

Модули средней части рамы отличаются длиной и количеством поперечных балок рамы. Так, конструкцией рам с длиной 40, 45 и 48 футов предусмотрено по одной поперечной балке, с длиной 52 футов – две, с длиной 60 футов – пять, 70 футов – три.

Хребтовая балка средней части – также замкнутого коробчатого сечения постоянной высоты и ширины на

всей длине. Вертикальные листы 6 имеют вырезы в виде четырехугольников и треугольников со скругленными углами, а также других сложных скругленных геометрических фигур. На нижнем листе 7 с краев предусмотрены каплевидные вырезы, а между ними – вырезы овальной формы.

Поперечные балки рамы сварные. Верхний горизонтальный лист 8 у хребтовой балки имеет форму трапеции с треугольным вырезом, переходящим в прямоугольную площадку, для установки откидных контейнерных упоров 9. Площадку снизу подкрепляет лист 10, расположенный под углом к горизонтальной плоскости таким образом, чтобы обеспечить связь с нижним горизонтальным листом хребтовой балки. Верхний и наклонный листы образуют треугольник, внутри по периметру которого приварены вертикальные усиливающие полосы 11 с треугольным вырезом.

Описанные выше конструкции имеют возможность изменять свои параметры и быть адаптированными для перевозки того или иного груза только за счет установки съемных или сменных кузовов. Конструкция платформ остается неизменной в течение всего срока эксплуатации.

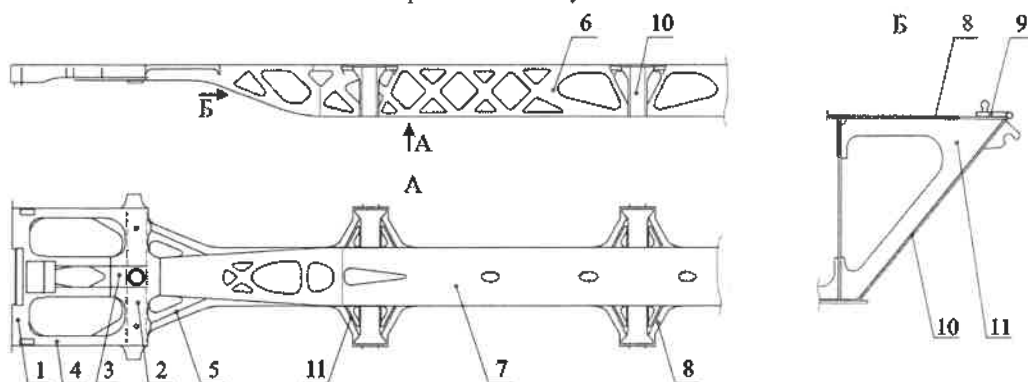


Рисунок 2 – Рама платформы с погрузочной длиной 70 футов («TransANT»)

DBCargo совместно с VTG реализовало проект вагона m2 (многофункциональный×модульный) [5]. Разработанная конструкция вагона позволяет не только на стадии изготовления устанавливать необходимые параметры, но и изменять их в короткие сроки за

период жизненного цикла. В основу концепции дополнительно заложена модульность металлоконструкции рамы. Она состоит из трех основных частей (модулей) – двух концевых унифицированных и средней (рисунки 3).

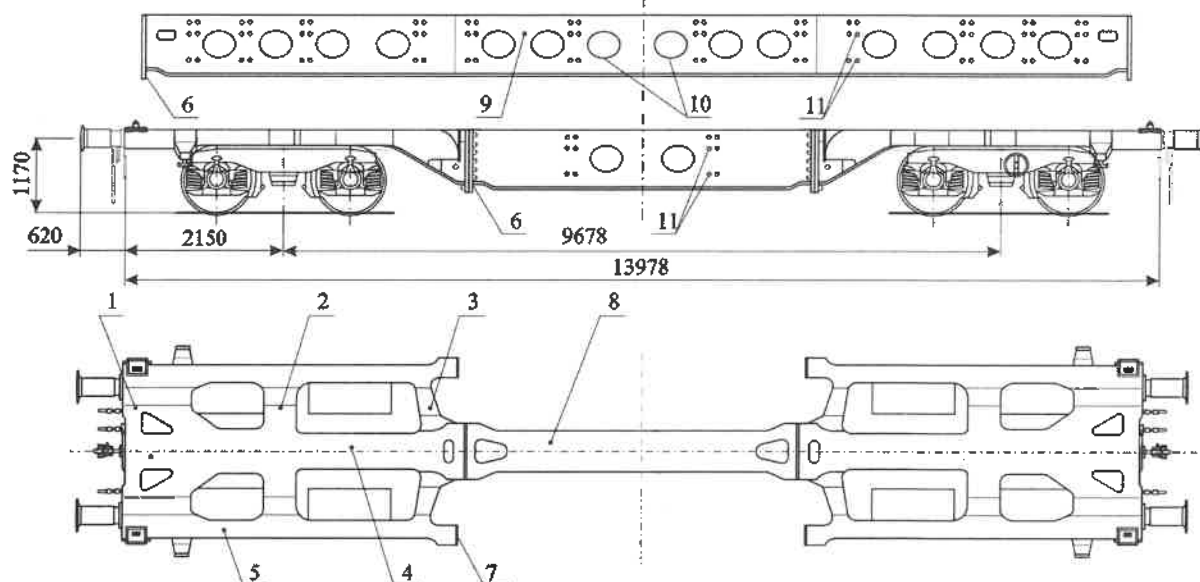


Рисунок 3 – Платформа проекта m2 [6]

Концевая часть состоит из концевой 1, шкворневой 2 и поперечной 3 балок. В средней части располагается отрезок хребтовой балки 4, а по бокам – боковые продольные балки 5. Соединение средней части рамы и концевых частей осуществляется при помощи разъемных соединений. Для этого на хребтовой и боковых балках рамы предусмотрены вертикальные привалочные плиты 6 и 7 с отверстиями под установку болтов. На рисунке 3 показаны отрезки 8 и 9 средней части хребтовой балки, позволяющие изменять длину рамы вагона от 40 до 70 футов. Средняя часть хребтовой балки независимо от длины выполняется замкнутого коробчатого сечения с уширением крайних частей и с вырезами 10 в вертикальных и нижнем горизонтальных листах.

Разъемное соединение рамы позволяет изменять конструкцию вагона и адаптировать ее под перевозку необходимых грузов, за счет изменения длины вагона. Дополнительно средняя часть имеет возможность к трансформации посредством установки различной длины хребтовой и боковых балок и связывать их в единый модуль путем установки поперечных балок рамы. По-

перечные балки также крепятся к продольным балкам средней части при помощи болтов. Для этого на средней части хребтовой балки предусмотрены специальные отверстия 11.

На сегодняшний день для установки на платформу с погрузочной длиной 13958 мм разработаны съемные кузова длиной 20 футов с открытым верхом и со сдвижным тентом для перевозки рулонной стали. Для этого на раму устанавливаются боковые продольные балки, а между ними и хребтовой балкой крепятся по две поперечные балки и четыре откидных контейнерных упора. На платформу максимальной длины предусмотрена установка комплекта съемного оборудования для перевозки лесоматериалов, который включает в себя четырнадцать комплектов лесных стоек. Погрузочная длина вагона при этом составляет 22640 мм.

Компания Hörmann Vehicle Engineering разработала в рамках проекта «5L Next» конструкцию облегченной рамы платформы [7]. Она также собирается из трех частей: двух концевых и средней (рисунки 4).

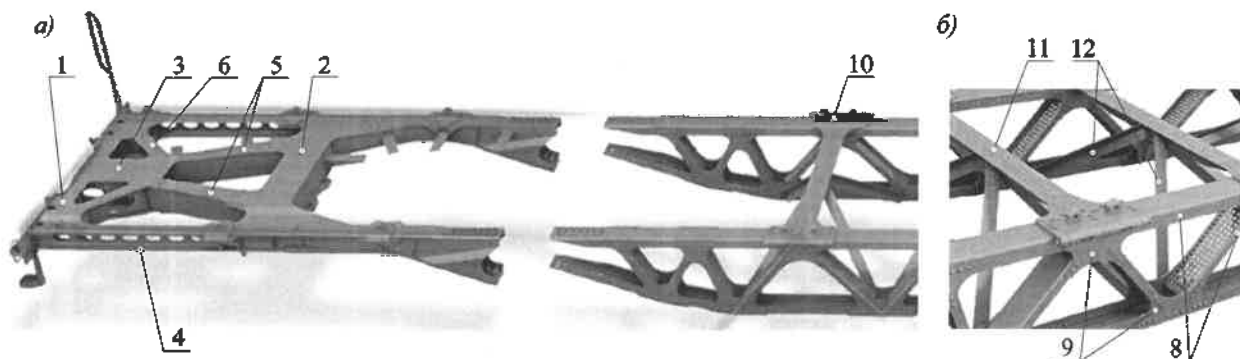


Рисунок 4 – Рама платформы проекта «5L Next»:

а – концевая сварная и средняя части; б – фрагмент средней части с поперечными балками рамы [6]

Концевые части сварной конструкции каждая из которых состоит из поперечных концевой 1 и шкворневой 2 балок. Отрезок хребтовой балки 3 длиной приблизительно 1/3 консольной части примыкает к концевой балке и затем разделяется на два раскоса 4, которые расходятся к боковым балкам 5 в места соединения их со шкворневой. Дополнительно данный узел усиливают раскосы 6, отходящие в противоположную сторону к местам соединения боковых и концевых балок.

Снижение массы тары достигнуто за счет особенностей конструкции средней части. Она выполнена без сквозной хребтовой балки. Боковые балки представляют собой ферму переменной высоты с максимальной высотой в средней части рамы, которая уменьшается к концевым частям. Силовые элементы фермы собраны из гнутых швеллеров 8 с отверстиями для облегчения конструкции, которые соединяются при помощи болтов и заклепок. Места соединения горизонтальных и наклонных элементов усилены фигурными накладками 9.

На боковых продольных балках рамы устанавливаются откидные контейнерные упоры 10, которые усиливаются пятью поперечными балками. Верхний пояс балки имеет горизонтальную поверхность 11, а для связи с нижним поясом боковой балки от их середины расходятся в обе стороны наклонные подкосы 12.

Для проверки возможности применения рассмотренных выше конструктивных решений на платформах колеи 1520 мм была разработана конечно-элементная модель рамы. Ее длина составляет 13400 мм. Хребтовая балка выполнена замкнутого коробчатого сечения с высотой и шириной в средней части 700 мм и с постепенным снижением высоты до 300 мм и ширины до 350 мм (рисунок 5). В средней части предусмотрена поперечная балка для установки контейнерных упоров, позволяющих перевозить два контейнера длиной 20 футов. Она также замкнутого коробчатого сечения переменной высоты по длине. Выбранные конструктивные формы хребтовой и поперечной балок аналогичны платформам проекта TransANT. Конструкцией также не предусмотрено наличие боковых продольных балок рамы на участке между шкворневыми. Расчет выполнялся на действие продольной сжимающей и растягивающей нагрузок величиной 2 МН и 2,5 МН с учетом собственного веса и вертикальной нагрузки от перевозимого груза, которая составила 72 т [8]. Материал – сталь 09Г2С с пределом текучести 345 МПа.

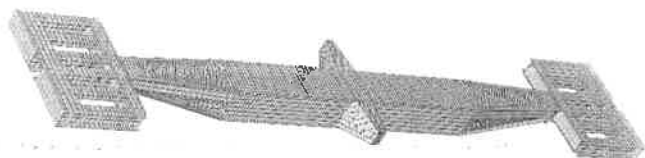


Рисунок 5 – Конечно-элементная модель рамы платформы

Выполненные расчеты показали, что расчетные напряжения превышают допускаемые в средней части

рамы, в частности в элементах хребтовой балки. При растяжении – в верхнем листе, а при сжатии – в нижнем листе в зоне примыкания к шкворневой балке. Уровень расчетных напряжений превышает допускаемые на 21 и 28 % соответственно. Таким образом, можно сделать вывод о том, что хребтовая балка с предлагаемым коробчатым сечением нуждается в усилении.

Выводы.

1 Применение съемных или сменных кузовов наиболее эффективно совместно со специально разработанными облегченными платформами для их перевозки. Это связано с тем, что в перевозочном процессе мы получаем две самостоятельные грузовые единицы: съемный или сменный кузов и платформу-носитель. Вследствие этого теряются преимущества, присущие несущим кузовам грузовых вагонов.

Кузов (съемный или сменный) при этом должен обладать необходимыми прочностными характеристиками, которые обеспечат безопасную перевозку грузов, подъем в порожнем или груженом состоянии, а также должен быть оснащен приспособлениями, которые необходимы для установки и съема (фитинги и пазы для вилочного погрузчика и т. д.). Дополнительные требования приводят к его усилению, что влечет повышение массы тары.

Поэтому приведенные конструкции платформ имеют сниженную массу, величина которой достигает 20 % в сравнении с вагонами эксплуатационного парка.

2 В рамках каждого из описанных проектов разработан модельный ряд платформ, который собирается из унифицированных модулей концевых частей рамы и средней части, конструкции которых позволяет оперативно изготавливать платформы необходимой заказчику длины в диапазоне от 33 до 70 футов.

Проект m2 позволяет изменять параметры платформы за короткий срок в течении жизненного цикла вагона в зависимости от потребностей рынка. Это достигнуто за счет разъемного соединения концевых и средней частей рамы.

3 Конструкции платформ выполнены из сварных профилей без использования прокатных, что дает возможность изменять прочностные характеристики сечений балок, дополнительно варьируя толщиной вертикальных стоек и горизонтальных полок в зависимости от уровня расчетных напряжений. Для снижения массы тары наиболее металлоемкие балки снабжены вырезами различной формы. Также положительно на значении итоговой массы сказывается применение сталей повышенного класса прочности.

4 Описанные платформы могут использоваться как для перевозки съемных или сменных кузовов, так и для стандартных конструкций контейнеров различной длины.

Список литературы

1 Пигунов, А. В. Европейские разработки в области реализации концепции применения съемных кузовов / А. В. Пигунов, В. В. Пигунов, П. А. Дашук // Механика. Исследования и инновации. – 2021. – № 14. – С. 183–189.

2 Produkte und Dienstleistungen [Электронный ресурс] : интернет-портал. Австрия – Вена. – Режим доступа :

<https://www.railcargo.com/en/dam/jcr:b5917d83-86e1-44e7-9441-78cbc4835fed/innowaggon-typenplan2.pdf>. – Дата доступа : 02.09.2021.

3 WASCOSA's flex freight system. Edition, Switzerland, 2012 [Электронный ресурс] : портал. Австрия – Люцерне. – Режим доступа : <https://www.wascosa.ch/en/wagon-fleets/intermodal-wagons>. – Дата доступа : 10.09.2021.

4 Superstructures industry-specific modular superstructures for optimized logistics solutions [Электронный ресурс] : портал. Австрия – Линц. – Режим доступа : <https://www.transant.com/en/The-TransANT/Superstructures/>. – Дата доступа : 12.09.2022.

5 DB Cargo and VTG unveil new modular wagon platform [Электронный ресурс] : интернет-портал. Австрия – Санкт-Ульрих-Штайр. – Режим доступа : <https://www.railjournal.com/>

[regions/europe/db-cargo-and-vtg-unveil-new-modular-wagon-platform/](https://www.railjournal.com/regions/europe/db-cargo-and-vtg-unveil-new-modular-wagon-platform/). – Дата доступа: 23.09.2022.

6 The freight wagons of the future: multifunctional and modular [Электронный ресурс] : портал. Германия – Берлин. – Режим доступа : <https://www.dbcargo.com/rail-de-en/services/innovations/m2-wagon/>. – Дата доступа : 25.09.2022.

7 5L next – nächste Generation Güterwagen [Электронный ресурс] : портал. Швейцария – Ольтен. – Режим доступа : <https://www.sbbcargo.com/de/unternehmen/inno-lieferanten.html/>. – Дата доступа : 10.10.2022.

8 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016–07–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.

Получено 31.10.2022

V. Ya. Negrey, K. A. Bochkov, A. V. Pihunou. European modular platforms for the transportation of dependable and swap bodies.

The design features of the designs of lightweight modular railway platforms developed within the framework of European projects for the transportation of demountable or swap bodies are described. The design features of each of the projects are highlighted. The results of preliminary strength calculations of the railway platform frame with a structural construction similar to the "TransANT" project are presented.

УДК 629.463.6.004.18

А. В. ШИЛОВИЧ, доктор технических наук; А. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук, В. В. ПИГУНОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ МАССЫ ТАРЫ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ

Представлен анализ конструкций универсальных платформ. Для оценки напряженно-деформированного состояния рамы платформы модели 13-401 разработана ее конечно-элементная модель. Проведенные расчеты позволили установить зоны хребтовой балки с минимальным уровнем напряжений с целью введения вырезов для облегчения конструкции. Расчеты облегченной конструкции подтвердили возможность практического применения предлагаемого решения.

В эксплуатации находятся универсальные вагоны-платформы моделей 13-401, 13-4012, 13-192-01 и др.

Платформа модели 13-401 предназначена для перевозки широкой номенклатуры грузов, не требующих защиты от атмосферных воздействий. Она до сих пор успешно эксплуатируется, в том числе и с продленным сроком службы, хотя спроектирована была в 60-х годах двадцатого века.

Основой металлоконструкции платформы является сварная металлическая рама, на которой крепится деревянный настил пола. К концевым и боковым продольным балкам шарнирно крепятся торцевые и продольные откидные борты. Концевые балки – П-образного поперечного сечения из металла толщиной 10 мм. К ним приварены по четыре кронштейна треугольной формы, для поддержания в горизонтальном положении торцевых бортов в откинутом положении. Шкворневые балки – замкнутого коробчатого сечения переменной высоты по длине. Верхние и нижние листы выполнены из стали толщиной 10 мм, вертикальные – толщиной 8 мм. Для усиления конструкции рамы в средней части установлены две основные поперечные балки высотой 500 мм. Они выполнены из сварных двутавров с толщиной стенки и горизонтальных полок 5 и 7 мм соответственно. На участке между шкворневыми балками дополнительно устанавливаются четыре поперечные балки из двутавра № 10. Над ними, для поддержания настила пола, предусмотрены четыре продольные балки, также выполненные из двутавра № 10.

Наиболее металлоемкими и прочными являются продольные балки рамы – хребтовая и две боковые. Хребтовая балка выполнена из двух двутавров № 60 в средней части на длине 4,24 м, высота которых уменьшается к консольным частям рамы. Аналогичную форму имеют и боковые балки рамы.

Более поздней конструкцией была платформа модели 13-4012. Основное отличие от платформы модели 13-401 заключалось в наличии комбинированного настила пола (металлического в средней части и деревянного – по краям), что повлияло на конструктивные изменения, внесенные в раму. Для его установки верхние полки хребтовой балки расположены выше, по сравнению с боковыми продольными, на высоту деревянного настила. Хребтовая балка состоит из двух двутавров № 70 переменной высоты по длине, а боковые продольные – из двутавров № 30 постоянной высоты.

Наиболее современной конструкцией универсальной платформы является модель 13-192-01, которая разра-

ботана в ООО «Уральское конструкторское бюро вагоностроения» (УКБВ) в 2016 году [1].

Рама (рисунок 1) образована хребтовой балкой 1, двумя шкворневыми 2, двумя концевыми 3, двумя промежуточными поперечными 4, средней поперечной 5, двумя боковыми 6, вспомогательными (подпорными) 7 и 8 балками.

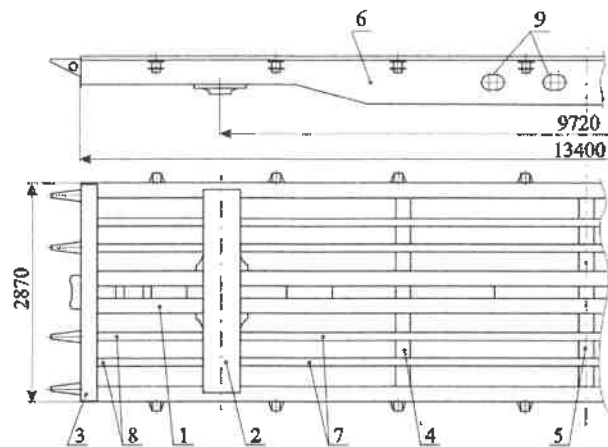


Рисунок 1 – Рама универсальной платформы модели 13-192-01

Хребтовая и боковые балки переменного по длине сечения выполнены из двутавров № 60, причем первая – из двух двутавров.

К вертикальной стенке боковой балки приварены скобы лесных стоек и кронштейны для крепления продольных бортов (державки петель), к нижним полкам – кронштейны тяговые, а к верхней полке по наружному краю – швеллер, защищающий настил пола от повреждений при погрузке самоходной техники. Для облегчения конструкции на вертикальной стенке боковой балки в средней части выполнены четыре отверстия овальной формы 9.

Техническая характеристика приведенных выше платформ представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика платформ

Показатель	Модели платформ		
	13-401	13-4012	13-192-01
Грузоподъемность, т	70	71	72
Масса тары, т	21	21,4	21,5
Площадь пола, м ²	36,8	36,8	38,4
База вагона, м	9,72	9,72	9,72
Длина рамы, м	13,4	13,4	13,4
Ширина, м	2,77	2,77	2,87
Коэффициент тары	0,30	0,30	0,30

Показатель	Модели платформ		
	13-401	13-4012	13-192-01
Удельная площадь, м ² /т	0,52	0,518	0,53
Нагрузка от колесной пары на рельсы, кН	228	228	230,5

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, грузоподъемность платформ с каждой новой моделью возрастает на 1 тонну, а масса тары увеличивается на 0,5 т. При этом коэффициент тары для всех конструкций остался практически одинаковым. У платформы модели 13-192-01 незначительно увеличилась масса (на 0,1 т) по сравнению с предшествующей моделью вагона, хотя она имеет большую ширину. Это достигнуто за счет конструктивных изменений, коснувшихся основных поперечных и вспомогательных продольных балок рамы, а также предусмотренных в средней части боковых продольных балок вырезов овальной формы в количестве четырех штук на сторону.

Одним из путей повышения эффективности использования вагонов является снижение массы тары. Для этого необходимо детальное исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) металлоконструкции рамы. В качестве объекта исследования была принята рама универсальной платформы модели 13-401, хорошо зарекомендовавшая себя в течение длительного срока эксплуатации.

Для оценки НДС на основе конструкторской документации была разработана расчетная конечно-элементная модель металлоконструкции рамы платформы. Она составлена для рамы в целом и позволяет проводить расчеты для любого сочетания эксплуатационных нагрузок. Для построения модели использовались пластинчатые трех- и четырехугольные конечные элементы. Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах установки упоров автосцепного устройства и пятников (рисунок 2).

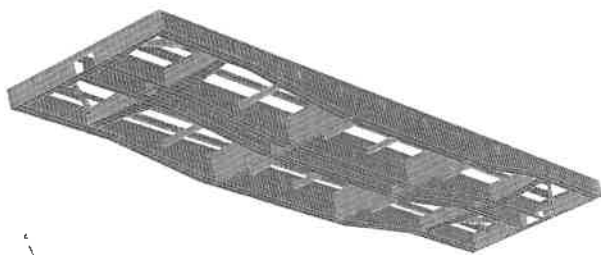


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель рамы платформы

Расчеты производились на совместное действие вертикальных и продольных нагрузок (сжимающей (2,5 МН) и растягивающей (2,0 МН)) [2]. Вертикальная нагрузка соответствовала трем вариантам загрузки платформы и принималась равномерно распределенной: по длине продольных балок (при массе груза 72 т), посередине боковых балок на длине 3 м (при массе груза 45 т) и 4,3 м (при массе груза 60 т). Максимальные значения расчетных напряжений по конструктивным группам металлоконструкции рамы для трех вариантов приложения вертикальной нагрузки приведены в таблице 2.

Анализ результатов, приведенных в таблице 2, показывает, что в большинстве элементов конструкции расчетные напряжения не превышают 200 МПа. В поперечных элементах рамы (шкворневой и основной поперечных балках), при действии сжимающей нагрузки наблюдается максимальный уровень напряжений, который превышает 200 МПа. Напряжения в элементах хребтовой и боковых балок рамы ниже. Максимальная величина для хребтовой балки 193 МПа, а для боковых – 170 МПа. Эти элементы конструкции наиболее материалоемкие и вносят значительный вклад в формирование массы рамы вагона. Поэтому целесообразно привести более детальный анализ распределения напряжений в средней части этих балок.

Таблица 2 – Максимальные значения напряжений по конструктивным группам рамы типовой конструкции

Конструктивная группа	Варианты нагружения					
	1 (72 т)		2 (45 т)		3 (60 т)	
	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
Концевая балка	159	148	138	119	138	119
Хребтовая балка:						
– нижняя полка	138	188	127	146	143	146
– стенка	170	162	151	159	151	170
верхняя полка	125	183	101	180	100	193
Шкворневая балка:						
– вертикальные листы	80	130	69	106	69	114
– горизонтальные листы	154	252	114	201	122	209
Основная поперечная балка	170	82	239	159	289	207
Боковая балка:						
– верхняя полка	56	101	77	159	93	170
– нижняя полка	58	69	106	130	125	146
стенка	50	90	85	125	101	135

При действии растягивающей нагрузки наибольший уровень напряжений в средней части хребтовой и боковых балок рамы наблюдается в нижней горизонтальной полке двутавра и примыкающему к нему участку стенки. По мере отдаления от нижней горизонтальной полки уровень напряжений снижается. При действии сжимающей нагрузки наблюдается противоположная картина. Наибольшей величины напряжения достигают в верхней горизонтальной полке двутавра и уменьшаются по мере отдаления от нее к нижней части двутавра. Отсюда можно сделать вывод, что в средней части стенок двутавра по высоте сечения наблюдается наименьший уровень напряжений при действии как сжимающей, так и растягивающей продольной силы.

Анализ конструкций отечественных и зарубежных производителей указывает на то, что снижения массы платформы возможно достичь путем удаления «лишнего» металла, т. е. введением вырезов в местах балок с наименьшим уровнем напряжений. Форма и размер вы-

реза во многом обусловлены конструктивными особенностями рамы.

Заслуживает внимания европейский проект «TransANT». Для его реализации было разработано семейство платформ с длиной рамы от 33 до 70 футов. Рама собирается из трех частей: двух концевых и средней части. Концевые части унифицированной конструкции для всех платформ, а средняя часть, определяющая конечную длину рамы, отличается количеством поперечных балок, а также формой и количеством вырезов в вертикальных листах хребтовой балки. Причем их форма и расположение радикально отличаются от привычных форм (треугольник, круг, овал и т. п.) (рисунок 3) [3].

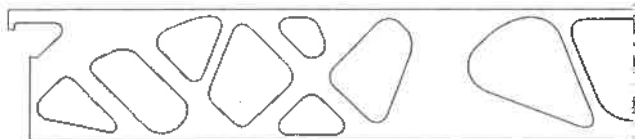


Рисунок 3 – Форма и расположение вырезов в средней части хребтовой балки платформы проекта «TransANT»

Как отмечалось выше, платформа разработки УКБВ снабжена вырезами в боковых балках рамы. Поэтому акцент дальнейших исследований был смещен на хребтовую балку.

Для хребтовой балки платформы модели 13-401 предлагается в средней части рамы на участке между основными поперечными балками 1 ввести треугольные вырезы со скругленными углами, которые образуют ферму с вертикальными стойками 2 и раскосами 3. Стойки необходимы для установки вспомогательных поперечных балок 4, поддерживающих деревянный настил пола (рисунок 4, а).

Принятые формы вырезов были внесены в расчетную модель и с их учетом проводились дальнейшие прочностные расчеты. Анализ их результатов позволил установить, что наибольший уровень напряжений наблюдается у раскосов, а у стоек он минимальный и составляет от 67 до 87 МПа в зависимости от сочетания расчетных нагрузок. Исходя из этого открывается возможность отказа от части стоек фермы. В результате мы получаем форму вырезов, приведенных на рисунке 4, б.

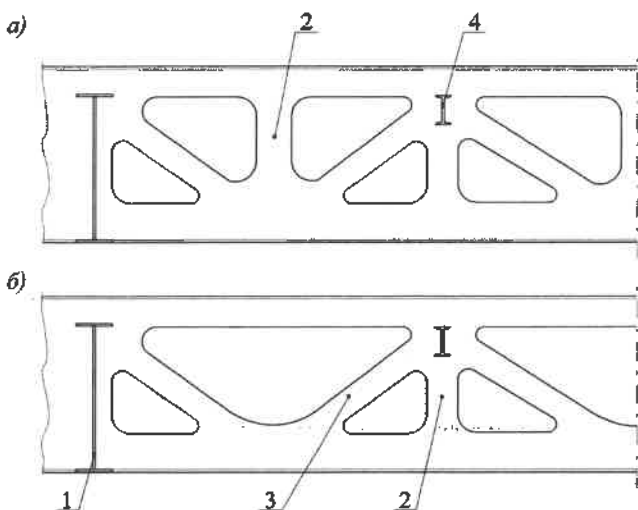


Рисунок 4 – Вырезы вертикальной стойки двутавра хребтовой балки в средней части

С учетом внесенных изменений была проведена серия прочностных расчетов. Их результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальные значения напряжений по конструктивным группам рам с вырезами

Конструктивная группа	Варианты нагружения					
	1 (72 т)		2 (45 т)		3 (60 т)	
	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие	растяжение	сжатие
Концевая балка	165	120	158	121	162	121
Хребтовая балка:						
– нижняя полка	140	257	146	143	171	146
– стенка	177	197	217	230	255	245
– верхняя полка	127	197	115	221	115	242
Шкворневая балка:						
– вертикальные листы	87	117	84	112	87	127
– горизонтальные листы	168	231	137	211	143	227
Основная поперечная балка	214	74	298	149	305	205
Боковая балка:						
– верхняя полка	59	94	84	162	103	180
– нижняя полка	65	66	121	130	143	152
– стенка	55	83	96	127	115	143

Данные, приведенные в таблице 3, показывают, что максимальные расчетные напряжения по всем конструктивным группам и при всех сочетаниях расчетных нагрузок не превышают допускаемых.

Более подробный анализ показывает, что в сравнении с первоначальной конструкцией хребтовой балки без вырезов величина напряжений возросла в большинстве конструктивных групп, хотя по некоторым наблюдается их незначительное снижение.

При воздействии на раму равномерно распределенной и продольной растягивающей нагрузок (первый вариант нагружения) в элементах боковой, хребтовой, шкворневой и концевой балок наблюдается незначительный рост уровня расчетных напряжений. В основной поперечной балке он возрос с 170 до 214 МПа. От воздействия сжимающей нагрузки по всем элементам конструкции наблюдается снижение уровня напряжений в диапазоне от 3 до 28 МПа. Только в стенке двутавра хребтовой балки в зоне введенных вырезов напряжения возросли на 95 МПа и составили 257 МПа.

Для второго варианта нагружения, учитывающего совместное действия продольной растягивающей и вертикальной нагрузок (45 тонн) уровень напряжений возрос во всех конструктивных группах рамы. В частности, в стенке двутавра хребтовой балки и составил 217 МПа (возрос на 66 МПа). При действии продольной сжимающей нагрузки уровень напряжений в боковой продольной балке практически не изменился, а по остальным конструктивным группам возрос. Максимально величина напряжений возросла в вертикальной стойке хребтовой балки с 151 до 217 МПа.

При приложении к раме увеличенной вертикальной нагрузки (третий вариант нагружения) и растягивающей наблюдается рост уровня расчетных напряжений по всем конструктивным группам металлоконструкции рамы. Наибольший рост с 151 до 255 МПа – в стенке

двутавра хребтовой балки. В нижних и верхних полках двутавра напряжения увеличились на 28 и 13 МПа соответственно. От воздействия этой же вертикальной нагрузки совместно с сжимающей уровень напряжений больше всего возрос в стенке двутавра хребтовой балки на 75 МПа и составил 245 МПа. В верхней полке этой же балки также наблюдается рост с 194 до 242 МПа, в нижней – без изменений. По остальным конструктивным группам напряжения увеличились от 2 до 16 МПа.

По результатам проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы.

1 Анализ конструкций универсальных платформ показал, что для повышения эффективности их использования необходимо снижение массы тары.

2 Снижение массы тары возможно путем поиска рациональных конструктивных решений, основанных на детальном анализе НДС рамы. Одним из путей решения данной проблемы является введение в конструкцию наиболее металлоемких балок рамы вырезов. Для платформы это хребтовая и боковые балки в средней части вагона.

3 Форма и размеры вырезов были уточнены в процессе прочностных расчетов. Изначально предлагалось расположение вырезов, которое образует ферму с раскосами и стойками. Анализ уровня напряжений элементов фермы показал, что в стойках уровень напряжений минимальный. Поэтому в зонах, где не предусмотрена

установка поперечных вспомогательных балок, они были удалены.

4 Прочностные расчеты рамы с учетом введенных конструктивных изменений показали, что уровень напряжений возрос в верхнем поясе стенки двутавра хребтовой балки. В большинстве случаев – в углах введенных вырезов, при этом значения полученных расчетных напряжений не превышают допустимых.

На наш взгляд, целесообразно в дальнейшем изменить форму введенных вырезов с целью снижения уровня напряжений, отходя от привычных форм с акцентом на применение в качестве образующих кривых второго порядка.

Список литературы

1 Пигунов, В. В. Конструкция, теория и расчет вагонов : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2 / В. В. Пигунов, А. В. Пигунов. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 466 с.

2 ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. – Введ. 2016–07–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 54 с.

3 FEMFAT User Meeting 2019 – Optimization and validation of a new freight car family., Austria, 08–09 May. 2019 / Department Product Engineering Montanuniversität Leoben. – Steyr : Department Product Engineering, 2019. – 23 p.

Получено 31.10.2022

A. V. Shilovich, A. V. Pihunou, V. V. Pihunou. Construction solutions to reduce the tare weight of universal cars-platform.

The analysis of the structures of railway platforms was carried out. To assess the stress-strain state of the platform frame model 13-401, its finite element model was developed. The performed calculations made it possible to establish zones of the main beam with a minimum level of stress in order to introduce cutouts to facilitate the structure. Lightweight design calculations confirmed the possibility of practical application of the proposed solution.

УДК 620.179.162

А. Г. ОТОКА, Белорусская железная дорога, г. Гомель; О. В. ХОЛОДИЛОВ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПОДСТУПИЧНОЙ ЧАСТИ ОСИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЕТКЕ

Проанализирована методика ультразвукового контроля подступичной части оси с напрессованными цельнокатанными колесами дефектоскопом УД2-102 в соответствии с техническими нормативными правовыми актами. Описана проблема традиционного ультразвукового контроля подступичной части оси колесной пары при текущем и среднем ремонте. Рассчитаны углы ввода ультразвуковых колебаний, при которых вся подступичная часть оси колесной пары с напрессованными цельнокатанными колесами будет проконтролирована за один оборот преобразователем на основе фазированной решетки. Подобран преобразователь на основе фазированной решетки под рассчитанные углы ввода в объект контроля.

Обеспечение безопасности движения поездов связано с применением различных технологий и средств неразрушающего контроля (НК) на железной дороге. Для решения такого рода задач разработаны механизированные многоканальные системы и комплексы, что позволяет добиться необходимой производительности и достоверности НК для предприятий с относительно небольшими объемами выпускаемой продукции.

В настоящее время различные производители выпускают оборудование, имеющее в своем составе специализированные сканирующие устройства для механизированного НК осей, бывших в эксплуатации при среднем и текущем ремонте (СР и ТР соответственно) колесных пар. Например, в ультразвуковых (УЗ) дефектоскопах имеется возможность записи и хранения в памяти дефектоскопа результатов всего процесса сканирования в виде «B-scan», «C-scan», «D-scan» и результатов подтверждающего контроля в виде «A-scan» с привязкой к номеру и геометрии конкретного изделия и т. д. Благодаря этому влияние человеческого фактора на процесс НК сведено к минимуму.

Объектом нашего рассмотрения является подступичная часть – часть оси, на которую напрессовывают колесо [1]. В процессе изготовления, эксплуатации и ремонта осей колесных пар (КП) наиболее опасными дефектами в подступичной части являются трещины и внутренние дефекты в виде пор, шлаковых включений и других металлургических дефектов, которые впоследствии могут перерасти из концентратора напряжений в развитие трещины и привести к дальнейшему излому.

При трении происходят процессы изнашивания, химического окисления поверхности, а также развиваются электроэрозионные явления за счет возникающего при трении двух металлов термоэлектрического тока.

Всё это способствует образованию очагов усталостных трещин. Если при формировании колёсной пары ступица колеса или подступичная часть оси будут обработаны с большой конусностью или овальностью, то после напрессовки колеса усилие, удерживающее его на оси, будет распределяться неравномерно по подступичной части, что вызовет местные напряжения в оси, способствующие появлению трещин [2].

Неразрушающий контроль подступичной части оси с напрессованными цельнокатанными колесами весьма затруднителен ввиду того, что зона контроля закрыта ступицей колеса и визуально осмотреть поверхность

невозможно. Поэтому здесь можно применить только УЗ-контроль (УЗК), позволяющий находить дефекты не только на поверхности оси, но и внутри (в толще) детали. Метод обладает высокой чувствительностью с возможностью контроля при одностороннем доступе.

При текущем и среднем ремонтах КП подступичные части оси с напрессованными цельнокатанными колесами подвергаются УЗК в соответствии с рекомендациями, изложенными в РД ВНИИЖТ 27.05.01 [1].

При проведении среднего ремонта КП с частично демонтированным буксовым узлом без снятия внутренних колец выполняют УЗК подступичной части оси на отсутствие дефектов эхо-импульсным методом (рисунок 1) – ручной УЗК по комплексу 2 (для осей типа РУ1, РУ1Ш, РВ1Ш, РВ3Ш вариант метода АR1.1, АR1.3, АR3.3, АR3.2 – «обязательно») с торцов оси и цилиндрической средней части оси или механизированный УЗК по комплексу 1 с предподступичных частей оси (BR3, BR4 – «обязательно»).

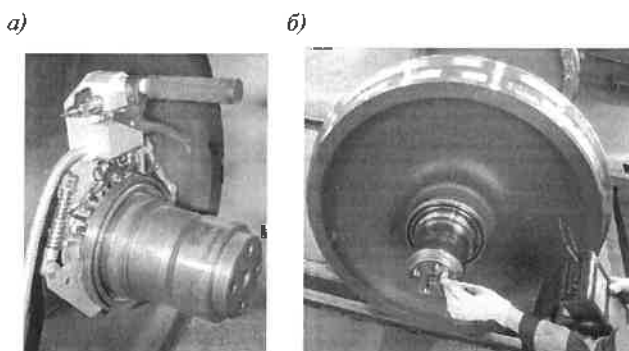


Рисунок 1 – УЗК подступичной части (СР)
а – комплекс 1; б – комплекс 2

В зависимости от типа оси, наличия внутренних колец на шейке оси, редуктора генератора, тормозных дисков в средней части оси и их размеров, а также используемых средств НК выбирается определенный вариант метода.

Характеристики вариантов методов УЗК подступичной части оси при среднем ремонте представлены в таблице 1.

При проведении СР КП с полностью демонтированным буксовым узлом и снятыми внутренними кольцами выполняют УЗК подступичной части оси на отсутствие дефектов эхо-импульсным методом с цилиндрических поверхностей шеек и средней части оси (AR3.1 – «обязательно»).

Таблица 1 – Характеристики вариантов контроля подступичной части оси при СР

Вариант метода	Тип волны	f, МГц	α, град	Границы зон контроля, мм
				РУ1, РУ1Ш
AR1.1	Продольная	2,5±0,25	0±2	1200–1950
AR1.3	То же		20–28	250–350
AR3.1	Поперечная		50±2	145–225
AR3.2	То же		40±2	340–480
BR3	Продольная		20±2	80–130
BR4	Поперечная		55±2	265–315

Примечание – Границы зон контроля для вариантов метода BR указаны относительно перехода шейки оси в предподступичную часть оси.

Текущий ремонт. При проведении ТР КП без демонтажа буксового узла выполняют УЗК подступичной части оси на отсутствие дефектов эхо-импульсным методом – механизированный УЗК по комплексу 1 с предподступичных частей оси и ручной УЗК с цилиндрической средней части (BR3, BR4, AR3.2 – «обязательно»).

При проведении ТР КП при демонтаже торцевого крепления выполняют УЗК подступичной части оси на отсутствие дефектов эхо-импульсным методом (рисунок 2) – ручной УЗК по комплексу 2 для осей типа РУ1, РУ1Ш, РВ1Ш, РВ2Ш, РВ3Ш (AR1.1, AR1.3, AR1.5, AR3.1 – «обязательно») или механизированный УЗК с предподступичных частей оси совместно с ручным УЗК с цилиндрической поверхности средней части оси по комплексу 1 (BR3, BR4, AR3.2 – «обязательно»).

Характеристики вариантов методов УЗК подступичной части оси при текущем ремонте представлены в таблице 2.

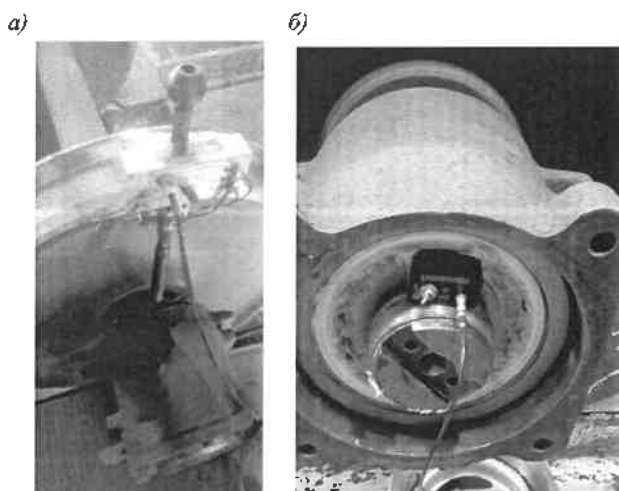


Рисунок 2 – УЗК подступичной части (ТР)
а – комплекс 1; б – комплекс 2

Таблица 2 – Характеристики вариантов контроля подступичной части оси при ТР

Вариант метода	Тип волны	f, МГц	α, град	Границы зон контроля, мм
				РУ1, РУ1Ш
AR1.1	Продольная	2,5±0,25	0±2	1200–1950
AR1.3	То же		20–28	250–350
AR3.1	Поперечная		50±2	145–225
AR3.2	То же		40±2	340–480
AR1.5	Продольная		20±2	280–380
BR3	То же		20±2	80–130
BR4	Поперечная	55±2	265–315	

Расшифровка вариантов методов УЗК подступичной части оси.

УЗК подступичной части оси КП с целью выявления внутренних и поверхностных дефектов при текущем и среднем ремонте КП выполняют по следующим вариантам метода [3]:

– AR1.1 – контроль с торца (или с зарезьбовой канавки) в осевом направлении продольными волнами при установке пьезоэлектрического преобразователя (далее – ПЭП) в доступные точки у края поверхности торца (сканирование ПЭП по окружности зарезьбовой канавки) с целью выявления в средней части и дальней подступичной части оси, кроме зоны под внешней кромкой ступицы колеса, поверхностных поперечных трещин. Данный метод представлен на рисунке 3, а);

– AR1.3 – контроль с торца (зарезьбовой канавки) в осевом направлении продольными волнами при установке ПЭП в доступные точки у края поверхности торца (сканирование ПЭП по окружности зарезьбовой канавки) с целью выявления в ближней подступичной части оси в зоне под внешней кромкой ступицы поверхностных поперечных трещин. Данный метод представлен на рисунке 3, б);

– AR1.5 – контроль с торца оси типа РВ2Ш в осевом направлении продольными волнами путем сканирования ПЭП по окружности радиусом 25 мм с центром в геометрическом центре с целью выявления в ближней подступичной части в зоне под внешней кромкой ступицы поверхностных поперечных трещин (рисунок 3, в);

– AR3.1 – контроль с цилиндрической поверхности оси поперечными волнами в осевом направлении путем сканирования ПЭП по поверхностям средней части и шейки, с целью выявления в средней части и зонах под внутренними и внешними ступицами колеса поверхностных поперечных трещин (рисунок 3, г);

– AR3.2 – контроль с цилиндрической поверхности оси поперечными волнами в осевом направлении путем сканирования ПЭП по поверхностям средней части (в пределах между внутренней кромкой ступицы колеса и редуктором генератора или внешней кромкой ступицы тормозного диска) с целью выявления в зоне под внутренней кромкой ступицы колеса поверхностных поперечных трещин. Данный метод представлен на рисунке 3, д);

– BR3 – контроль с цилиндрической поверхности оси продольными волнами в осевом направлении при установке ПЭП на предподступичной части и сканировании по периметру оси с целью выявления в зоне под внешней кромкой ступицы колеса поперечных трещин (рисунок 3, е);

– BR4 – контроль с цилиндрической поверхности оси поперечными волнами в осевом направлении при установке ПЭП на предподступичную часть и сканировании по периметру оси с целью выявления в зоне под внутренней кромкой ступицы колеса поперечных трещин (рисунок 3, ж).

Ультразвуковой контроль подступичной части оси КП проводится с целью обнаружения внутренних и поверхностных дефектов по условной чувствительности. К примеру, определение браковочной чувствительности при контроле AR1.3, AR1.5 по отражательной способности цилиндрического бокового искусственного отражателя (ЦБО) диаметром 6 мм в стандартном образце СО-2 или СО-3Р на глубине 44 мм с добавлением требуемой

чувствительности, вычисленной экспериментальным путем. Так, для AR1.3 необходимо добавить требуемую чувствительность +40 дБ, а для AR1.5 – чувствительность +32 дБ. При контроле AR1.1 используется определение браковочной чувствительности «донная» поверхность в СО-2 или СО-3Р, а при контроле BR3 и BR4 ЦБО 6 мм на глубине 44 мм в отраслевом стандартном образце – ОСО 32-006-2012.

Пропилы в оси используются только для подтверждения того, что оборудование настроено правильно. Они являются альтернативными и не являются браковочным критерием. Если пропилы выявляются, настройки сделаны правильно и можно проводить контроль. В противном случае необходимо перенастроить УЗ-дефектоскоп, а также убедиться в работоспособности преобразователей, соединительных кабелей и т. д. [3].

Проблемы традиционного УЗК

На железных дорогах Республики Беларусь и Российской Федерации практически во всех депо УЗК подступичной части оси проводится дефектоскопом УД2-102, УД2-102ВД или их аналогами.

На практике при УЗК оси дефектоскопом УД2-102 согласно утвержденным техническим нормативно-правовым актам (ТНПА) возникает ряд вопросов, связанных с ложными сигналами, которые превышают браковочный уровень.

Рассмотрим акустические схемы и типовые дефектограммы контроля подступичной части оси, которые приведены на рисунке 4 [4].

Недостатком ввода УЗ-колебаний с торца оси являются большие помехи, возникающие из-за конструктивных особенностей оси, которые маскируют отраженные от дефектов сигналы, а также недостаточная чувствительность, обусловленная необходимостью выявлять сигналы от дефектов малого размера, удаленных от точки ввода УЗ-колебаний на расстояние более 1700 мм (см. рисунок 4, з).

При контроле внешних подступичных частей оси при наличии на шейках колец роликов подшипников с торца оси возникают сигналы, которые не позволяют выявить и идентифицировать дефект, т. к. он скрывается в массиве ложных сигналов (см. рисунок 4, в). Как видно из рисунка 4, в, пропил в оси (в настроечном образце) глубиной 3 мм в подступичной части оси определяется только одним сигналом, который находится в массиве ложных сигналов и шумов. Поэтому данный пропил выявляется только благодаря известному расстоянию согласно ТНПА на настроечный образец.

При этом следует отметить, что контроль внешних подступичных частей оси при наличии на шейках колец роликов подшипников с торца оси весьма сомнителен. Ось колесной пары РУ-1Ш с торца оси имеет в зависимости от варианта исполнения 3 или 4 отверстия под болты М20, а также центровое и дополнительно «водильные отверстия» для обеспечения вращения оси при обработке на металлорежущих станках.

Это приводит к тому, что 100%-й контроль невозможен, ввиду того, что основная поверхность ввода УЗ-колебаний (торец оси) занята отверстиями. Рассмат-

ривая контроль подступичной части оси РУ-1Ш с торца оси, можно сказать, что если трещина находится в такой зоне подступичной части оси, при которой преобразователь попадает на отверстие, то дефект выявлен не будет. Этого нельзя сказать про УЗК оси РУ-1 с резьбовой канавки. Однако с 1993 г. оси типа РУ1 не изготавливаются, и с каждым годом их становится всё меньше [1].

Как показала практика, к недостаткам контроля осей РУ-1 (с торца оси) можно отнести (зачастую) непараллельность поверхности ввода УЗ-колебаний. Это может быть связано с ошибками при изготовлении оси или при неправильных монтажных работах, например торцевого крепления подшипников, подборе корончатой гайки и т. д. В итоге пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) не плотно прилегает к поверхности ввода (к торцу резьбовой канавки) и чувствительность контроля падает с увеличением зазора. При отсутствии контакта можно утверждать, что контроль бесполезен – дефекты выявлены не будут.

При контроле оси с предподступичной части (см. рисунок 3, е, ж) [3], при длине подступичной части оси 250 мм будет проконтролирован лишь участок 50 мм с внешней и внутренней сторон. При этом зачистку предподступичной части оси делать очень сложно, т. к. участок ввода УЗ-колебаний находится за буксовым узлом. Эта часть оси сильно подвержена загрязнениям при эксплуатации колесной пары, и качественную очистку выполнить затруднительно.

При контроле дальней подступичной части оси с противоположного торца чувствительность к дефектам очень низкая т. к. пропил в контрольном образце глубиной 4 мм выявляется плохо (см. рисунок 4, з). Большое усиление дефектоскопа вызывает «шумы», которые зачастую превышают полезные сигналы.

Контроль подступичной части оси с цилиндрической поверхности средней части оси (см. рисунок 4, а) и с шейки оси (см. рисунок 4, б) затруднителен, т. к. появляются «ложные» сигналы, которые идентифицировать только по расстоянию (по координатам x и y) очень сложно.

На практике все эти «ложные» сигналы при контроле подступичной части оси (с торца и цилиндрической поверхности оси) могут быть вызваны:

- отражением УЗ-колебаний от галтельного перехода шейки в предподступичную часть;
- отражением УЗ-колебаний от галтельных переходов предподступичной и средней части в подступичную;
- переотражением УЗ-колебаний от напрессованных ступиц цельнокатаных колес;
- диффузным рассеянием УЗ-колебаний с увеличением глубины прохождения луча;
- переотражением УЗ-колебаний от напрессованных колец подшипников на шейке оси;
- наличием грубой шероховатости, неровностей, загрязнений;
- отражением УЗ-колебаний от допустимых рисок, задиров и т. д.

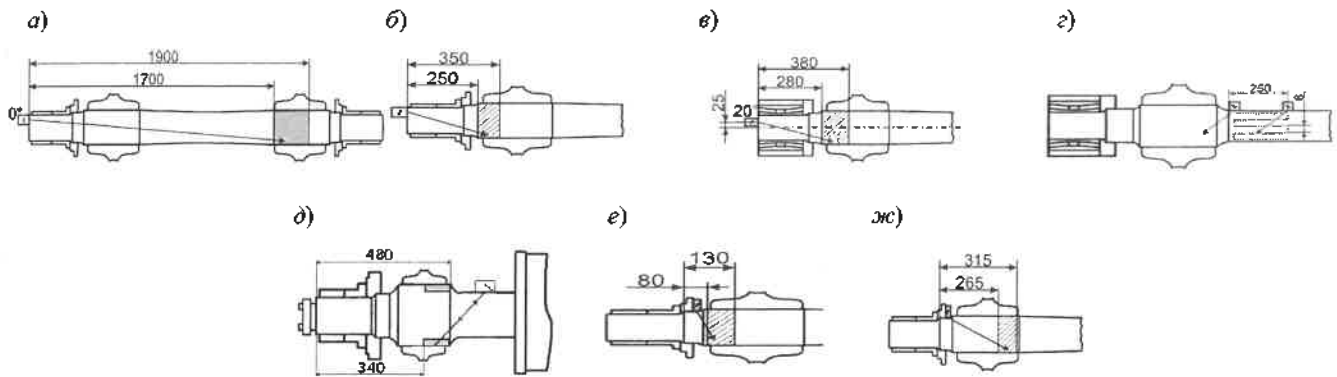


Рисунок 3 – Акустические схемы контроля подступичных частей оси при ТР и СР

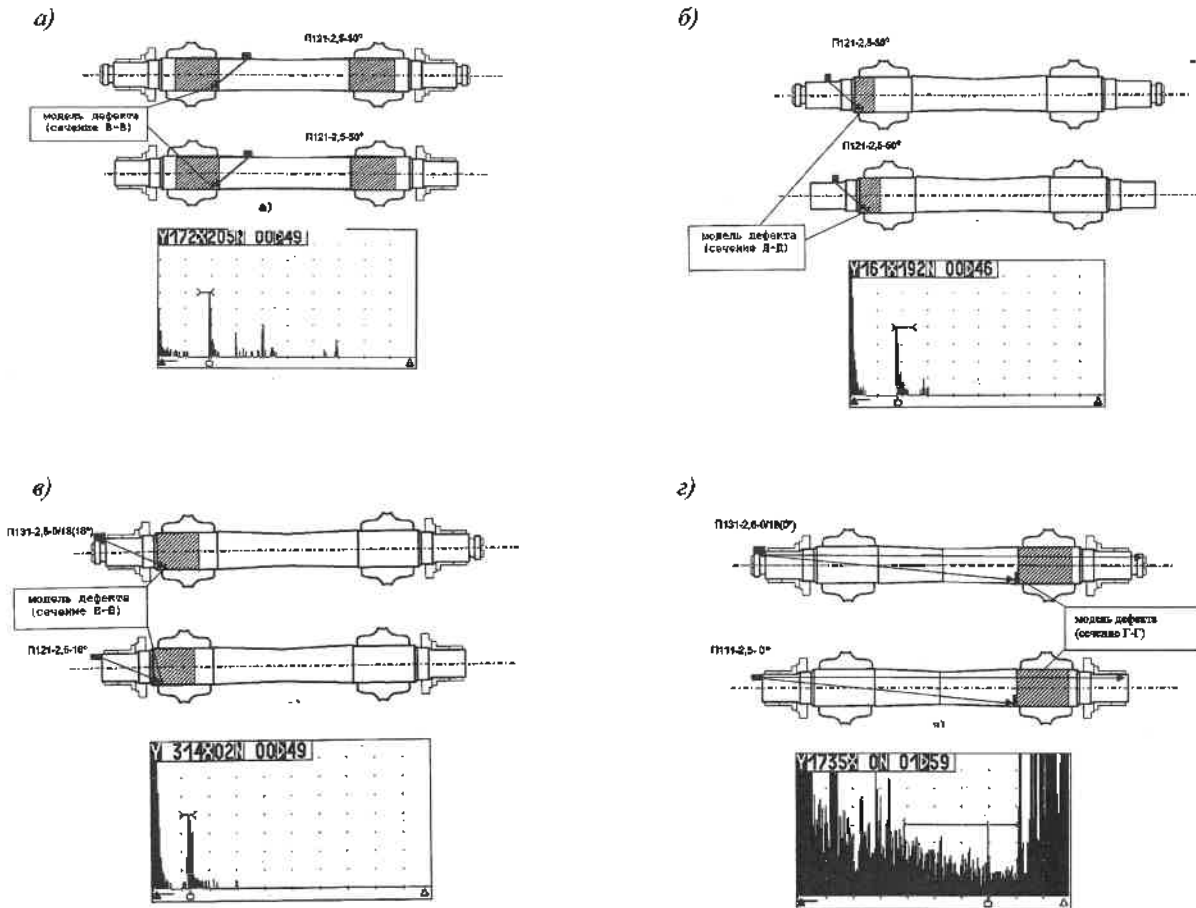


Рисунок 4 – Акустические схемы и типовая дефектограмма контроля подступичных частей оси: со средней части (а); с шейки оси при отсутствии (б) и наличии (в) колец подшипников; с противоположного торца (г)

Для идентификации ложных эхо-сигналов следует считать с экрана дефектоскопа координаты (показания глубиномера) и определить местоположение вызвавшего их отражателя. При этом, опираясь только на амплитуду сигнала на экране дефектоскопа, у дефектоскописта нет возможности оценить размеры дефекта, а также его геометрию. При проведении контроля подступичной части оси используется множество преобразователей: с углами ввода $0 \pm 2, 20 \pm 2, 50 \pm 2^\circ$ при ручном контроле и 19 ± 2 и $55 \pm 2^\circ$ в составе механизированного сканера [3]. Практика показывает, что данные методики контроля с использованием УЗ-дефектоскопов УД2-102 требуют доработок, т. к. выяв-

ление дефектов в подступичной части оси становится весьма сомнительным (по причинам, описанным выше).

В настоящее время выпускаются дефектоскопы, позволяющие не только определить глубину залегания дефекта, но и распознать дефект в виде образов, с описанием его размеров и площади сечения. Получил широкое распространение УЗК с использованием преобразователей на фазированных решетках (ФАР).

Ультразвуковой контроль с использованием ФАР имеет преимущества перед традиционным контролем. Различные углы ввода управляемого многоэлементного датчика увеличивают вероятность обнаружения дефектов.

В общем виде принцип УЗК основан на способности луча отражаться от дефекта в исследуемом материале. Результат традиционного УЗК выводится в виде А-скана. Метод ФАР – это получение множества А-сканов, количество которых зависит от числа преобразователей в фазированном датчике. В дальнейшем это множество А-сканов преобразуется в S-скан, позволяющий визуализировать структуру материала.

Метод ФАР не противоречит принятым стандартам традиционного УЗК, т. к. является одним из способов генерирования УЗ-колебаний.

Преобразователи на ФАР представляют собой объединенное на одной пьезопластине множество одноэлементных ПЭП. По функциональным возможностям и геометрии ФАР делятся на линейные (одномерные) и двумерные. Первые позволяют осуществлять электрическое сканирование в одной плоскости, вторые – в двух ортогональных плоскостях [6].

Фазированные решетки для излучения и приема наклонных к поверхности волн, как правило, располагают на призме так же, как и для наклонного ПЭП. Призма обеспечивает основное значение угла ввода, а с помощью решетки варьируют этот угол в узких пределах.

Для проведения УЗК подступичной части оси с напрессованными цельнокатаными колесами рассчитаем углы ввода УЗ-колебаний в сталь марки ОсВ. Ввод будет осуществляться со средней части оси КП с использованием преобразователя с ФАР. При этом при падении УЗ-колебаний под углом γ к поверхности на границе раздела будет происходить трансформация волн, схема которой показана на рисунке 5.

С учетом вышеизложенного, зная координату x (максимальное расстояние от точки ввода УЗ-колебаний до двугранного угла подступичной части оси колесной пары) (рисунок 6), можно рассчитать углы ввода.

Специфическим вариантом двукратного отражения является отражатель, состоящий из двух поверхностей, образующих двугранный угол. В этом случае лучи отражаются от горизонтальной, затем – от вертикальной поверхности и возвращаются к преобразователю (рисунок 6).

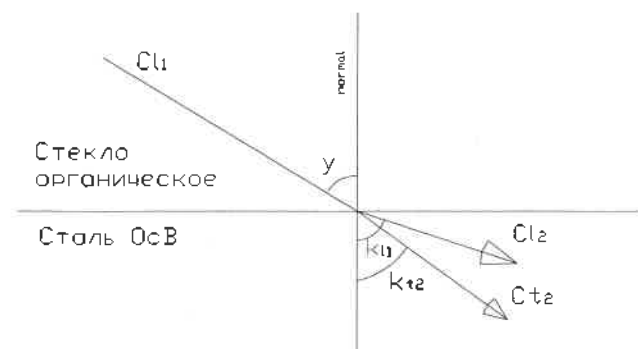


Рисунок 5 – Схема образования преломленных волн в стали ОсВ при падении УЗ-колебаний под углом γ : γ – угол падения; k – угол преломления; C_{11} – скорость падающей продольной волны; C_{12} – скорость преломленной продольной волны; C_{t2} – скорость преломленной трансформированной поперечной волны

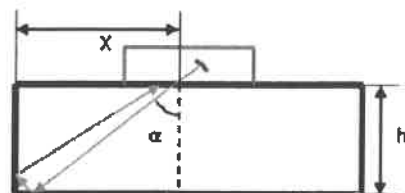


Рисунок 6 – Схема отражения УЗ-колебаний от двугранного угла

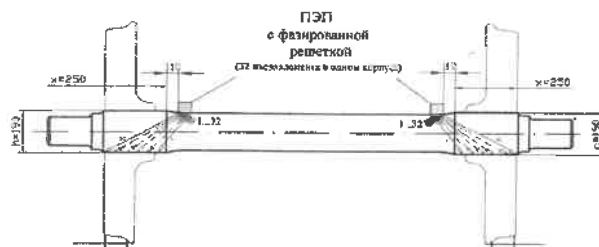


Рисунок 7 – К расчету координаты x при различных углах ввода

Расстояние, преодолеваемое УЗ-колебаниями от точки ввода ПЭП

$$x = h \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где h – диаметр подступичной части оси, мм (в расчетах принимаем 190); α – угол ввода УЗ-колебаний, град.

Из таблицы 3 видно, что подходящие углы ввода УЗ-колебаний (выделены зеленым цветом) для длины подступичной части оси в 250 мм на расстоянии 110 мм от галтельного перехода составят 29–63° с интервалом 1.

Рассчитаем углы падения в призме ПЭП с ФАР при углах ввода 29 и 63° в соответствии с законом Снеллиуса:

$$\sin \gamma / \sin \kappa = C_{11} / C_{12},$$

где γ – угол падения в призме ПЭП с ФАР; κ – угол ввода; C_{11} – скорость УЗ-колебаний в оргстекле (падающая продольная волна); C_{12} – скорость УЗ-колебаний в стали ОсВ (преломленная продольная волна).

При угле ввода 29° в сталь ОсВ.

$$\sin \gamma / \sin 29 = 2670 / 5920.$$

$$\text{Тогда } \sin \gamma = 0,22, \gamma = \arcsin 0,22 = 13^\circ.$$

При угле ввода 63° в сталь ОсВ.

$$\sin \gamma / \sin 63 = 2670 / 5920.$$

$$\text{Тогда } \sin \gamma = 0,40, \gamma = \arcsin 0,40 = 24^\circ.$$

Согласно закону Снеллиуса при первом критическом угле 27° (угол падения в призме) и выше в стали будет отсутствовать преломленная продольная волна и существовать преломленная трансформированная поперечная [7].

В нашем случае углы падения в призме ПЭП с ФАР не превышают 27°. Это говорит о том, что в стали будут одновременно присутствовать преломленная продольная и трансформированная поперечная волны. Поэтому в данном случае можно говорить о высокой чувствительности УЗК к дефектам малого размера (раскрытия).

Расчеты показали, что в нашем случае подходит ПЭП с ФАР не менее чем с 32 элементами и с частотой преобразователя 2,25–4,00 МГц.

Таблица 3 – Расчет координаты x при различных углах ввода УЗ-колебаний

Угол ввода α , град	Координата x (расстояние, преодолеваемое лучом от точки выхода ПЭП)	Угол ввода α , град	Координата x (расстояние, преодолеваемое лучом от точки выхода ПЭП)	Угол ввода α , град	Координата x (расстояние, преодолеваемое лучом от точки выхода ПЭП)
9	30,09	31	114,16	53	252,14
10	33,50	32	118,73	54	261,51
11	36,93	33	123,39	55	271,35
12	40,39	34	128,16	56	281,69
13	43,86	35	133,04	57	292,57
14	47,37	36	138,04	58	304,06
15	50,91	37	143,18	59	316,21
16	54,48	38	148,44	60	329,09
17	58,09	39	153,86	61	342,77
18	61,73	40	159,42	62	357,34
19	65,42	41	165,16	63	372,90
20	69,15	42	171,08	64	389,56
21	72,93	43	177,18	65	407,46
22	76,76	44	183,48	66	426,75
23	80,65	45	190,00	67	447,61
24	84,59	46	196,75	68	470,27
25	88,60	47	203,75	69	494,97
26	92,67	48	211,02	70	522,02
27	96,81	49	218,57	71	551,80
28	101,02	50	226,43	72	584,76
29	105,32	51	234,63	73	621,46
30	109,70	52	243,19	74	662,61

Примечание – Толщина (диаметр) подступичной части 190 мм.

Заключение

Предложенная методика УЗК подступичной части оси с напрессованными цельнокатанными колесами дефектоскопом с ПЭП на основе ФАР в условиях проведения среднего и текущего ремонта КП вагонов позволит в 10–100 раз повысить производительность контроля. При этом дефектоскописту не придется использовать большое количество ПЭП, выбирать нужный вариант метода в зависимости от типа оси, наличия тор-мозных дисков, редуктора генератора и т. д.

Применение ФАР для подступичной части оси колесной пары позволит, в первую очередь, повысить качество УЗК.

Список литературы

1 РД ВНИИЖТ 27.05.01. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар вагонов с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524 мм), 2017. – 242 с.

Получено 13.09.2022

A. G. Otoka, O. V. Kholodilov. Ultrasonic testing of the bearing part of the axis of the wheels pair using phased array transducers.

The article analyzes the method of ultrasonic inspection of the approach part of the axle with pressed solid-rolled wheels with a flaw detector UD2-102 in accordance with technical regulatory legal acts. The problem of traditional ultrasonic control of the approach part of the wheel set axle during current and average repairs is described. The angles of ultrasound input are calculated, at which the entire approach part of the wheel set axis with pressed solid-rolled wheels will be controlled in one revolution by a phased array converter. Converters for the flaw detector based on a phased array have been selected for the calculated angles of entry into the control object.

2 Богданов, А. Ф. Эксплуатация и ремонт колесных пар вагонов / А. Ф. Богданов, В. Г. Чурсин. – М. : Транспорт, 1985. – 270 с.

3 ПР НК В.2–2013. Правила неразрушающего контроля деталей и составных частей колесных пар вагонов при ремонте. Специальные требования : утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества от 19–20 ноября 2013 г. № 59. – Кишинев, 2013. – 88 с.

4 Инструкция по ультразвуковому контролю колесных пар вагонов программируемым дефектоскопом «ПЕЛЕНГ» УД2-102 – МПС РФ, 2004.

5 Борисков, Ю. Введение в технологию фазированных решеток / Ю. Борисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.pergam.by/press/blogs/uz-control.htm> – Дата доступа : 24.06.2022.

6 Научно-технический центр // Эксперт. Метод фазированной решетки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ntcexpert.ru>. – Дата доступа : 24.06.2022.

7 Неразрушающий контроль : справ. : в 3 т. / под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 3. Ультразвуковой контроль / И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. – М. : Машиностроение, 2008. – 864 с.

УДК 629.4.023.1

П. М. АФАНАСЬКОВ, Е. Н. КОНОВАЛОВ, кандидат технических наук, В. В. КОМИССАРОВ, кандидат технических наук, А. К. ГОЛОВНИЧ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. В. ПУТЯТО, доктор технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого; А. В. ШИЛОВИЧ, доктор технических наук

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА С УЧЕТОМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В рамках реализации процедуры оценки остаточного ресурса несущих конструкций вагонов метрополитена после выработки срока службы выполнено обследование их технического состояния и получены значения остаточных толщин конструктивных элементов. Установлено, что коррозионный износ не превышает 7 % от номинальных значений. Разработаны конечно-элементные модели металлоконструкций вагонов моделей 81-717 (головной вагон) и 81-714 (промежуточный вагон). Выполнен комплекс расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций головного и промежуточного вагона на нагрузки, регламентированные актуальной нормативной документацией. Установлено, что несущие конструкции вагонов метрополитена соответствуют установленным требованиям прочности.

Введение. Эксплуатация поездов Минского метрополитена началась с 29 июня 1984 года, по одной линии. Сегодня Минский метрополитен насчитывает три линии, общая протяженность которых составляет 40,8 км с 33 станциями. Инвентарный парк вагонов составляет 390 единиц, из которых сформировано 73 пятивагонных и 6 четырехвагонных составов. Перспективный план развития предполагает, что метрополитен будет состоять из четырех линий, общей протяженностью 87,9 км, и насчитывать 64 станции.

Подвижной состав Минского метрополитена преимущественно состоит из вагонов моделей 81-717 (головной) и 81-714 (промежуточный), которые также эксплуатируются или же эксплуатировались во многих странах мира в России, Украине, Беларуси, Азербайджане, Грузии, Польше, Чехии и др. (рисунок 1). Срок

службы указанных моделей вагонов, назначенный заводом-изготовителем, составляет 31 год, и у ряда единиц подвижного состава истек к настоящему времени.

Установление фактического технического состояния вагонов метрополитена выполнялось методами неразрушающего контроля (визуальный контроль и ультразвуковая толщинометрия). С целью структуризации результатов обследования технического состояния разработано два комплекта диагностических протоколов (для головного вагона модели 81-717 и промежуточного модели 81-714), включающие основные конструктивные элементы металлоконструкции вагонов: рама, боковые стены, торцевые стены, крыша. Измерение остаточной толщины элементов выполнялось на ремонтных позициях после зачистки мест под контрольные точки.



Рисунок 1 – Составы на ремонтных позициях

По результатам обследования технического состояния металлоконструкций 68 вагонов установлено, что коррозионный износ не превышает 7 % от номинальных значений конструктивных элементов. В то же время визуальный контроль несущих конструкций позволил выявить ряд конструктивных областей и элементов, для которых характерно появление трещин [1]:

- зона крепления сцепного устройства на хребтовой балке (рисунок 2, а);
- вертикальные листы шкворневой балки по границам отверстий (рисунок 2, б);
- кронштейны крепления подвески автосцепки;
- вертикальные стенки продольных балок, за шкворневой балкой.

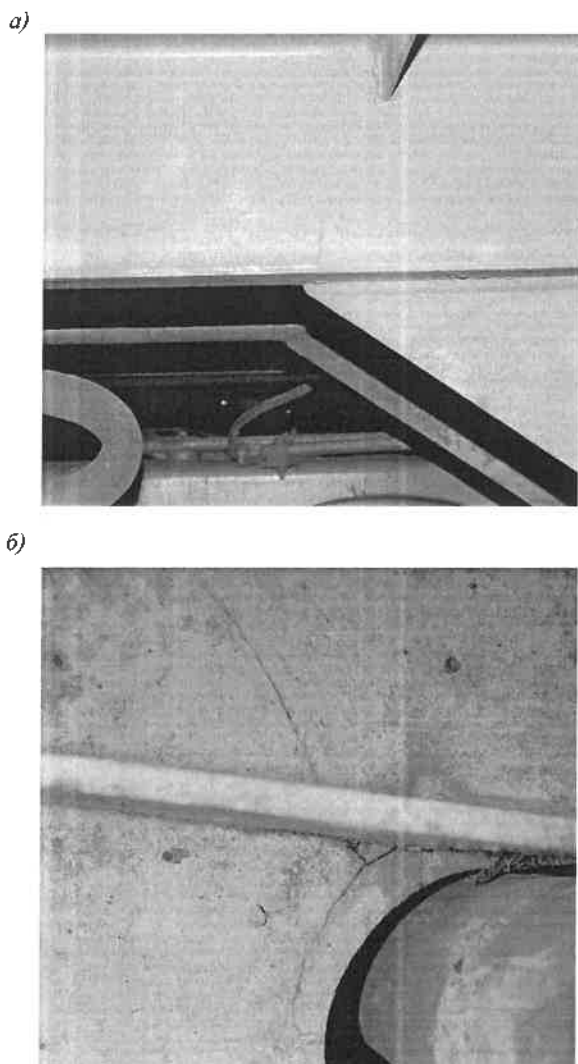


Рисунок 2 – Эксплуатационные повреждения элементов несущих конструкций вагонов:

а – трещина в хребтовой балке в районе крепления сцепного устройства; б – трещина в вертикальном листе шкворневой балки вагона

Полученные при ультразвуковой толщинометрии данные легли в основу разработки конечно-элементных моделей исследуемых вагонов для оценки их прочности с учетом выявленного коррозионного износа.

Для углубленного и детального исследования зон, подверженных возникновению трещин, было принято решение провести дополнительную серию расчетов с пошаговым уменьшением толщины металла шкворневых и хребтовых балок в данных зонах на 5, 10 и 15 %.

Учитывая практику эксплуатации (вагоны курсируют по одному маршруту) и ремонта вагонов (обслуживаются в депо приписки), а также отсутствие отказов металлоконструкций вагонов, есть основания предполагать, что ресурс их несущих конструкций не исчерпан.

Процедура оценки остаточного ресурса несущих конструкций нашла широкое применение для железнодорожного подвижного состава в целом [2–5], а также и вагонов метрополитена [6]. Одним из этапов этой работы является определение технического состояния металлоконструкций вагонов после длительной эксплуатации, а также установление соответствия их прочности требованиям актуальной нормативной документации, что и явилось целью настоящей статьи.

Конечно-элементные модели на основе комплектов конструкторской документации на вагоны метрополитена моделей 81-717 и 81-714 разработаны с учетом результатов технического обследования и реального физического состояния наихудших представителей.

Кинематические граничные условия включают в себя ограничение степеней свободы в местах крепления упоров сцепного устройства и пятников. При подготовке модели учтены также места крепления подвагонного оборудования и массы перевозимых пассажиров. Силовые граничные условия для оценки прочности приняты в соответствии с нормативными требованиями [7].

Вертикальные силы состоят из собственной силы тяжести полностью оборудованного вагона и силы тяжести пассажиров при максимальной населенности. Расчетная масса пассажира с багажом принималась равной 70 кг. Максимальное количество пассажиров в вагоне определяется количеством сидящих пассажиров, а также стоящих пассажиров из расчета 10 человек на 1 м² свободной от сидений площади, за исключением участков шириной 100 мм от края сиденья.

Динамические составляющие вертикальной силы от колебаний кузова на рессорном подвешивании определялись умножением силы тяжести кузова на расчетное значение показателя отношения динамической составляющей вертикальной силы к максимальной статической нагрузке во второй ступени рессорного подвешивания, который равен 0,2.

Вертикальная составляющая (добавка) на кузов от продольной силы инерции кузова определена по формуле

$$\Delta P = P_{\text{инк}} \frac{h_k}{2L}, \quad (1)$$

где $P_{\text{инк}}$ – сила инерции массы брутто кузова; h_k – расстояние от центра тяжести кузова до плоскости опор на тележку; $2L$ – база кузова.

Центробежная сила для кузова определена исходя из непогашенного ускорения, равного 0,7 м/с².

Сила давления ветра получена из расчета удельного давления ветра на боковую проекцию кузова, равного 300 Н/м².

Силы взаимодействия между вагонами прикладываются по оси сцепления устройства по двум расчетным схемам: с обоих концов вагона, с одного конца. Последняя уравновешена силами инерции вагона.

Продольные силы, действующие на кузов:

- для I режима: усилие сжатия 0,4 МН (для консольной части 0,5 МН); усилие растяжения 0,3 МН;
- для II режима: усилие сжатия 0,12 МН; усилие растяжения 0,12 МН.

Силы инерции, действующие на отдельные узлы и элементы вагона, приложены к центрам тяжести их масс и определены для II режима по формуле

$$P_{\text{ин}} = F_A \frac{m_i}{m_k}, \quad (2)$$

где F_A – продольное усилие, обусловленное силами тяги или торможения; m_i – масса узла; m_k – масса вагона.

Инерционные силы для расчета узлов связи кузова с тележкой определялись исходя из ускорения массы те-

лежки вдоль оси пути равного 2g для моторных и 4g для немоторных тележек.

Результаты оценки прочности при фактическом состоянии вагонов. Выполнен комплекс расчетов металлоконструкций головного и промежуточного вагонов для описанных режимов нагружения. На рисунке 3, а приведено распределение эквивалентных напряжений по Мизесу для головного вагона при действии нагрузок,

характерных для I режима нагружения при действии растягивающих продольных сил. На рисунке 3, б приведены фрагменты распределения эквивалентных напряжений при II режиме нагружения при сжатии.

На рисунке 3 приведены диаграммы максимальных напряжений с результатами максимальных эквивалентных напряжений по конструктивным элементам головного вагона для обоих режимов нагружения.

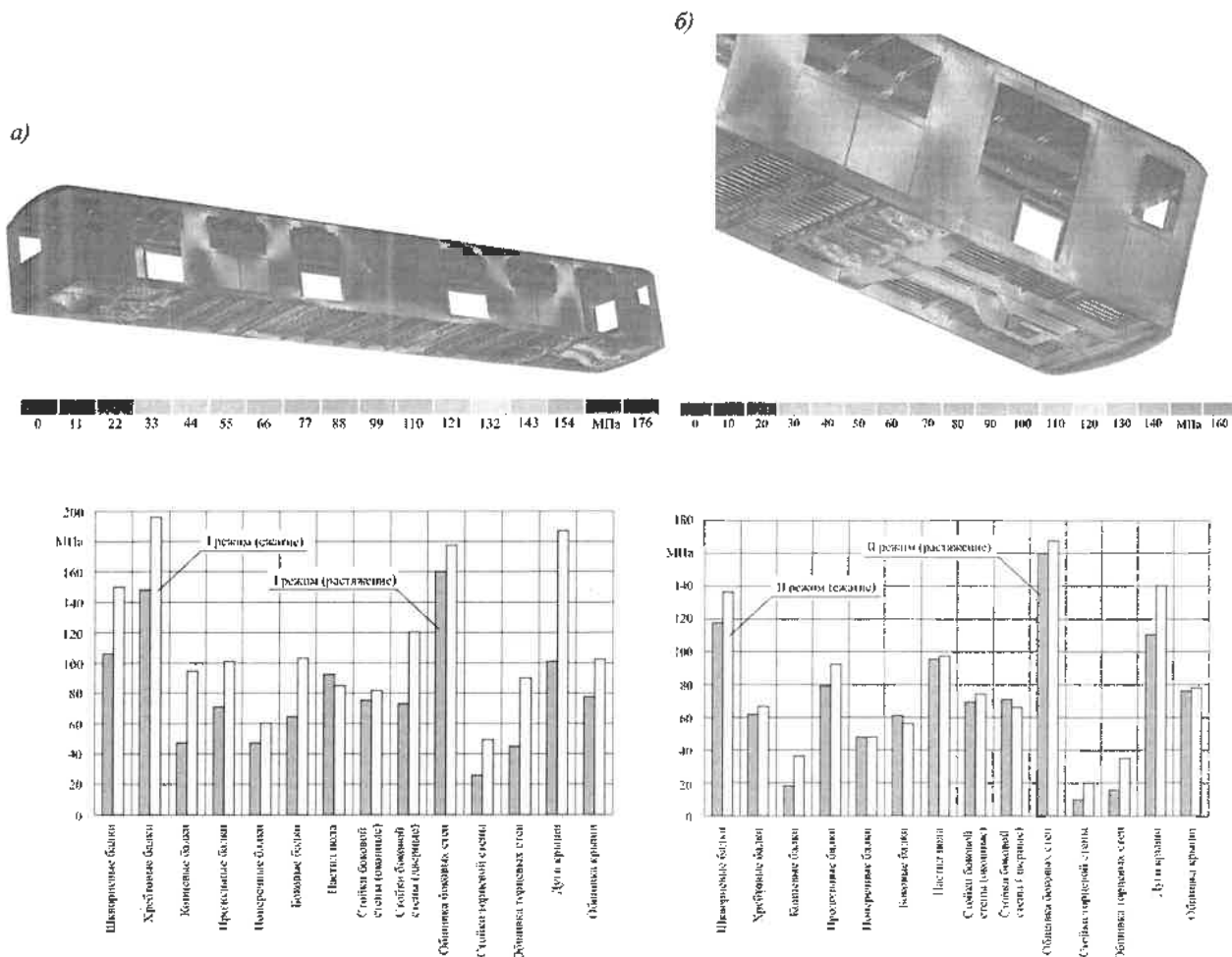


Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений в кузове головного вагона и диаграммы максимальных напряжений по конструктивным элементам головного вагона при I (а) и II (б) расчетных режимах нагружения

Из рисунка 3, а видно, что наибольшие напряжения возникают в хребтовой балке, причем при действии продольных сжимающих нагрузок при I режиме нагружения они близки к допускаемым. Наибольшие напряжения в элементах шкворневой балки не превышают 150 МПа, причем наблюдается их концентрация вблизи границ отверстий на обоих вертикальных листах. В элементах боковых балок напряжения не превышают 48 % от допускаемых значений. В обшивке боковой стены максимальные напряжения составляют 177,5 МПа. Уровень напряжений в дугах крыши не превышает 87 % от допускаемого значения.

Анализ диаграмм (см. рисунок 3, б) показал, что наибольшие напряжения в несущей металлоконструкции, возникают в шкворневых балках, где их значения составили 88 % от допускаемых. Следует отметить, что напряжения концентрируются на внутреннем листе в зоне сочленения с продольными балками и местах расположения отверстий. Наибольшие напряжения в элементах хребтовой балки не превышают 66,65 МПа.

В элементах продольных балок напряжения не превышают 50 % от допускаемых значений. В элементах каркаса боковой стены максимальные напряжения возникают в дверных стойках и составляют 70,95 МПа. Уровень напряжений в обшивке крыши не превышает 39 % от допускаемого значения. Уровень напряжений в дугах крыши не превышает 90 % от допускаемого.

Аналогичный комплекс расчетов выполнен для промежуточного вагона. На рисунке 4 приведены сводные диаграммы с результатами максимальных эквивалентных напряжений по конструктивным элементам промежуточного вагона для обоих режимов нагружения.

Из диаграмм на рисунке 4, а видно, что наибольшие напряжения при первом режиме возникают в хребтовой балке, где расчетные напряжения составили 97 % от допускаемого значения. Наибольшие напряжения в элементах шкворневой балки не превышают 144 МПа и, также как и в головном вагоне, сконцентрированы

к границам отверстий на обоих вертикальных листах. В элементах боковых балок напряжения не превышают 48 % от допускаемых значений. В элементах обшивки боковой стены максимальные напряжения составляют 177,5 МПа. Уровень напряжений в дугах крыши не превышает 86 % от допускаемого значения.

Анализ диаграмм (рисунок 4, б) показал, что в элементах несущей конструкции вагона наибольшие напряжения возникают в шкворневых балках, где их значения составили 87 % от допускаемых. Напряжения концентрируются на внутреннем листе в зоне сочленения с продольными балками и местах расположения отверстий. Напряженное состояние хребтовой балки

промежуточного вагона практически не отличается от напряженного состояния балки головного вагона. В элементах продольных балок напряжения не превышают 46 % от допускаемых значений. В элементах каркаса боковой стены максимальные напряжения возникают в дверных стойках и составляют 68 МПа. Уровень напряжений в обшивке крыши не превышает 36 % от допускаемого значения.

В целом можно отметить, что несущие конструкции вагонов моделей 81-717 (головной вагон) и 81-714 (промежуточный вагон) после их длительной эксплуатации соответствуют требованиям прочности, установленным в [7, 8].

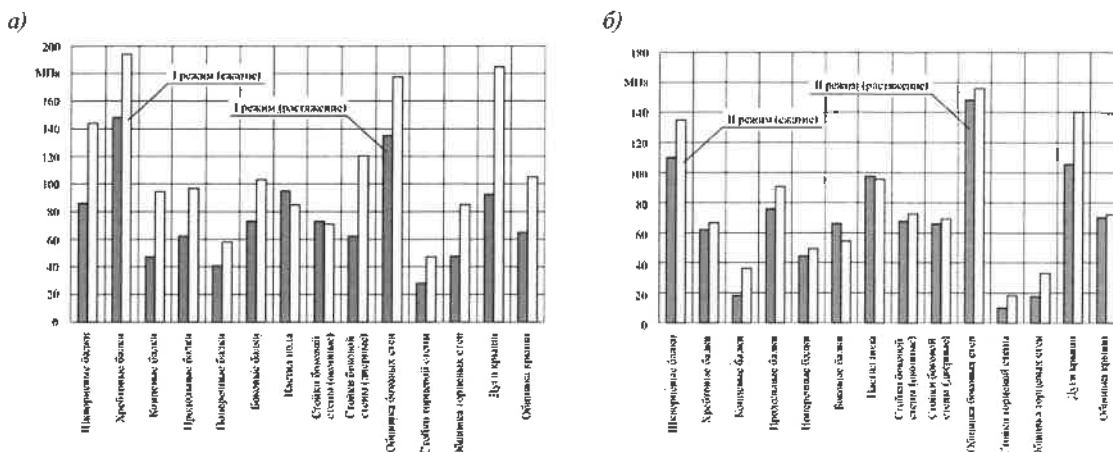


Рисунок 4 – Диаграммы максимальных напряжений по конструктивным элементам промежуточного вагона при I (а) и II (б) расчетных режимах нагружения

На примере промежуточного вагона модели 81-714 продемонстрируем комплекс дополнительных расчетов, проведенных с учетом описанных выше режимов нагружения. На рисунке 5, а приведены фрагменты

распределения эквивалентных напряжений по Мизесу при действии нагрузок, характерных для I режима нагружения при действии сжимающих продольных сил, с учетом десятипроцентного уменьшения толщины металла.

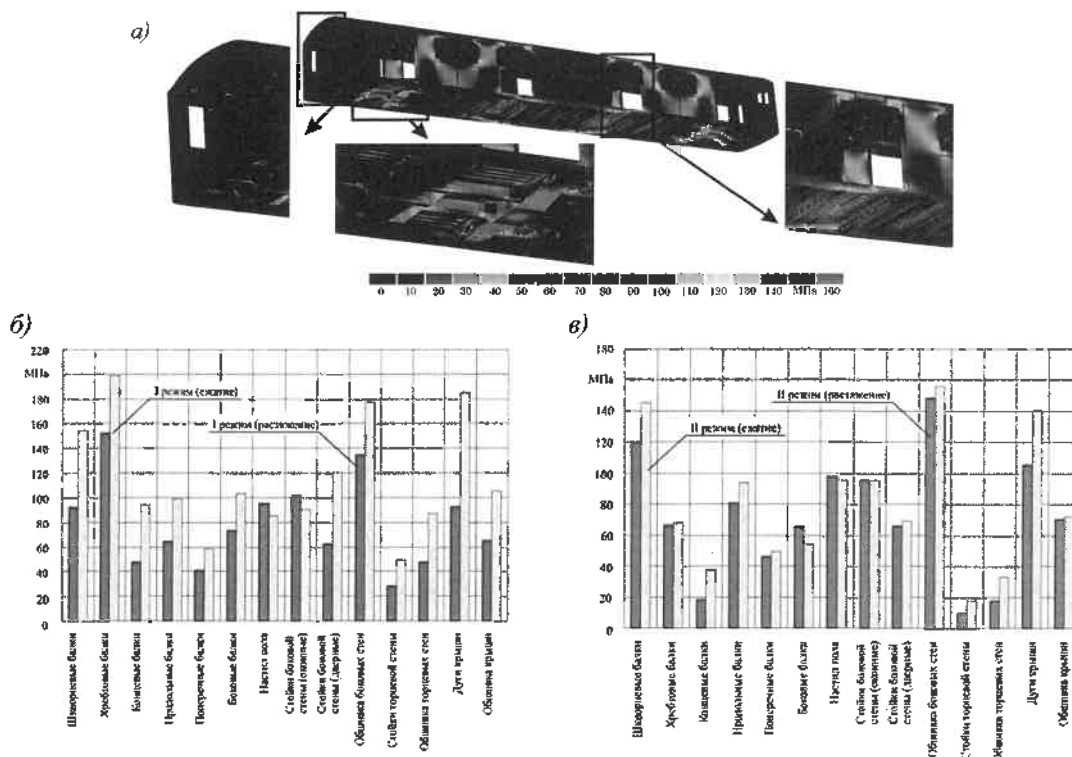


Рисунок 5 – Распределение эквивалентных напряжений в кузове вагона и диаграммы максимальных напряжений по конструктивным элементам промежуточного вагона: а – общий вид; б – при I расчетном режиме нагружения; в – при II расчетном режиме

На рисунке 5, б, в приведены диаграммы с результатами максимальных эквивалентных напряжений по конструктивным элементам промежуточного вагона для I и II режимов нагружения с учетом уменьшения толщины металла на 10 %.

Анализируя диаграммы (см. рисунки 4 и 5, б, в) видим, что с уменьшением толщины металла в элементах хребтовых и шкворневых балок уровень напряжений в них возрастает. При I расчетном режиме нагружения максимальные напряжения возникают в элементах хребтовых балок при действии продольных сжимающих нагрузок и составили 197 МПа, при допустимых напряжениях 200 МПа. В элементах шкворневых балок наибольшие напряжения также имеют место при сжа-

тии и составили 84 % от допускаемых. При II расчетном режиме нагружения картина распределения напряжений в основных элементах металлоконструкции изменяется, и максимальные эквивалентные напряжения концентрируются в вертикальных листах шкворневых балок, при сжатии они достигают значения в 146 МПа, что составляет 94 % от допускаемых напряжений. В элементах хребтовых балок уровень напряжений не превышает 68 МПа.

Динамика изменения коэффициента запаса прочности по допускаемым напряжениям от пошагового уменьшения толщины металла для основных несущих элементов кузова вагона метрополитена (хребтовых и шкворневых балок) представлена на рисунке 6.

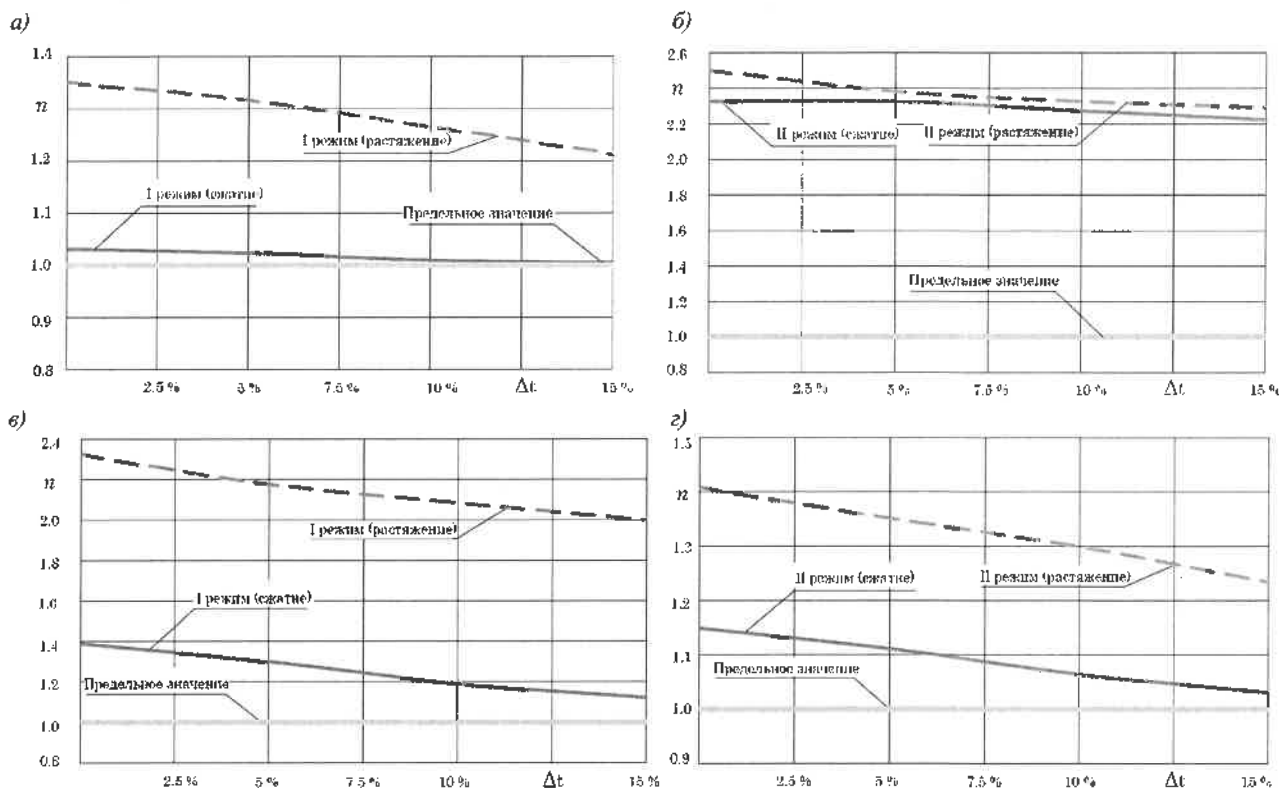


Рисунок 6 – Графики зависимости: хребтовые балки при I (а), II (б); шкворневые балки при I (в) и II (з) режимах нагружения

Заключение.

1 В рамках реализации процедуры оценки остаточного ресурса несущих конструкций вагонов метрополитена после выработки срока службы выполнено обследование их технического состояния и получены значения остаточных толщин конструктивных элементов. Установлено, что коррозионный износ в целом не превышает 7 % от номинальных значений.

2 Разработаны конечно-элементные модели металлоконструкций вагонов метрополитена моделей 81-717 (головной вагон) и 81-714 (промежуточный вагон), позволяющие производить оценку прочности конструкции индивидуально для каждого вагона с учетом его фактического коррозионного износа.

3 Выполнен комплекс расчетов напряженно-деформированного состояния конструкций головного и промежуточного вагона при фактическом техническом состоянии на нагрузки, регламентированные актуальной нормативной документацией. Установлено, что с учетом выявленных значений коррозионного износа

несущие конструкции вагонов метрополитена соответствуют требованиям прочности.

4 Выполнена серия расчетов на прочность с учетом прогнозируемого технического состояния при назначении нового срока службы. Установлено, что в паре областей значения напряжений при 15 % утонении приближаются к предельно допустимым значениям.

5 Показана динамика изменения коэффициента запаса прочности по допускаемым напряжениям от пошагового уменьшения толщины металла для хребтовых и шкворневых балок, которые являются одними из основных несущих элементов кузова вагона метрополитена.

Список литературы

- 1 Афанасьев, П. М. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния несущих конструкций вагонов метрополитена по критерию коррозионного износа / П. М. Афанасьев, В. В. Белогуб, Л. В. Огородников // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 96–97.
- 2 Оценка остаточного ресурса несущей конструкции вагона пассажирского после длительной эксплуатации / А. В. Путько

[и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 2(41). – С. 42–45.

3 **Voiko, A.** Assessment of remaining resource of tank wagons with expired life time. Summary of Doctoral Dissertation / A. Voiko // Engineering sciences. – 2013. – 39 p.

4 **Бороненко, Ю. П.** О корректировке «Положения о продлении срока службы грузовых вагонов, курсирующих в международном сообщении» / Ю. П. Бороненко, А. В. Третьяков, Е. А. Жаровой // Евразия Вести. – 2012. – № X. – С. 13–14.

5 **Afanaskou, P.** Estimation of the Residual Resource of a Dumping Wagon for Transportation of Bulky Cargo after Long-

term Operation / P. Afanaskou, R. Chamin // Transport means 2021. – 2021. – Part I. – P. 402–405.

6 **Борисов, С. В.** Прогнозирование остаточного ресурса и продление срока службы вагонов метрополитена / дис. ... канд. техн. наук (05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация) / С. В. Борисов // ПГУПС. – 2006. – 168 с.

7 **Нормы для проектирования, расчета и оценки прочности и динамики механической части вагонов метрополитена колеи 1520 мм : СТО СДС ОПЖТ-05.** – М., 2010. – 120 с.

8 **Положение о продлении срока службы вагонов метрополитена.** – Минск, 2015. – 7 с.

Получено 31.10.2022

P. M. Afanaskou, Ye. N. Kanavalau, V. V. Komissarov, A. K. Golovnich, A. V. Putsiata, A. V. Shilovich. Assessment of the strength of bearing structures of metro cars with prediction of their technical condition.

As part of the implementation of the procedure for assessing the residual life of the supporting structures of subway cars after the end of their service life, a survey of their technical condition was carried out and the values of the residual thicknesses of structural elements were obtained. It has been established that corrosive wear does not exceed 7 % of the nominal values. Finite element models of metal structures of cars of models 81-717 (first car) and 81-714 (intermediate car) have been developed. A set of calculations of the stress-strain state of the structures of the head and intermediate car for loads regulated by the current regulatory documentation has been completed. It has been established that the supporting structures of subway cars meet the established strength requirements.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 340.130.53:656.2

Ю. И. КУЛАЖЕНКО, доктор физико-математических наук, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**СТРУКТУРА ЗАКОНА «О ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»
НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЫ
АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Функционирование железнодорожного транспорта рассматривается как сложная совокупность видов деятельности, которая осуществляется на инфраструктуре больших масштабов, обладает большой размерностью и множеством взаимосвязей между участниками перевозочного процесса. Развитие норм права в области железнодорожного транспорта рассмотрено на основе фундаментальных научных подходов, отражающих объективное состояние перевозки грузов и пассажиров, а также тенденции развития транспорта. Предложено использование метода анализа структуры закона на основе организационно-функциональной матрицы, которая позволяет соединить нормы права в одно целое путем их систематизации по существенным свойствам области правового регулирования и логической функциональной взаимосвязи по объекту и предмету регулирования. Для построения матрицы новой модели закона «О железнодорожном транспорте» установлены признаки правовых параметров: свойства функционирования и общественные отношения. Определены базовые принципы функционала закона на основе использования организационно-функциональной матрицы. Установлены области отраслевого регулирования железнодорожного права и их функционал: общесистемного, общефункционального и общеспециального отраслевого характера.

Нормы права, устанавливаемые в законе «О железнодорожном транспорте» (далее – Закон), формируют системные положения о функционировании железнодорожного транспорта и прежде всего оказании услуг, выполнении работ, которые возникают в процессе организации, обеспечения и осуществления перевозок. Сложность нормотворчества при обновлении Закона заключается в том, что необходимо учесть особенности железнодорожного транспорта как системы большой размерности с множеством взаимосвязей между участниками перевозочного процесса, которые в процессе оказания услуг (выполнении работ) находятся в производственных отношениях между собой, потребителями услуг (работ) [1–3].

Общественные отношения, которые регламентируются в Законе, отражают разные области функционирования и определяют виды и способы осуществления транспортной деятельности. Каждая область функционирования обладает устойчивыми признаками, которые характеризуют, с одной стороны, виды деятельности, ответственные процессы, а с другой – раскрывают предметную сущность субъектов и объектов правового регулирования, средств реализации транспортной деятельности [4–7].

Железнодорожный транспортный комплекс Республики Беларусь (РБ), обладая признаками большой системы с устойчивыми отношениями между множеством участников транспортной деятельности, должен в правовом нормотворчестве регламентироваться на основе системных принципов анализа и моделирования [4, 8].

Развитие норм права в области железнодорожного транспорта должно осуществляться на основе фундаментальных научных подходов, отражающих объективное состояние транспортной деятельности и тенденций развития транспорта в социально-экономической сфере государства [9–12].

На этапе анализа, определения направлений развития положений Закона, оценки их эффективности важно

использование *общих методов исследования* (обобщение, сравнение, моделирование) и других, которые позволяют определить теоретическую значимость положений, установить общие принципы и особенности функционирования железнодорожного транспорта, практическое применение положений [4]. Метод моделирования позволяет оценить развитие положений закона с учетом установленных условий и тенденций потенциальных изменений на рынке транспортных услуг и возможных инноваций в транспортной деятельности.

На этапе формализации и конструирования положений Закона важно использовать *общенаучные методы*: диалектический (анализ и синтез), логический, системный, функциональный, системно-структурный и другие, которые позволяют установить взаимосвязи отдельных элементов организационной системы, процессов транспортной деятельности, исследовать взаимосвязи факторов, их влияние на целевые показатели транспортной деятельности, функции государственных институтов и социально-экономических отношений при реализации транспортной деятельности, потребности граждан, грузоотправителей, грузополучателей, организаций железнодорожного транспорта, определить механизм государственного правового регулирования и взаимодействия иерархической структуры в правовом поле.

Для оценки общественной значимости положений Закона необходимо использовать *междисциплинарные методы* (социологический, аксиологический, синергетический и другие), которые позволяют определить важность изменения общественных явлений и процессов в транспортной деятельности и жизни общества, значимость отдельных норм права для жизни людей исходя из ценностных ориентиров общества, их регулятивные функции, общесистемный эффект развития норм права в области транспорта на экономику государства и жизнедеятельность граждан.

При формировании объективных, формально определенных норм права и отношений в области же-

лезнодорожного транспорта необходимо применять *специальные правовые методы* (сравнительные, формальные, социально-правового эксперимента, моделирования), которые позволяют наиболее точно определить предметную сущность положений функционирования на железнодорожном транспорте.

Исследования правовой среды в области железнодорожного транспорта, определяющие функционирование как предмет Закона, должны включать функциональный, организационный и структурный анализ. Одним из методов (инструментов) такого подхода может быть применение анализа структуры построения норм права в Законе на основе **организационно-функциональной матрицы (ОФМ)**, определяющей систематизированное множество отношений через функционал положений и норм права.

Анализ структуры Закона на основе построения ОФМ позволяет соединить нормы права в одно целое на основе их первичной систематизации по существенным свойствам области правового регулирования и логической функциональной взаимосвязи по объекту и предмету регулирования [4].

В системе функционирования железнодорожного транспорта использование ОФМ при структурировании норм права Закона рассматривается как один из способов достижения следующих целевых результатов: повысить эффективность взаимодействия организаций железнодорожного транспорта исходя из требований полноты и качества обеспечения потребности перевозок; создать условия для эффективного функционирования организаций железнодорожного транспорта; обеспечить развитие транспорта в экономике государства.

В системе нормотворчества использование ОФМ структурирования положений Закона рассматривается как способ достижения следующих целевых результатов: создание структурно-функциональной основы для регулирования транспортной деятельности нормами

права; выработка согласованных норм, которые соответствуют целям, задачам и принципам развития транспорта; нормы права должны иметь гарантии (социальные, экономические, трудовые и т. п.) посредством установленного механизма реализации [6, 13, 14].

Матричная модель анализа и построения положений закона «О железнодорожном транспорте», как и любая модель нормативно-правового акта (НПА), является обобщенным представлением общественных отношений с определенным уровнем агрегирования наиболее ответственных положений функционирования транспортного комплекса РФ и должна отражать ретроспективное накопление правовых знаний и их применение на транспорте, обладать свойством давать правовое толкование по вопросам, признанным существенными для организации работы предприятий железнодорожного транспорта и оказания услуг (выполнения работ) [8, 9, 15].

Следует различать общую модель Закона, отражающую отраслевые области права при функционировании железнодорожного транспорта, и ее составные подсистемы – матрицы положений и норм, раскрывающие предметную сущность отношений при осуществлении функций транспортной деятельности.

Макроматрица модели Закона. Общую модель Закона «О железнодорожном транспорте» можно рассматривать как интегральный свод структурированных норм права и представить их в виде макроматрицы по основополагающим общественным отношениям и свойствам функционирования транспорта.

Макроматрица модели Закона позволяет установить главы и составить свод статей, раскрывающих предметную сущность норм, регламентирующих эти отношения. Схематично эту форму построения норм права можно отобразить в виде общей организационно-функциональной матрицы или простой решетки (рисунок 1).

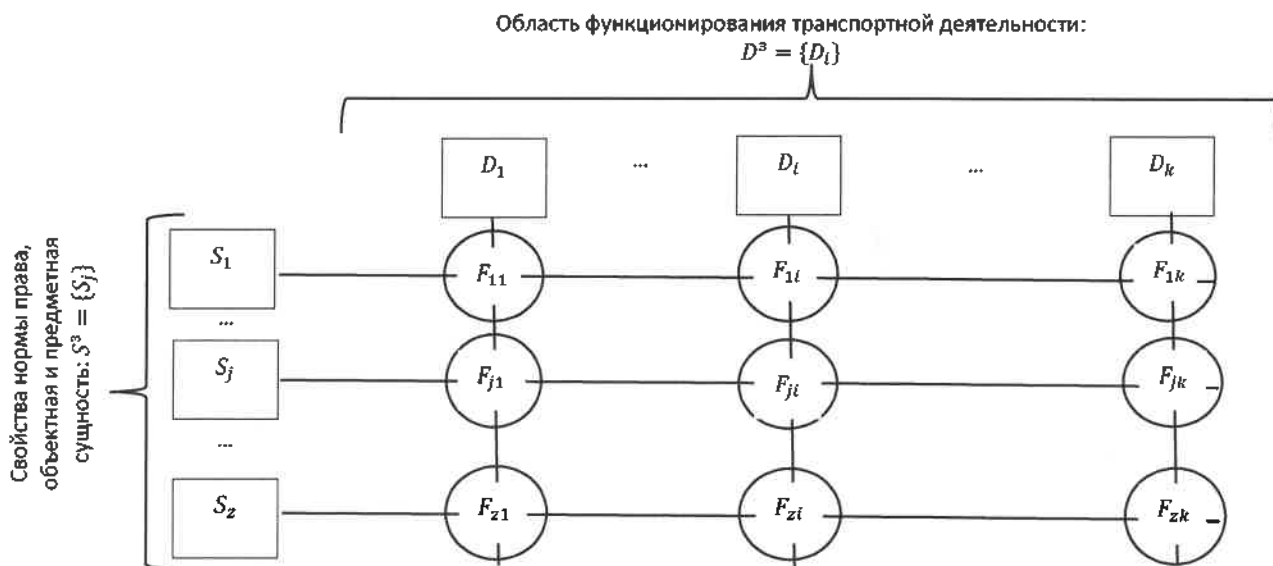


Рисунок 1 – Структура макроматрицы для моделирования положений закона «О железнодорожном транспорте»

Исходным элементом матрицы является норма права, формально устанавливающая необходимое правило функционирования железнодорожного транспорта, га-

рантируемое государством которое выступает регулятором общественных отношений [6, 13]. Положения Закона отражают требуемый уровень прав и обязанно-

стей участников перевозочного процесса и представляют собой объективное право, а их совокупность регулирует определённый круг общественных отношений – железнодорожное право как часть транспортного права.

Использование подхода на основе матричной структуризации положений Закона можно рассматривать как технологию нормотворчества, основанную на построении моделей функционирования организаций железнодорожного транспорта и взаимодействия их с внешней средой при оказании услуг (выполнении работ).

Последовательный структурно-функциональный анализ модели Закона путем декомпозиции железнодорожного права по их признакам (сверху – вниз) позволяет сделать знания о деятельности организаций железнодорожного транспорта и их отношениях более полными. Однако следует учитывать ограничения декомпозиции положений Закона, которые не позволяют усложнить Закон и не повторять (излишне дублировать без развития сущности нормы права) нормы права в иных актах законодательства в области железнодорожного транспорта [8, 16].

Для построения матрицы модели закона «О железнодорожном транспорте» необходимо установить признаки правовых параметров ОФМ:

- свойства функционирования организаций железнодорожного транспорта;
- общественные отношения, которые устанавливают свойства транспортной деятельности (услуг, работ) и регулируют отношения участников перевозочного процесса при оказании услуг (выполнении работ).

Структура модели закона Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» выстраивается исходя из постулата, что Закон является источником железнодорожного права в Республике Беларусь.

Базовые принципы функционала закона РБ «О железнодорожном транспорте» определяются исходя из концептуальных подходов и композиции ОФМ.

Закон в нормативно-правовом поле должен определять и регламентировать системные основы отношений, связанные с железнодорожными перевозками, осуществляемыми на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования.

Предметом положений Закона являются общественные отношения между государством, организациями железнодорожного транспорта и непосредственными потребителями услуг перевозки (гражданами, клиентами), возникающие при оказании услуг с использованием железнодорожного транспорта общего и необщего пользования для осуществления перевозочного процесса.

Предмет и методы правового регулирования в Законе определяются нормами гражданского, административного, трудового законодательства и должны отражать правовые особенности, характерные для железнодорожного транспорта как составной части транспортной деятельности в Республике Беларусь.

Закон должен отражать правовые и иные отношения с учетом иных источников железнодорожного права, в том числе Устава железнодорожного транспорта, Правил перевозок грузов, Правил перевозок пассажиров и других.

Закон включает в себя государственно-организационные отношения, регулируемые административным

правом, а также имущественные и договорные отношения, регулируемые гражданским кодексом.

При осуществлении процесса транспортировки груза железный транспорт вступает в гражданско-правовые отношения с контрагентами по договору перевозки грузовладельцами. Правовая регламентация перевозочных отношений осуществляется посредством принятия норм, устанавливающих порядок и условия перевозок, права и обязанности перевозчиков и грузовладельцев, их ответственность и т. д.

Нормы, установленные в Законе, действуют в пределах государства, однако организации железнодорожного транспорта участвуют и в международных перевозках. Поэтому деятельность организаций в этом случае должна учитывать национальное законодательство и международные правовые нормы договоров, соглашений и иных актов, в которых участвует Республика Беларусь.

Содержательная часть закона должна строиться в логической последовательности от видов деятельности к участникам сферы регулирования, их отношениям, правам и обязанностям, ответственности.

Для отражения содержательной части проекта достаточно модель Закона РБ «О железнодорожном транспорте» представить через главы и пункты (статьи). Количество глав содержательной части должно соответствовать числу самостоятельных задач правового регулирования.

Анализ содержательной части законов в области железнодорожного транспорта государств-партнеров, законодательства РБ, тенденций развития и системного анализа правоприменения совокупных норм и положений Закона позволяет выделить устойчивые области отраслевого регулирования железнодорожного права:

Блок А – общесистемного отраслевого характера: правовые предписания общего характера, которые определяют положения по основам функционирования железнодорожного транспорта и его частей; определение предметной сущности и регулирование функциональной деятельности железнодорожного транспорта и его видов [1, 2, 4, 6].

Блок Б – общефункционального характера:

- систему норм права государственного регулирования деятельности на железнодорожном транспорте и его взаимодействие с субъектами отношений;
- регламентацию деятельности участников перевозочного процесса, осуществляющих оказание услуг на железнодорожном транспорте;
- регулирование доступа к услугам железнодорожного транспорта и отношения при оказании услуг потребителям;
- систему основополагающих норм экономического регулирования рынка перевозок на железнодорожном транспорте и формирования договорных отношений;
- требования к содержанию объектов инфраструктуры, подвижного состава и иных объектов, используемых для обеспечения деятельности на железнодорожном транспорте;
- требования и условия обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте при осуществлении перевозок, взаимодействии с иными видами транспорта, соблюдении охранных мероприятий и иных условий деятельности организаций железнодорожного транспорта при

возникновении особых ситуаций, угрожающих безопасности, сохранности, жизни людей, экологии и т. п.;

– нормы регулирования трудовых отношений в организациях железнодорожного транспорта, непосредственно участвующих в перевозочном процессе, и обеспечения необходимого уровня профессиональной компетенции исходя из потребностей участников перевозочного процесса и безопасности функционирования транспорта [1, 4, 9, 17–19].

Блок В – общеспециальные отраслевого характера: нормы права, регулирующие отдельные вопросы функционирования железнодорожного транспорта, связанные с особыми условиями работы железнодорожного транспорта, регламентацией учетно-отчетной деятельности, правом ношения форменной одежды, участием организации в международном сотрудничестве, осуществлением видов страхования и т. п. [4, 9].

Правовое состояние норм в модели Закона определяется через свойства отношений $S^o = \{S_j^o\}$ при осуществлении транспортной деятельности, раскрывающие ее объектную и предметную общесистемную и отраслевую сущность через отношения: социальные (S_j^o), экономические (S_j^e), организационные (S_j^o), трудовые (S_j^l), безопасности (S_j^b), перевозочные (S_j^p), технические ($S_j^{тех}$), технологические ($S_j^{т.о}$) и другие.

Следует отметить, что функционал статьи в модели Закона формируется только по тем областям и условиям транспортной деятельности, которые необходимы для раскрытия сущности представленного в статье положения.

Каждую область регулирования железнодорожного права можно систематизировать путем структурирования статей на основе построения ОФМ глав модели Закона (рисунок 2).

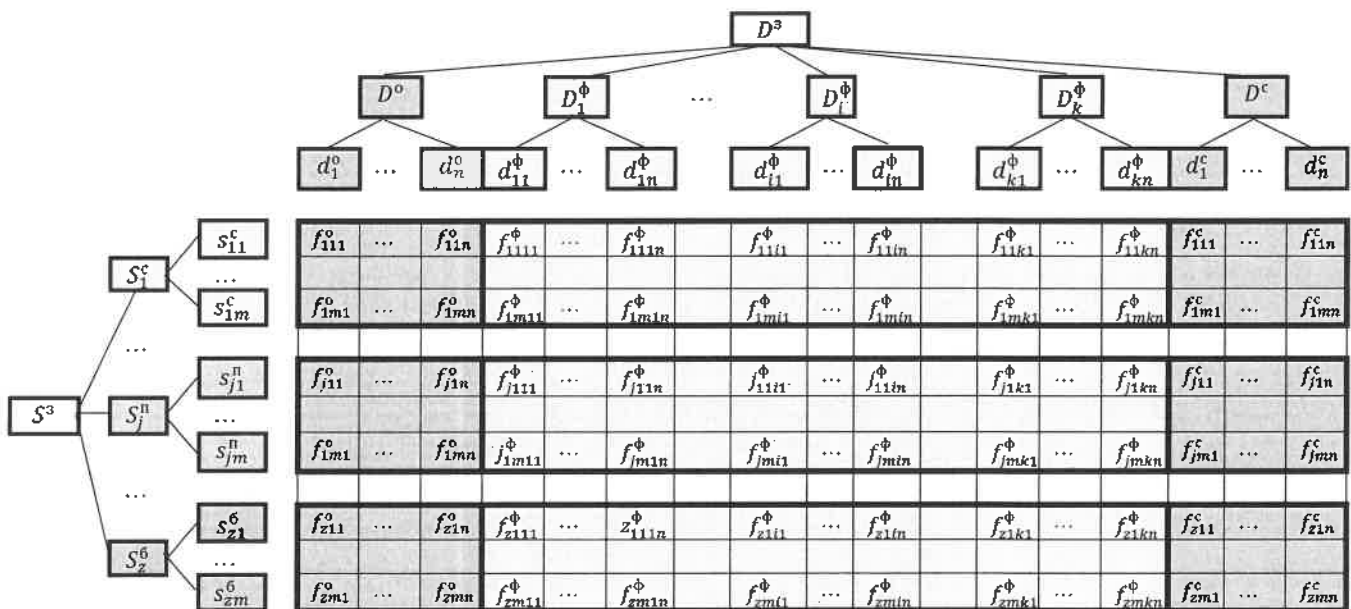


Рисунок 2 – Формирование функционала положений закона на основе ОФМ по областям транспортной деятельности и свойствам сущности отношений

Функционал каждой статьи модели Закона определяется потребностью полноты изложения норм железнодорожного права и может излагаться либо в обобщенной форме, охватывающей однородные факты или однопорядковые общественные отношения, либо путем перечисления конкретных предметов, действий или явлений. Кроме того, функционал статьи зависит от характера (технического приема установления правил поведения) установления норм права: прямая и отсылочная [4].

В модели Закона необходимо установить функционал норм права общесистемного отраслевого характера, которые группируются в разделе «Общие положения» (подсистема макроматрицы): $F^o = \{f_i^o\}$. Моделирование достаточной совокупности положений должно отразить системную сущность функционирования железнодорожного транспорта, его объектную декомпозицию, определяющую участников регулирования отношений, внешнюю и внутреннюю правовую среду, предметную сущность. Наиболее важными элементами ОФМ норм права в этой подсистеме являются следующие положения:

- основы функционирования железнодорожного транспорта и его составных частей: общего и необщего пользования (d_1^o);
- цели и задачи функционирования железнодорожного транспорта (d_2^o);
- участники перевозочного процесса, организации железнодорожного транспорта, оказывающие услуги по основным видам деятельности (d_3^o);
- основы взаимодействия видов транспорта (d_4^o);
- понятия и определения, образующие понятийную сферу железнодорожного транспорта общего назначения (d_5^o).

Таким образом, область общесистемного отраслевого характера в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D^o = \{d_i^o\} = (d_1^o, d_2^o, d_3^o, d_4^o, d_5^o).$$

Функционал общесистемной подсистемы модели Закона РБ «О железнодорожном транспорте» формируется на основе статей отраслевого характера, устанавливающих нормы права общего характера в транспортной деятельности, типичные отношения, рассчитанные на постоянное применение и обязательные

для всех адресатов Закона. Моделирование положений данной подсистемы должно регламентировать процессы перевозок, оказания услуг и выполнения работ на железнодорожном транспорте, обеспечивающие деятельность участников перевозочного процесса.

К положениям модели Закона в сфере государственного регулирования правовых отношений при организации транспортной деятельности можно отнести статьи, устанавливающие положения структурно разграничивающие функции правового регулирования между государственными органами власти, их компетенции, возможности и способы управления:

- органы государственного регулирования в области железнодорожного транспорта, их цели (d_{11}^{Φ});
- полномочия Президента РБ в области железнодорожного транспорта (d_{12}^{Φ});
- полномочия Совета Министров РБ в области железнодорожного транспорта (d_{13}^{Φ});
- полномочия Министерства транспорта и коммуникаций РБ, других республиканских органов государственного управления в области железнодорожного транспорта (d_{14}^{Φ});
- полномочия местных органов управления (d_{15}^{Φ}).

Таким образом, область общегосударственного регулирования в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_1^{\Phi} = \{d_{1i}^{\Phi}\} = (d_{11}^{\Phi}, d_{12}^{\Phi}, d_{13}^{\Phi}, d_{14}^{\Phi}, d_{15}^{\Phi}, d_{16}^{\Phi}).$$

К положениям Закона в сфере регулирования экономических отношений при организации и осуществлении перевозочного процесса можно отнести статьи, формирующие организационно-правовые и экономические основы деятельности организаций железнодорожного транспорта и экономические отношения между участниками перевозочного процесса:

- организационно-правовые основы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (d_{21}^{Φ});
- экономические основы деятельности организаций железнодорожного транспорта (d_{22}^{Φ});
- основы тарифной политики при оказании услуг железнодорожного транспорта (d_{23}^{Φ});
- система льгот на железнодорожном транспорте общего пользования (d_{24}^{Φ});
- инвестирование в строительство и модернизацию объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта (d_{25}^{Φ});
- приобретение, строительство и содержание объектов железнодорожного транспорта (d_{26}^{Φ});
- экономическое стимулирование в области железнодорожного транспорта общего пользования (d_{27}^{Φ}).

Таким образом, область регулирования экономических отношений в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_2^{\Phi} = \{d_{2i}^{\Phi}\} = (d_{21}^{\Phi}, d_{22}^{\Phi}, d_{23}^{\Phi}, d_{24}^{\Phi}, d_{25}^{\Phi}, d_{26}^{\Phi}, d_{27}^{\Phi}).$$

К положениям Закона в сфере регулирования транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта при оказании услуг можно отнести статьи, регламентирующие нормы права с условиями, требова-

ниями, правами, обязанностями и ответственностью участников перевозочного процесса:

- виды железнодорожных сообщений и их назначение (d_{31}^{Φ});
- организация управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте общего пользования (d_{32}^{Φ});
- организация перевозок пассажиров, багажа и грузобагажа (d_{33}^{Φ});
- организация перевозок грузов (d_{34}^{Φ});
- участники перевозочного процесса и их компетенции (d_{35}^{Φ});
- обязанности и права владельца (оператора) инфраструктуры (d_{36}^{Φ});
- обязанности и права перевозчика (d_{37}^{Φ});
- обязанности и права оператора подвижного состава (d_{38}^{Φ});
- обязанности и права иных организаций железнодорожного транспорта (d_{39}^{Φ});
- ответственность организаций железнодорожного транспорта (d_{310}^{Φ}).

Таким образом, область регулирования транспортной деятельности организаций в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_3^{\Phi} = \{d_{3i}^{\Phi}\} = (d_{31}^{\Phi}, d_{32}^{\Phi}, d_{33}^{\Phi}, d_{34}^{\Phi}, d_{35}^{\Phi}, d_{36}^{\Phi}, d_{37}^{\Phi}, d_{38}^{\Phi}, d_{39}^{\Phi}, d_{310}^{\Phi}).$$

К положениям Закона в сфере регулирования доступа организаций железнодорожного транспорта к оказанию услуг можно отнести статьи, регламентирующие нормы права с условиями и требованиями, позволяющими оказывать услуги и осуществлять деятельность на железнодорожном транспорте:

- основы доступа организаций к деятельности на железнодорожном транспорте (d_{41}^{Φ});
- требования к инфраструктуре железнодорожного транспорта (d_{42}^{Φ});
- требования к подвижному составу для перевозок грузов и пассажиров (d_{43}^{Φ});
- доступ перевозчика к услугам инфраструктуры (d_{44}^{Φ});
- требования к профессиональным компетенциям организаций железнодорожного транспорта (d_{45}^{Φ});
- лицензирование отдельных видов деятельности в области железнодорожного транспорта (d_{46}^{Φ});
- сертификация и декларирование соответствия на железнодорожном транспорте (d_{47}^{Φ});
- регулирование отношений, возникающих при взаимодействии железнодорожного транспорта и других видов транспорта (d_{48}^{Φ}).

Таким образом, область регулирования доступа организаций в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_4^{\Phi} = \{d_{4i}^{\Phi}\} = (d_{41}^{\Phi}, d_{42}^{\Phi}, d_{43}^{\Phi}, d_{44}^{\Phi}, d_{45}^{\Phi}, d_{46}^{\Phi}, d_{47}^{\Phi}, d_{48}^{\Phi}).$$

К положениям Закона в сфере регулирования деятельности железнодорожного транспорта необщего пользования можно отнести статьи, формирующие организационно-правовые и экономические основы отношений организаций железнодорожного транспорта

общего пользования с государственными органами управления и иными участниками перевозочного процесса:

– организационно-правовые основы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте необщего пользования (d_{51}^{Φ});

– экономические основы транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта необщего пользования (d_{52}^{Φ});

– основы договорных отношений при оказании услуг на железнодорожном транспорте необщего пользования (d_{53}^{Φ});

– строительство железнодорожных путей необщего пользования и пользование этими путями (d_{54}^{Φ});

– прекращение эксплуатации объектов инфраструктуры и железнодорожных путей необщего пользования (d_{55}^{Φ}).

Таким образом, область регулирования деятельности железнодорожного транспорта необщего пользования в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_5^{\Phi} = \{d_{5i}^{\Phi}\} = (d_{51}^{\Phi}, d_{52}^{\Phi}, d_{53}^{\Phi}, d_{54}^{\Phi}, d_{55}^{\Phi}).$$

К положениям Закона в сфере *регулирования безопасности оказания услуг, эксплуатации железнодорожного транспорта* и иных аспектов безопасности жизнедеятельности можно отнести статьи, регламентирующие нормы права к состоянию безопасности, объектам и условиям их проектирования, строительства и содержания, организации управления безопасностью и обеспечению мер предотвращения и ликвидации нарушений безопасности:

– основы системы управления безопасностью на железнодорожном транспорте (d_{61}^{Φ});

– требования к обеспечению безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (d_{62}^{Φ});

– информационная безопасность при оказании услуг железнодорожного транспорта (d_{62}^{Φ});

– зоны и объекты, повышенной опасности, охраны и требования к их содержанию (d_{63}^{Φ});

– охрана грузов и объектов организаций железнодорожного транспорта общего пользования от противоправных посягательств (d_{64}^{Φ});

– охрана общественного порядка на объектах железнодорожного транспорта (d_{65}^{Φ});

– предупреждение и организация работы в чрезвычайных ситуациях (d_{66}^{Φ});

– охранные зоны (d_{67}^{Φ});

– ответственность за нарушение правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта (d_{68}^{Φ}).

Таким образом, область регулирования безопасности оказания услуг, эксплуатации железнодорожного транспорта в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_6^{\Phi} = \{d_{6i}^{\Phi}\} = (d_{61}^{\Phi}, d_{62}^{\Phi}, d_{63}^{\Phi}, d_{64}^{\Phi}, d_{65}^{\Phi}, d_{66}^{\Phi}, d_{67}^{\Phi}, d_{68}^{\Phi}).$$

К положениям Закона в сфере *регулирования трудовых отношений* можно отнести статьи, регламентирующие нормы права, определяющие особые условия трудовой деятельности на железнодорожном транспор-

те и обеспечение требований безопасности и качества оказания услуг:

– особенности регулирования труда работников организаций железнодорожного транспорта общего пользования (d_{71}^{Φ});

– требования к работникам организаций железнодорожного транспорта общего пользования (d_{72}^{Φ}).

Таким образом, область регулирования трудовых отношений в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D_7^{\Phi} = \{d_{7i}^{\Phi}\} = (d_{71}^{\Phi}, d_{72}^{\Phi}).$$

Функционал общеспециального отраслевого характера модели Закона РБ «О железнодорожном транспорте» может быть определен статьями, устанавливающими нормы права, связанные общим предметом правового регулирования, дополняющими систему отношений на железнодорожном транспорте и определяющими отдельные условия функционирования железнодорожного транспорта и ее организаций:

– учетно-отчетная деятельность на железнодорожном транспорте (d_1^{Φ});

– язык служебного делопроизводства, оформления документации и общения (d_2^{Φ});

– участие организаций железнодорожного транспорта в международном сотрудничестве в области перевозок (d_3^{Φ});

– страхование на железнодорожном транспорте общего пользования (d_4^{Φ});

– мобилизационная подготовка и гражданская оборона на железнодорожном транспорте общего пользования (d_5^{Φ});

– форменная одежда и знаки различия (d_6^{Φ});

– условия и порядок реализации положений закона (d_7^{Φ}).

Таким образом, область общеспециального отраслевого характера в ОФМ может быть определена кортежем положений:

$$D^{\Phi} = \{d_i^{\Phi}\} = (d_1^{\Phi}, d_2^{\Phi}, d_3^{\Phi}, d_4^{\Phi}, d_5^{\Phi}, d_6^{\Phi}, d_7^{\Phi}).$$

Структурирование статей закона по его основным положениям должно отражать предметную сущность каждого раздела закона и обеспечивать комплексность регулирования отношений, определенных в разделе.

Применение организационно-функциональной матрицы в системе построения норм права при обновлении закона РБ «О железнодорожном транспорте» является важным формализованным инструментом, позволяющим структурировать и согласовать большую совокупность нормы права, дать механизм конструирования глав и статей модели Закона.

Список литературы

1 О транспортно-экспедиционной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 13.06.2006 г. № 124-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=h10600124>. – Дата доступа : 10.09.2022.

2 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 05.05.1998 г. № 140-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3961&rp0=N19800140>. – Дата доступа : 10.09.2022.

3 О перевозке опасных грузов : Закон Респ. Беларусь от 06.06.2001 г. № 62-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

<https://enp.by/zakon-o-perevozke-opasnyh-gruzov/>. – Дата доступа : 10.09.2022.

4 **Егизаров, В. А.** Транспортное право / В. А. Егизаров. – М. : Юстицинформ, 2007. – 546 с.

5 **Николишин, Р. В.** Гражданско-правовое регулирование отношений в сфере перевозки грузов железнодорожным транспортом : автореф. дис. ... канд. юрид. наук / Р. В. Николишин. – М., 2008. – 22 с.

6 **Новиков, В. М.** Транспортное право (железнодорожный транспорт) / В. М. Новиков. – М. : УМЦ по образ. на ж.-д. трансп., 2007. – 356 с.

7 **Стрельникова, И. А.** Отношения, составляющие предмет транспортного права / И. А. Стрельникова // Экономика, управление, культура : сб. науч. статей / под ред. Л. Д. Абрамовой. – М. : ГУУ, 2007. – Вып. 14.4.2. – С. 37.

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 **Спирин, И. В.** Транспортное право / И. В. Спирин. – М., 2001. – 303 с.

10 **Стрельникова, И. А.** Соотношение транспортного права и транспортного законодательства / И. А. Стрельникова // Право и государство: теория и практика. – 2008. – № 8. – С. 99–104.

11 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : одоб. на заседании Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 2 мая 2017 г., протокол № 10 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://economy.gov.by/uploads/files/NSUR2030/Natsionalnaja-strategija-ustojchivogosot-sialno-ekonomicheskogo-razvitija-Respubliki-Belarus-na-period-do-2030-goda.pdf>. – Дата доступа : 10.09.2022.

12 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года : утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25.02.2015 г., № 57-Ц [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rw.by/corporate/press_center/reportings_interview_article/2015/03/strategija_innovacionnogo_razv/. – Дата доступа : 10.09.2022.

13 **Бошко, С. В.** Норма права, понятия, свойства, классификация и структура / С. В. Бошко // Право и современные государства. – 2014. – № 4. – С. 49–60.

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

15 Гражданский кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 07.12.1998 г. № 218-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=hk9800218>. – Дата доступа : 10.09.2022.

16 Эффективность правовых норм / В. Н. Кудрявцев [и др.]. – М. : Юрид. лит., 1980. – 155 с.

17 Концепция национальной безопасности Республики Беларусь : Указ Президента Респ. Беларусь от 09.11.2010 г. № 575 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&rp0=p31000575>. – Дата доступа : 10.09.2022.

18 **Кулаженко, Ю. И.** 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.

19 **Кулаженко, Ю. И.** Система управления безопасностью участника перевозочного процесса на железнодорожном транспорте / Ю. И. Кулаженко, А. А. Ерофеев, В. Г. Кузнецов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2 (35). – С. 70–75.

Получено 15.11.2022

Yu. I. Kulazhenko, V. G. Kuznetsov, A. A. Erofeev. The structure of the law «On railway transport» based on the application of the organizational and functional matrix analysis of transport activities.

The functioning of railway transport is considered as a complex set of activities that are carried out on a large-scale infrastructure, has a large dimension and a lot of relationships between participants in the transportation process. The development of legal norms in the field of railway transport is considered on the basis of fundamental scientific approaches reflecting the objective state of transportation of goods and passengers, as well as trends in the development of transport. It is proposed to use the method of analyzing the structure of the law on the basis of an organizational and functional matrix, which allows you to combine the norms of law into one whole by systematizing them according to the essential properties of the area of legal regulation and the logical functional relationship between the object and subject of regulation. To construct the matrix of the new model of the law "On Railway Transport", the signs of legal parameters are established: the properties of functioning and social relations. The basic principles of the functional of the law are determined based on the use of an organizational and functional matrix. The areas of sectoral regulation of the same road law and their functionality are established: system-wide, general functional and general specialized sectoral nature.

УДК 656.2 (094.5)

Ю. В. ДУБИНА, Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, г. Минск; А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИ ПРОЕКТА ОБНОВЛЕНИЯ ЗАКОНА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ «О ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ»

Закон Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» (далее – Закон) устанавливает основы общественных отношений для осуществления деятельности при организации перевозок грузов, пассажиров, багажа и грузобагажа. Представлены предпосылки обновления положений Закона, связанные с существенными изменениями за период его применения в экономике и жизни общества, которые произошли в нормативно-правовом поле и затрагивают многие аспекты функционирования железнодорожного транспорта в целом и его участников. Определены цели и задачи обновлений в Законе, которые позволяют установить системные подходы к нормотворчеству и формированию требований к деятельности на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования. Установлены основные направления по дополнению и корректировке правовых, экономических, трудовых и иных отношений в новой модели Закона, дана оценка их значимости. Предложена структура новой модели Закона, которая отражает основные аспекты функционирования при оказании услуг и выполнении работ организациями железнодорожного транспорта. Представлена система требований, которые позволяют актуализировать положения Закона в соответствии с интересами заинтересованных лиц в качественном оказании услуг при организации всех видов перевозки грузов и пассажиров.

Закон Республики Беларусь (РБ) «О железнодорожном транспорте (Закон) [1] является важным нормативно-правовым актом (НПА) для регулирования общественных отношений в сфере железнодорожного транспорта, т. к. затрагивает отношения между множеством участников процесса перевозок и организациями, обеспечивающими перевозки грузов и пассажиров как во внутриреспубликанском, так и в международном сообщении.

Рассматриваемый Закон РБ должен включать достаточную совокупность норм права по различным аспектам правовых, организационных, экономических, трудовых и иных отношений для обеспечения потребностей общества [2–4]. Для реализации системного подхода к формулированию структуры и положений Закона, сложного по содержанию, представления требуемой совокупности норм права, отражающих все стороны регулируемых общественных отношений на железнодорожном транспорте, повышения качества проекта Закона разрабатывается его концепция [5, 6].

Формирование модели Концепции проекта Закона должно осуществляться на установленных принципах нормотворчества [6, 7].

Цель подготовки проекта Закона – установление правовых основ государственного регулирования экономических, организационных, трудовых и иных отношений при осуществлении транспортной деятельности и оказании услуг на железнодорожном транспорте.

Предмет правового регулирования Закона – отношения в сфере функционирования железнодорожного транспорта.

Анализ нормативно-правовой среды (актов национального законодательства, международных договоров и иных международно-правовых актов, относящихся к предмету правового регулирования Закона), показывает существенную связь норм права и практики их применения в экономике государства, жизнедеятельности граждан [8]. Развитие Закона с учетом анализа норм и положений актов законодательства связано с систематизацией изложения норм [9, 10]:

1) в рамках Гражданского кодекса РБ: регулирование экономических отношений при организации и реализации коммерческой деятельности [11];

2) в рамках Закона РБ «Об основах транспортной деятельности»: деятельность участников перевозочного процесса, положений платы за услуги транспортной деятельности; нормы лицензирования транспортной деятельности, сертификации объектов транспортной деятельности; права собственности организаций железнодорожного транспорта для осуществления транспортной деятельности и других [12];

3) в рамках Закона РБ «О транспортно-экспедиционной деятельности»: оказание услуг перевозки грузов; участники перевозочного процесса, их права и ответственность по основным процессам перевозки; гармонизация положений по правовым аспектам договорных отношений участников перевозочного процесса и других [13];

4) в рамках Закона РБ «О перевозке опасных грузов»: требования организации перевозок опасных грузов; гармонизация положений организации работы по локализации и ликвидации последствий аварий и инцидентов при перевозке опасных грузов; регулирование положений по обеспечению соответствия транспортных работ и услуг, состоянию объектов и транспортных средств в области перевозки опасных грузов НПА на железнодорожном транспорте [14];

5) в рамках Правил перевозок грузов железнодорожным транспортом общего пользования: определение транспортной деятельности участников перевозочного процесса, связанных с организацией перевозки грузов, оказанием услуг перевозки грузов; права и обязанности организаций железнодорожного транспорта, являющихся субъектами отношений при организации перевозок грузов; развитие положений государственного регулирования и управления, связанных с перевозкой грузов на участках инфраструктуры железнодорожного транспорта и других;

6) в рамках Правил перевозки пассажиров, багажа, грузобагажа железнодорожным транспортом общего пользования: определение субъектов организации пас-

сажирских перевозок в составе национального пассажирского перевозчика, иных организаций железнодорожного транспорта, оказывающих услуги по перевозке пассажиров, багажа, грузобагажа; права и обязанности участников перевозочного процесса, являющихся субъектами отношений при организации перевозок пассажиров; функции национального пассажирского перевозчика; услуги при организации перевозок пассажиров; определения государственного регулирования и управления в области организации пассажирских перевозок и возмещения потерь, связанных с оказанием услуги перевозки и других.

Анализ актов законодательства железнодорожных администраций партнеров на рынке совместной транспортной деятельности, относящихся к предмету правового регулирования Закона, указывает на наличие следующих вопросов в правовом регулировании, которые требуют тщательного анализа, доработки и гармонизации:

- 1) стандартизация и обеспечение единства измерений на железнодорожном транспорте;
- 2) лицензирование отдельных видов деятельности в области железнодорожного транспорта;
- 3) обязательная сертификация и декларирование ответственности на железнодорожном транспорте;
- 4) страхование на железнодорожном транспорте общего пользования;
- 5) контроль в области транспортной деятельности;
- 6) развитие железнодорожного транспорта, его финансирование и реализация проектов развития;
- 7) особенности государственного регулирования использования земель железнодорожного транспорта;
- 8) регулирование строительства новых железнодорожных линий, реализации комплексных проектов инфраструктурного развития объектов транспорта;
- 9) регулирование отношений, возникающих при взаимодействии железнодорожного транспорта и других видов транспорта;
- 10) обеспечение на железнодорожном транспорте общего пользования экологической, пожарной, промышленной безопасности, охраны труда, а также санитарно-эпидемиологического благополучия населения;
- 11) акты, претензии и иски.

Развитие положений Закона направлено на углубление интеграции железнодорожного транспорта в международную транспортную систему, создание нормативных условий для качественно нового уровня развития перевозок и дальнейшего совершенствования норм права, определяющих правовое регулирование безопасности в сфере железнодорожного транспорта. Анализ международных договоров (соглашений) в области железнодорожного транспорта показывает, что изменения и дополнения в Закон должны касаться следующих вопросов:

- совершенствование положений законодательства в области международных железнодорожных перевозок;
- применение информационных технологий при организации перевозок в международном сообщении;
- выявление и решение проблемных вопросов (препятствий), упрощение процедур, влияющих на перемещение грузов и пассажиров;

- проведение железнодорожными администрациями работы, направленной на создание условий для обновления подвижного состава;

- обеспечение компетенций и квалифицированного обслуживающего персонала, а также развитие организаций, обеспечивающих подготовку кадров и повышение квалификации персонала;

- обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте; развитие системы объективной оценки обеспечения безопасности движения на железнодорожном транспорте;

- предоставление льгот, преференций и мер государственной поддержки в целях обновления инфраструктуры и подвижного состава;

- формирование системы согласованных железнодорожных тарифов на перевозку грузов и пассажиров;

- рассмотрение вопросов о применении льготного налогообложения при осуществлении международных железнодорожных перевозок и о компенсации потерь в доходах перевозчиков в регулируемых сегментах;

- создание условий, стимулирующих участников перевозочного процесса использовать транспортные средства, которые имеют улучшенные потребительские характеристики, эксплуатационные параметры, снижающих негативное влияние на инфраструктуру и окружающую среду;

- развитие транспортной инфраструктуры и ликвидация ограничений, в том числе с целью повышения скорости перевозок; привлечение государственно-частного партнерства к финансированию и участию в инвестиционных проектах развития железнодорожной инфраструктуры;

- повышение доступности транспортных услуг, в том числе выполняемых в соответствии с государственным заказом.

Для гармонизации и унификации положений в обновленных законодательных актах ([15–19] и других) необходимо в Законе устранить возникшие пробелы, актуализировать отдельные нормы права, содержательную часть отдельных положений для повышения эффективности их применения, устранить причины недостаточной релятивности норм [8, 20, 21].

Для развития Закона важна оценка предложений заинтересованных государственных органов и иных организаций о необходимости изменения правового регулирования соответствующих общественных отношений (рисунок 1).

К основным государственным органам, заинтересованным в гармонизации законодательства и актуализации положений Закона, можно отнести:

- Министерство антимонопольного регулирования и торговли РБ (МАРТ) – гармонизация проведения государственной политики в области противодействия монополистической деятельности, развития конкуренции; регулирование деятельности субъектов естественных монополий (ГО «Белорусская железная дорога»), ценообразования; реализация тарифной политики при осуществлении перевозок грузов и пассажиров, системы взимания платы при оказании услуг и защиты прав потребителей;

- Министерство транспорта и коммуникаций РБ (МТК) – формирование правовых отношений, актуализирующих участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, их права и обязанности при

осуществлении транспортной деятельности и оказании услуг; формирование экономических отношений между производителями услуг (работ) и получателями услуг (работ), позволяющих развивать транспортную инфраструктуру в РБ, конкурировать предприятиям на товарном рынке; создание условий для участия местных органов власти в формировании обоснованных условий организации пассажирских перевозок в региональном и городском сообщениях;

– Министерство финансов РБ (Минфин) – формирование финансовой политики; осуществление регулирования и управления в финансовой сфере транспортной деятельности организаций железнодорожного транспорта разных форм собственности; использование финансов в целях повышения эффективности транспортного рынка; совершенствование форм финансовых взаимоотношений организаций и граждан с государством и использование кредитных ресурсов; эффективное проведение бюджетно-финансовой и налоговой политики;

– министерства, регулирующие деятельность предприятий, которые осуществляют массовые перевозки грузов железнодорожным транспортом (Министерство

лесного хозяйства, Министерство промышленности, Министерство архитектуры и строительства, Министерство энергетики, Министерство сельского хозяйства и продовольствия и другие) – формирование положений, способствующих деятельности предприятий при организации перевозок их продукции железнодорожным транспортом; регламентация основ взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, отношений между организациями железнодорожного транспорта, осуществляющих перевозки;

– министерства, взаимодействующие в сфере обеспечения транспортной деятельности (Министерство по чрезвычайным ситуациям, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды; Министерство труда и социальной защиты, Министерство внутренних дел и другие) – актуализация норм права, регулирующих вопросы охраны окружающей среды, экологии, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, соблюдения охраны общественного порядка на железнодорожном транспорте, регулирования труда работников железнодорожного транспорта.

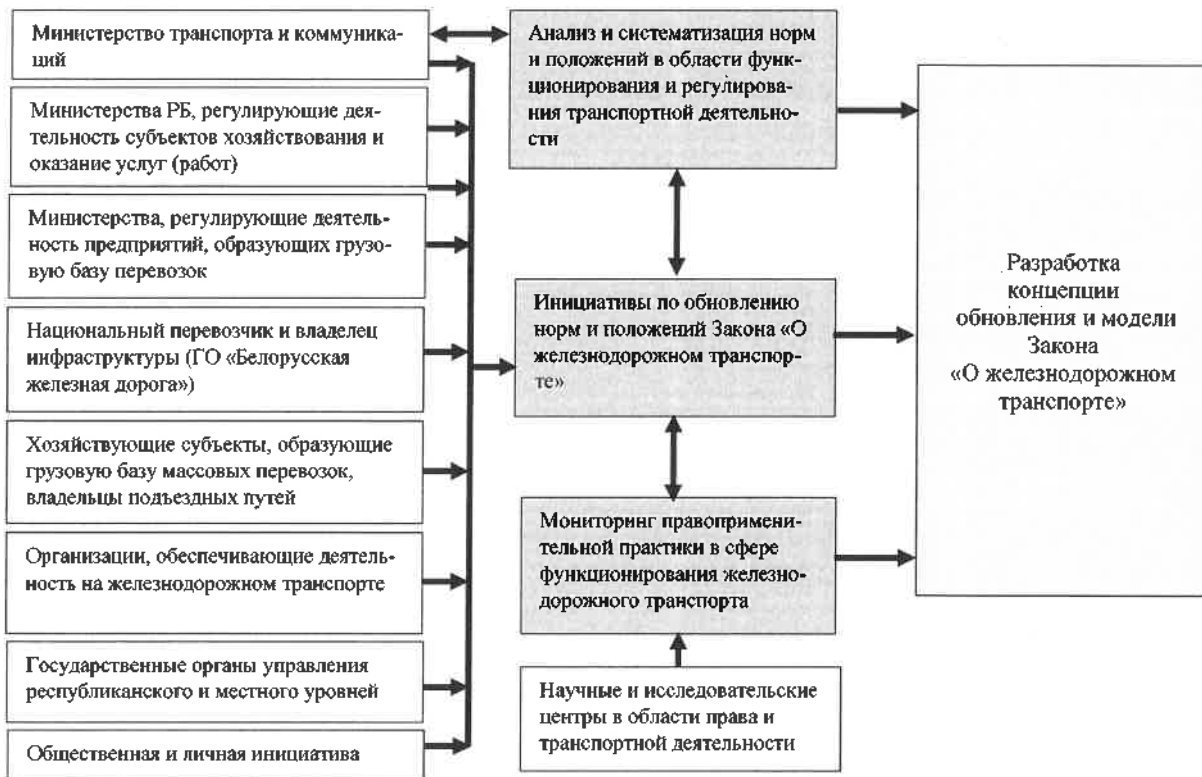


Рисунок 1 – Схема формирования предложений по обновлению положений Закона «О железнодорожном транспорте»

К основным субъектам отношений, заинтересованным в организации перевозок на железнодорожном транспорте и актуализации положений Закона РБ «О железнодорожном транспорте», можно отнести:

– ГО «Белорусская железная дорога» как государственное предприятие, распоряжающееся имуществом железнодорожного транспорта общего пользования, являющееся оператором инфраструктуры и национальным перевозчиком – актуализация организационных, правовых и экономических основ деятельности, прав и обязанностей при осуществлении транспортной деятельности и оказании услуг заинтересованным лицам;

– организации и предприятия (концерн «Белгоспешпром», концерн «Белнефтехим», концерн «Беллегпром», концерн «Беллесбумпром», РУПП «Гранит», ОАО «Нафтан», ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Беларуськалий» и другие) – регламентация правовых и экономических отношений при организации перевозок грузов предприятий на железнодорожном транспорте; регламентация основ взаимодействия железнодорожного транспорта общего пользования и необщего пользования, отношений между организациями железнодорожного транспорта, грузовладельцами и иными лицами, участвующими в организации перевозок; регламентация

требований к развитию и содержанию инфраструктуры железнодорожного транспорта необщего пользования;

– организации железнодорожного транспорта, осуществляющие транспортную деятельность и оказывающие транспортные услуги на железнодорожном транспорте (экспедиторы, транспортно-логистические центры, операторы подвижного состава и т. п.) – формирование системы транспортных услуг, тарифной политики при оказании услуг перевозки, льготирование перевозок; определение норм права при оказании транспортных услуг, нормы допуска организаций к осуществлению транспортной деятельности, лицензирование; требования к подвижному составу для обеспечения их эксплуатации на железнодорожном транспорте общего пользования;

– организации, обеспечивающие строительство, содержание, техническое обслуживание, ремонт объектов инфраструктуры и подвижного состава – актуализация норм права, регламентирующих инвестиции в развитие железнодорожного транспорта, экономические отношения при заключении договоров обслуживания, требования к объектам (устройствам) инфраструктуры и подвижному составу, их содержанию, эксплуатации и обслуживанию.

Министерство транспорта и коммуникаций на постоянной основе организует и мониторит результаты исследований в области права и правового мониторинга транспортной деятельности на железнодорожном транспорте. Вопросы правового регулирования в области железнодорожного транспорта затрагивают широкий круг заинтересованных лиц. Актуальность вопроса определяется наличием научных исследований в области права и правового мониторинга, публикаций в СМИ, сети Интернет, обращений граждан и юридических лиц, относящихся к предмету правового регулирования проекта нормативного правового акта.

Научно-методическая база потребных изменений определяется всесторонними научными исследованиями, проводимыми на национальном и международном уровнях [7, 22]. Научные исследования, относящиеся к предмету правового регулирования Закона в области организационных, правовых и экономических основ деятельности железнодорожного транспорта в период действия закона проводились национальными институтами, вузами и организациями Министерства транспорта и коммуникаций, в том числе Институтом экономики Национальной академии наук Беларуси, Национальным центром правовой информации, Национальным центром законодательства и правовых исследований, Белорусским научно-исследовательским институтом транспорта «Транстехника», Белорусским государственным университетом транспорта, ГО «Белорусская железная дорога» и многими другими. Кроме того, МТК в рамках международных организаций по железнодорожному транспорту принимала участие и отслеживала все научные разработки в области регулирования деятельности на железнодорожном транспорте. Правовые вопросы регулирования рассматривались на заседании Совета Министров РБ, ТЭС Министерства транспорта и коммуникаций, ГО «Белорусская железная дорога», других министерств и ведомств, научно-практических конференциях и других площадках общественного обсуждения.

К основным направлениям развития правового регулирования в области железнодорожного транспорта в рамках Закона можно отнести:

– систематизацию участников перевозочного процесса, выступающих в качестве субъектов общественных отношений на железнодорожном транспорте и формирование норм, определяющих их права, обязанности, ответственность;

– систематизацию предмета общественных отношений, возникающих в процессе оказания транспортных услуг (работ) – видов перевозок, способов организации перевозок, видов услуг и работ, правовое оформление отношений между участниками перевозочного процесса;

– регламентированию процесса доступа участников перевозочного процесса к транспортной деятельности по оказанию услуг железнодорожного транспорта и формирование требований к условиям допуска;

– систематизацию норм государственного регулирования в области железнодорожного транспорта за счет определения норм права в области лицензирования, технического регулирования, стандартизации и иных правил, представляющих правовой механизм возможности реализации заявленных транспортных услуг (работ);

– регламентацию процесса приобретения, проектирования, строительства, реконструкции и содержания объектов железнодорожного транспорта общего и необщего пользования;

– формированию основ функционирования инфраструктуры железнодорожного транспорта;

– правовому регулированию основ функционирования и управления железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, выполнения требований к условиям осуществления транспортных услуг (работ);

– гармонизацию понятий железнодорожного транспорта с учетом международных и национальных норм регулирования транспортной деятельности на железнодорожном транспорте и актуализации их в соответствии с НПА [20, 21];

– актуализацию общесистемных требований к вопросам обеспечения безопасности, охраны, экологии и иных, связанных с целевыми установками развития социально-экономических отношений в Республике Беларусь на перспективу [3, 4].

Разработка предложений по обновлению закона «О железнодорожном транспорте» определяется постоянным развитием концептуальных положений гражданского [11], трудового [16] кодексов, изменениями в законодательстве, определяющими транспортную деятельность и функционирование организаций железнодорожного транспорта [12, 13]. Обновление Закона потребует изменения в НПА, регулирующих отношения в сфере железнодорожного транспорта, а также изменения отраслевых НПА.

Обновление положений Закона, возможно, потребует ввода новых НПА в части регулирования деятельности отдельных участников перевозочного процесса, регулирования вопросов обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте, разработки положений о деятельности железнодорожного транспорта необщего пользования, формирования правовой основы для организации обслуживания населения железнодорожным транспортом общего пользования в определенных со-

общениях на основе государственного заказа и ряда других.

Актуализация отдельных норм права в Законе потребует внесения изменений в действующие НПА, прежде всего в Устав железнодорожного транспорта, Правила перевозки грузов, Правила перевозки пассажиров, Правила оказания услуг железнодорожного транспорта, Правила доступа к услугам инфраструктуры и ряд других отраслевых НПА.

Наиболее приемлемой формой обновления правового акта является формирование новой редакции закона. Это позволит сохранить нормативно-правовые нормы, которые эффективно используются в правовой практике на железнодорожном транспорте и актуализировать документ за счет: внесения новых положений в документ, расширяющих правоприменение важных отношений в транспортной деятельности; систематизации норм права по главам нормативного акта, в том числе и за счет дополнения новыми и редактирования существующих; обновления содержательной части статей закона за счет их актуализации и гармонизации изменениям в законодательстве.

Структура Закона может быть сформирована из четырех основных частей: преамбулы, общих положений, содержательной части, заключительных положений.

В разделе «Общие положения» размещаются статьи, в которых определяются нормы правового регулирования, связанные с функционированием железнодорожного транспорта и его составных частей: общего и особого пользования; целями и задачами функционирования железнодорожного транспорта; участниками отношений при осуществлении транспортной работы (услуг); организациями железнодорожного транспорта, оказывающими услуги по основным видам деятельности; основы взаимодействия видов транспорта; понятиями и определениями, образующих понятийную сферу железнодорожного транспорта общего назначения.

Содержательная часть закона «О железнодорожном транспорте» представляется через главы и пункты (статьи). Количество глав содержательной части должно соответствовать числу самостоятельных задач правового регулирования. К основным направлениям правового регулирования на железнодорожном транспорте, которые могут быть объединены в отдельные главы закона, можно отнести регулирование функциональной деятельности железнодорожного транспорта и его видов; государственное регулирование деятельности на железнодорожном транспорте и ее взаимодействие с субъектами отношений; организацию перевозочного процесса и оказание услуг на железнодорожном транспорте; доступ к услугам железнодорожного транспорта и отношения при оказании услуг потребителям; экономические основы регулирования рынка перевозок на железнодорожном транспорте и формирования договорных отношений; требования к содержанию объектов инфраструктуры, подвижного состава и иных объектов на железнодорожном транспорте; обеспечение безопасности на железнодорожном транспорте при обеспечении перевозок и иных условий; трудовые отношения в организациях железнодорожного транспорта, обеспечивающих перевозочный процесс.

В разделе «Заключительные положения» размещаются статьи, где определяются нормы правового регули-

рования, которые связаны с нормами права, регулирующими отдельные вопросы функционирования железнодорожного транспорта, особые условия работы железнодорожного транспорта, учетно-отчетную деятельность, правом ношения форменной одежды, участием организаций в международном сотрудничестве, осуществлении видов страхования и т. п.

Количество статей в каждом разделе Закона устанавливается на основе правовой необходимости определения отношений при функционировании железнодорожного транспорта.

Принятие обновленного закона «О железнодорожном транспорте» улучшает нормативно-правовую среду транспортной деятельности, позволяет регулировать отношения между всеми заинтересованными сторонами и носит комплексный характер.

С правовой точки зрения устанавливаются нормы права, которые позволяют каждому из участников отношений, определить свои условия получения или оказания услуг, выполнения транспортных работ, обеспечения транспортной деятельности.

С экономической точки зрения устанавливаются основы эффективности выполнения транспортной работы, оказания услуг на железнодорожном транспорте, формы отношений между участниками перевозочного процесса, обязательства и ответственность по договорам.

С организационной точки зрения устанавливаются участники перевозочного процесса, их права и ответственность при осуществлении транспортной деятельности, оказании услуг; имущество, которым они располагают для осуществления собственной деятельности; участие органов государственного управления в регулировании отношений на железнодорожном транспорте, обеспечении эффективности их деятельности, развитии объектов железнодорожного транспорта.

С технической точки зрения устанавливаются основные условия и требования к проектированию, строительству и эксплуатации объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава.

С технологической точки зрения устанавливаются основы организации грузовых и пассажирских перевозок, способы перевозки пассажиров и грузов поездами в внутригосударственном и международном сообщениях.

С социально-экономической точки зрения устанавливаются условия, гарантирующие удовлетворение потребностей граждан в осуществлении поездок, физических и юридических лиц в осуществлении перевозок грузов на железнодорожном транспорте.

В Законе регламентируются основные условия обеспечения безопасности перевозок, сохранности перевозимого груза, охраны объектов железнодорожного транспорта, безопасности нахождения граждан на объектах железнодорожного транспорта, охраны окружающей среды и другие условия, необходимые для недопущения нанесения вреда здоровью людей, ущерба при осуществлении перевозочного процесса.

Таким образом, Закон Республики Беларусь «О железнодорожном транспорте» формирует объектную и предметную среду правовых отношений при осуществлении транспортных работ (услуг) и позволяет создать на железнодорожном транспорте правовой целевой акт, всесторонне отражающий потребности всех заинтересованных лиц.

Список литературы

- 1 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 06.01.1999 г., № 237-З.
- 2 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года : одобрена на заседании Президиума Совета Министров Респ. Беларусь от 2 мая 2017 г., протокол № 10.
- 3 Стратегия инновационного развития транспортного комплекса Республики Беларусь до 2030 года : утв. приказом М-ва трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь от 25.02.2015 г., № 57-Ц.
- 4 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 23.03.2021 г., № 165.
- 5 Системные требования к законодательному регулированию железнодорожного транспорта / А. А. Ерофеев [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – № 1 (44). – С. 57–62.
- 6 О нормативных правовых актах : Закон Респ. Беларусь от 17 июля 2018 г. № 130-З.
- 7 **Ипатов, В. Д.** Законотворческая деятельность в Республике Беларусь: основные этапы, новации, перспективы совершенствования / В. Д. Ипатов // Право.by. – № 1 (63). – 2020. – С. 7–10.
- 8 Сравнительный анализ гармонизации основных положений законодательства на железнодорожном транспорте с государствами-партнерами / Ю. В. Дубина [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября) : в 2 ч. Ч. I / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 16–18.
- 9 **Егнизаров, В. А.** Транспортное право / В. А. Егнизаров. – М. : Юстицинформ, 2004. – 524 с.
- 10 Транспортное право. Общая часть : учеб. / отв. ред. Н. А. Духно, А. И. Землин. – М. : Юридический институт МИИТа, 2017. – 259 с.
- 11 Гражданский кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 07.12.1998 г., № 218-З.
- 12 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 05.05.1998 г., № 140-З.
- 13 О транспортно-экспедиционной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 13.06.2006 г., № 124-З.
- 14 О перевозке опасных грузов : Закон Респ. Беларусь от 06.06.2001 г., № 62-З.
- 15 Конституция Республики Беларусь 1994 года : с изм. и доп., принятыми на респ. Референдумах 24 нояб. 1996 г. и 17 окт. 2004 г. / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – 10-е изд., стер. – Минск, Н2014. – 64 с.
- 16 Трудовой Кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 26.07.1999 г., № 296-З.
- 17 О государственно-частном партнерстве : Закон Респ. Беларусь от 01.01.2016 г., № 2/2340.
- 18 Налоговый кодекс Республики Беларусь : Закон Респ. Беларусь от 29.12.2009 г., № 71-З.
- 19 Концепция информационной безопасности Республики Беларусь : постановление Совета Безопасности Респ. Беларусь от 18 марта 2019 г., № 1.
- 20 Модельный закон «О железнодорожном транспорте» : Постановление Межпарламентской Ассамблеи государств – участников Содружества Независимых Государств № 38-15, от 23 ноября 2012 г.
- 21 Гармонизация понятий в законодательстве в области железнодорожного транспорта / В. Г. Кузнецов [и др.] // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Гомель, 25–26 ноября) : в 2 ч. Ч. I / под ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 32–35.
- 22 **Чуприс, О. И.** Изменения и дополнения Конституции Республики Беларусь: олицетворение самобытности основного закона и обновленной государственности / О. И. Чуприс // Право.by. – № 2 (76). – 2022. – С. 5–13.

Получено 04.10.2022

Yu. V. Dubina, A. A. Erofeev, V. G. Kuznetsov. Conceptual approaches to the model of the project of updating the Law of the Republic of Belarus «On railway transport».

The Law of the Republic of Belarus «On Railway Transport» establishes the foundations of public relations for the implementation of activities in the organization of transportation of goods, passengers, baggage and cargo baggage. The article presents the prerequisites for updating the provisions of the Law related to significant changes during the period of its application in the economy and society, which occurred in the regulatory and legal field and affect many aspects of the functioning of railway transport in general and its participants. The goals and objectives of the updates in the Law are defined, which make it possible to establish systematic approaches to rulemaking and the formation of requirements for activities on public and non-public railway transport. The main directions for supplementing and correcting legal, economic, labor and other relations in the new model of the Law are established, and their significance is assessed. The structure of a new model of the Law «On Railway Transport» is proposed, which reflects the main aspects of functioning when providing services and performing works by railway transport organizations. A system of requirements is presented that make it possible to update the provisions of the Law in accordance with the interests of interested parties in the quality provision of services in the organization of all types of transportation of goods and passengers.

УДК 656.073

А. А. ХОРОШЕВИЧ, Белорусская железная дорога, Белорусский национальный технический университет, г. Минск

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ВЫСТРАИВАНИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ИНЫМИ УЧАСТНИКАМИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Представлены актуальные аспекты взаимодействия Белорусской железной дороги и иных участников перевозочного процесса с последующим указанием имеющихся проблемных областей. В развитии проблематики обоснованы направления разрешения имеющихся вопросов и минимизации их негативного воздействия.

Мировые события текущего года в значительной степени повлияли на логистический рынок. В условиях быстро меняющейся внешней и внутренней конъюнктуры рынков под действием западных санкций и ответных контрсанкций полностью изменился привычный ритм внешнеэкономической деятельности, в результате чего произошел разрыв ряда логистических цепочек между производителями товаров/сырья и покупателями. Разрушение цепочек поставок, нарабатываемых годами, напрямую повлияло на организацию грузовых железнодорожных перевозок. Основные изменения логистических схем доставок произошли в области экспортно-импортных операций между странами Восточного региона, Таможенного союза и странами Европейского союза, Скандинавии, Америки, а также некоторыми другими государствами. Одновременно произошли трансформация финансовых потоков и усложнение цепочек, формируемых для получения оплаты за оказанные услуги.

Наблюдаемая нестабильность поставок и проблемы в расчетах производителей с контрагентами существенно повысили рисковую составляющую функционирования национального железнодорожного транспорта. Обеспечение эффективной организации процесса доставки грузов стало более затруднительным, в первую очередь, за счет изменения условий взаимодействия Белорусской железной дороги с иными участниками перевозочного процесса (в т. ч. финансово-кредитными организациями). В сложившихся в рамках наблюдаемого военно-политического конфликта условиях негативное влияние на деятельность Белорусской железной дороги начали оказывать:

- наличие существенных ограничений в рамках географии поставок, состава перевалочных баз, а также объемов перевозок, обусловленное сокращением пропускной способности и снижением количества согласуемых заявок на международные перевозки;

- наличие ограничений в видах и формах принятия платежей, а также невозможность получения оплаты за оказанные услуги от компаний-резидентов отдельных стран;

- возникновение значимых неконтролируемых факторов, затрагивающих область таможенного оформления и пропуска железнодорожных составов по территории других стран и обуславливающих существенное повышение времени доставки грузов;

- неадекватное современной экономической ситуации ограничение роста железнодорожных тарифов, обуславливающее значительное снижение уровня получаемой прибыли;

- безответственное и неконтролируемое со стороны владельцев собственного подвижного состава поведение заказчиков, приводящее к возникновению упущенной выгоды ввиду неисполнения поданных ими заявок на перевозку.

Так, сложившиеся условия внешней среды и разрыв ряда межгосударственных связей привели к изменению условий функционирования операторов железнодорожной сети иных стран – основных партнеров Белорусской железной дороги, среди которых особенно значимые трансформации пришлось на ОАО «Российские железные дороги». В рамках деятельности данного оператора начала наблюдаться повышенная загрузка железнодорожной сети, в особенности в рамках отдельных направлений следования. Согласно данным Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, в марте 2022 г. грузооборот железной дороги увеличился на 3,2 % – с 227,4 до 234,7 млн т·км [1], что было обусловлено переориентацией на восточное направление и перенаправлением в порты на Дальнем Востоке грузов, которые должны были попасть в Балтийский порт для отправки в Европу. Дополнительная нагрузка возникла и на железных дорогах южного направления, так как увеличился объем поставок в порт в Новороссийске, откуда контейнеры с грузом отправляются в Турцию и в порт во Владивостоке.

В отмеченных обстоятельствах организация международных перевозок национальным железнодорожным транспортом через территорию Российской Федерации стала затруднительной ввиду сокращения пропускной способности железнодорожной сети и существенной загрузки перевалочных баз, и соответствующего снижения объемов согласования заявок на перевозку грузов. Негативным результатом таких изменений стало значительное увеличение сроков доставки грузов и времени оборота вагонного парка. Одновременно возникла необходимость проработки иных направлений следования составов с развитием двусторонних отношений с операторами дружественных стран.

Дополнительные трудности создало наличие ограничений в видах и формах принятия платежей и возникновение значимых неконтролируемых факторов, затрагивающих область таможенного оформления и пропуска железнодорожных составов по территории других стран. Данные аспекты в совокупности привели к еще большему росту времени следования составов, а также снижению уровня оборачиваемости денежных средств. Кроме того, ввиду значительного повышения временного промежутка, требуемого на возврат вагонов

с территории других стран, а также непрогнозируемого характера точного времени их возврата в парк, появились трудности с планированием загрузки.

Кроме проблем, которые имеют внешнюю природу, наблюдаемые мировые события обострили отдельные проблемные области в рамках организации работы национального железнодорожного транспорта, носящие внутренний характер. Одной из таких проблем стало существующее в настоящее время фактическое ограничение роста железнодорожных тарифов, предполагающее длительную процедуру согласования повышаемых тарифов и необходимость четкого обоснования причин и статей роста, которые в сложившихся условиях изменяются практически ежедневно. Данная проблема во многом обоснована смешанным административно-рыночным характером управления в отрасли железнодорожного транспорта, характеризующимся тем, что функционирование Белорусской железной дороги производится на конкурентных рынках и в условиях необходимости обеспечения самокупаемости, при этом управление перевозками осуществляется в достаточно жестких административных рамках, в том числе в области тарифообразования, в которой определено обязательное согласование устанавливаемых грузовых тарифов на высшем уровне.

Результатом отмеченного выступает определение величины грузовых тарифов, не соответствующей рыночной конъюнктуре и не позволяющей обеспечивать должный уровень маржинальности оказываемых услуг по перевозке грузов. Стабильный рост эксплуатационных затрат при весьма длительном реагировании на него со стороны органов государственного управления обуславливает возникновение ситуации, в рамках которой грузовые тарифы текущего месяца актуальны для конъюнктуры национального рынка предыдущего месяца. Последующее повышение тарифов в очередном периоде в условиях постоянного неконтролируемого повышения цен на многие ресурсы вновь создает ситуацию несоответствия, т. е. фактически в рамках текущего года практически все устанавливаемые тарифы являются необоснованными с точки зрения рыночной конъюнктуры и эффективности корпоративных финансов.

Остро в сложившихся обстоятельствах также встал вопрос о взаимодействии предприятия – владельца железнодорожной инфраструктурой и организаций – собственников железнодорожного подвижного состава (вагонов). Так, если алгоритм организации грузовых перевозок с использованием инвентарного парка Белорусской железной дороги выстроен так, чтобы обеспечивать максимальную эффективность, то привлечение частного парка вагонов независимых организаций (в основном крупнейших государственных экспортных предприятий и транспортных компаний) связано со значительными упущениями, наличие которых актуализировалось в условиях установления существенной нестабильности факторов внешней среды и привело к падению грузопотоков.

Например, за июнь – август 2022 г. процент выполнения заявок по отправлению контейнерных поездов со станций Минского отделения Белорусской железной до-

роги сократился с 89,6 до 52,5 %. В июне 2022 г. со станций Минского отделения Белорусской железной дороги была согласована отправка 596 контейнеров (10 контейнерных поездов), однако фактически обеспечено отправление лишь 534 контейнеров, составивших 89,6 % от установленного плана. В августе 2022 г. грузоотправителям одновременно было согласовано заявок на 2303 контейнера (37 контейнерных поездов), но по итогам месяца погружено и отправлено 1210 контейнеров, или 52,5 % от установленного количества [2].

Основными причинами невыполнения поданных заявок стали обстоятельства, напрямую не зависящие от железнодорожного перевозчика и заключающиеся в непредъявлении грузов, а также отказе заказчиков от перевозки. В данном контексте можно установить, что ключевым фактором, обуславливающим наличие наблюдаемых негативных тенденций, фактически является безответственное поведение заказчиков ввиду отсутствия у них какой-либо ответственности перед перевозчиком в случае невыполнения ранее поданных заявок на перевозку грузов в собственном подвижном составе. Именно в результате недостаточной проработанности нормативно-правовой базы и отсутствия статей, регулирующих ответственность независимых операторов перед перевозчиком в границах обеспечения установленных плановых значений, наблюдается значительное сокращение объемов грузовых перевозок с использованием собственного подвижного состава и соответствующее падение эффективности функционирования железнодорожного транспорта страны в целом.

Таким образом, все возникшие в настоящее время вопросы во взаимодействии Белорусской железной дороги имеют общую природу и обусловлены формированием негативных условий внешней среды. Одновременно данные вопросы могут быть разделены по уровню их возможного регулирования на три важнейшие группы:

- вопросы, не поддающиеся регулированию и затрагивающие область международных экономических отношений;
- вопросы, слабо поддающиеся регулированию и предусматривающие необходимость межгосударственного согласования;
- вопросы, поддающиеся регулированию и возможные к разрешению на республиканском уровне и уровне Белорусской железной дороги.

Распределение ранее отмеченных негативных факторов внешней среды в границах указанных групп наглядно представлено на рисунке 1.

Эффективное функционирование Белорусской железной дороги в сложившихся условиях внешней среды предусматривает необходимость реализации комплекса мер реагирования, направленных на решение отмеченных проблемных вопросов и минимизацию их негативного влияния на выполнение основных управленческих функций. При этом первоочередным является осуществление мероприятий, позволяющих полностью исключить отрицательные аспекты воздействия проблемных областей, поддающихся регулированию.

**Актуальные вопросы функционирования
национального железнодорожного транспорта**

<i>Вопросы, не поддающиеся регулированию</i>	<i>Вопросы, слабо поддающиеся регулированию</i>	<i>Вопросы, поддающиеся регулированию</i>
<p>✓ Наличие ограничений в видах и формах оплаты оказанных услуг</p> <p>Проблемы в области таможенного оформления и пропуска железнодорожных составов по территории других стран</p>	<p>✓ Наличие существенных ограничений в рамках географии и объема поставок</p>	<p>✓ Наличие ограничений по росту железнодорожных тарифов</p> <p>✓ Безответственное поведение заказчиков при перевозке грузов с использованием собственного подвижного состава</p>

Рисунок 1 – Ключевые вопросы функционирования Белорусской железной дороги, отражающие основы выстраивания взаимоотношений с иными участниками перевозочного процесса в современных условиях

Так, в рамках наличия ограничений со стороны органов государственного управления на рост железнодорожных тарифов важно предложить на рассмотрение более эффективную методику тарифообразования, адекватную сложившейся ситуации и предусматривающую наиболее быстрое реагирование на вызовы внешней среды. Данная методика может быть основана на цифровой модели, учитывающей ежедневное изменение ключевых экономических факторов (например, стоимости топливно-энергетических ресурсов, курса белорусского рубля и пр.). В границах политики взаимодействия Белорусской железной дороги с независимыми организациями-операторами железнодорожного подвижного состава актуальным одновременно является использование более жесткого подхода в части корректировки планов перевозок по объемам и направлениям, с определением границ ответственности операторов и проработкой конкретного размера штрафных санкций, а также установление ответственности заказчика перед оператором в объеме, обеспечивающем не только покрытие расходов, но и возмещение упущенной выгоды перевозчика.

В рамках слабо регулируемого вопроса, связанного с возникновением существенных ограничений в рамках географии и объема международных поставок, важно проводить политику постоянного поиска новых перспективных направлений. При этом необходимо подчеркнуть, что руководством Белорусской железной дороги на данный момент уже налажены новые варианты сотрудничества, а также существенно трансформированы выстроенные цепи поставок и политика взаимодействия с руководством и железнодорожными операторами

Получено 21.11.2022

A. A. Khoroshevich. Topical issues of building relations of the Belarusian Railway with other participants of the transportation process.

The article presents topical aspects of the interaction between the Belarusian Railways and other participants in the transportation process, followed by an indication of the existing problem areas. In the development of problems, directions for resolving existing issues and minimizing their negative impact are substantiated.

ми иных стран. Это позволило сократить негативное влияние данного фактора.

Дополнительно важно обеспечить реализацию мер, направленных на сокращение негативного воздействия неконтролируемых внешних факторов, в том числе через перенаправление отдельных финансовых потоков и формирование новых вариантов оплаты в рамках финансовых моделей, созданных для обеспечения расчетов в границах Союзного государства Республики Беларусь и Российской Федерации, а также Евразийского экономического союза. Частично данные меры уже реализованы руководством Белорусской железной дороги. С целью минимизации негативного характера последствий длительного пропуска железнодорожных составов по территории других стран одновременно важно обеспечить формирование системы планирования, имеющей высокую адаптивность и позволяющей производить корректировки загрузки в кратчайшие сроки в режиме реального времени. Данная система может быть построена на основе цифровой модели организации перевозочного процесса, учитывающей направления следования и количество загруженных вагонов, порожних на станциях погрузки, в том числе находящихся в ремонте.

Результатом разрешения имеющихся противоречий в границах представленных мер реагирования станет повышение согласованности действий национального оператора сети железных дорог и иных участников перевозочного процесса, способствующее росту уровня загрузки железнодорожной сети, а также соответствующему увеличению уровня получаемой выручки. Кроме того, будет наблюдаться сокращение непроизводительного простоя подвижного состава и повышение эффективности централизованного управления вагонным парком как за счет улучшения системы планирования, так и за счет оптимизации использования собственного подвижного состава. При этом стоит подчеркнуть необходимость соблюдения критерия комплексности и одновременной реализации всей совокупности предложенных мер реагирования, а также важность осуществления изменений с обязательным учетом иных особенностей функционирования национального железнодорожного транспорта.

Список литературы

1 Транспорт [Электронный ресурс] : офиц. сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. – 2022. – Режим доступа : <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>. – Дата доступа : 21.08.2022.

2 Отчетные данные по движению поездов : данные автоматизированной системы «Интегрированная обработка маршрута машиниста» (АС ИОММ) [Электронный ресурс] / Белорусская железная дорога. – Минск, 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

УДК 629.4.014.62:656.072

Т. А. ВЛАСЮК, кандидат технических наук, Э. И. ГАЛАЙ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; ЦЗЭН СЯНЬФЭН, аспирант, Гуанчжоуский профессионально-технический колледж железнодорожного транспорта, Китайская Народная Республика

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЭТАЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ ЗА РУБЕЖОМ В СЕРЕДИНЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА

Рассмотрены особенности и этапы развития двухэтажных пассажирских вагонов за рубежом с середины XIX до начала XX в. Проведен ретроспективный анализ изготовления и последующего применения таких вагонов на железнодорожном транспорте.

Первые двухэтажные пассажирские вагоны на зарубежных железных дорогах появились в середине XIX века, что было вызвано ростом пригородных пассажирских перевозок. В конце XIX века во многих странах мира увеличивается производство пассажирских вагонов, в том числе и двухэтажных, которые первоначально имели открытые вторые этажи, что в случае непогоды снижало их привлекательность и не способствовало популярности данного типа подвижного состава. Однако интерес к двухэтажным вагонам прослеживается на протяжении всей истории вагоностроения, что определяется значительным увеличением числа пассажирских мест, приходящихся на единицу длины вагона. Так, при длине кузова в 20 м, в двухэтажном вагоне может быть размещено 106 сидячих мест. Вход на верхний этаж обеспечивается посредством наружных двухсторонних лестниц, размещенных по концам кузова. Для пассажиров нижнего этажа предусмотрены двери, расположенные посередине боковых стен кузова. Следует отметить, что при движении поездов в пределах города перевозки осуществлялись по принципу «максимум пассажиров и минимум удобств», а это давало преимущество двухэтажным вагонам. С 30-х годов XX в. начинается массовое использование двухэтажных пассажирских вагонов на французских железных дорогах, где с ростом пассажиропотока в пригородах Парижа, Марселя, Лиона возникла потребность увеличения вместимости вагонов и замены морально и технически устаревшего парка. В связи с этим компаниями Entreprises Industrielles Charentaises (EIC) и Carel et Fouché для железных дорог Франции Chemins de fer de l'État были спроектированы и изготовлены двухэтажные вагоны (Voiture État в 2 étages), поступившие в эксплуатацию в 1933 году (рисунок 1) [2, 3].



Рисунок 1 – Двухэтажные пассажирские вагоны французского производства образца 1933 г.








Исходя из вышеизложенного выполним ретроспективный анализ изготовления двухэтажных пассажирских вагонов и их дальнейшего применения на железнодорожном транспорте (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, первые двухэтажные пассажирские вагоны появились практически одновременно с первой железной дорогой и были предложены для эксплуатации Американской железнодорожной компанией «Балтимор энд Огайо». Двухэтажный вагон того времени (конструкции немецкого инженера Ф. Листа) представлял собой карету с железнодорожным ходом, у которой сверху («на крыше») имелась площадка, прикрытая тентом с восьмиместной продольной лавкой [1, 2].

Повышению производства двухэтажных вагонов способствовал рост промышленности в середине XIX века, который вызвал необходимость прокладки железных дорог в крупных промышленных городах, где поезда не только курсировали по городу, но и доставляли рабочих на фабрики и заводы. Например, на железных дорогах Германии появились двухъярусные вагоны угловатой формы, вмещающие на первом этаже 30 человек с багажом (первый и второй классы), на втором – 40 (третий класс) [2]. Лестница на второй этаж находилась на торцевой стене вагона. В этот период поездки на железнодорожном транспорте в Европе становятся очень популярными, в том числе и в двухэтажных вагонах, особенно в пригородном сообщении. Далее с развитием железнодорожной сети и увеличением пассажиропотока двухэтажные вагоны стали применяться и в междугороднем сообщении.

Анализ таблицы 1 также показал, что для повышения эффективности работы пассажирского железнодорожного транспорта были реализованы инженерные разработки по увеличению вместимости вагона, повышению скорости движения поездов, а также уменьшению стоимости перевозки одного пассажира. При этом увеличение вместимости пассажирских вагонов осуществлялось за счет значительных изменений в конструкции вагона исходя из условий комфортности поездки с соблюдением габаритных размеров, т. е. создания двухэтажного пассажирского вагона.

Таблица 1 – Ретроспектива двухэтажного пассажирского вагоностроения (середина XIX – начало XX вв.)

Страна, период	Изображение	Конструкционные особенности
США, 1825 г.		Американская железнодорожная компания «Балтимор энд Огайо» впервые стала эксплуатировать двухэтажные вагоны
Франция, 50-е годы XIX в.	 <p style="text-align: center;">Voitures a iniperiale</p>	Двухосный одноэтажный вагон, на крыше которого размещалась надстройка второго этажа без боковых стен с поперечными лавками
Франция, 80-е годы XIX в.	 <p style="text-align: center;">Voiture Bidel</p>	Двухэтажные вагоны с полностью закрытым остекленным вторым этажом с центральным проходом
Швейцария, 1876 г.	 <p style="text-align: center;">Двухэтажный поезд А. Малета</p>	Использование принципа двойного расширения пара, позволившего значительно повысить экономии топлива в локомотиве
Франция, 1889 г.	 <p style="text-align: center;">Двухэтажный пассажирский вагон скоростного поезда французского инженера Ж. Буле</p>	Локомотив и вагон с большим диаметром колес (около 2,4 м) движутся по междугородним железным дорогам со скоростью до 150 км/ч. Конструкция вагона имеет большую изогнутую по концам раму и три купе первого этажа на уровне колес
Дания, 1900 г.	 <p style="text-align: center;">Двухэтажный пассажирский вагон III класса</p>	Вагоны не имели отопления и эксплуатировались в теплое время года. За низкие потолки и тесноту вагоны получили прозвище «Бисмарки». Вагон имел длину по осям сцепления 9,69 м и базу 4,57 м и был оборудован местами для сидения на 90 пассажиров. Высота вагона равнялась 4,26 м.
Россия, Нижний Новгород, 1907 г.	 <p style="text-align: center;">Двухэтажный пассажирский вагон IV класса</p>	Двухэтажный вагон для перевозки переселенцев. Вошел в историю как «Столыпинский вагон» (длина кузова – 20 м, пассажировместимость – 106 мест). Верхний этаж предназначался для семей переселенцев, нижний – для размещения домашней живности и скота

Необходимо отметить, что в некоторых странах Европы ввиду сложности рельефа с преобладанием гористой местности использование длинных поездов было затруднительно. Поэтому применение вместительных двухэтажных вагонов позволило формировать пассажирские поезда меньшей длины. Так, в немецком городе Герлиц на заводе WUMAG и в польском городе Бреслау (Вроцлав) на вагоностроительном заводе Linke-Hoffmann в 1936 году для железнодорожной компании Lübeck-Buchener Eisenbahn (LBE) были выпущены первые пассажирские двухэтажные вагоны LBE-DW, имеющие современную форму кузова (рисунок 2) [5–11].

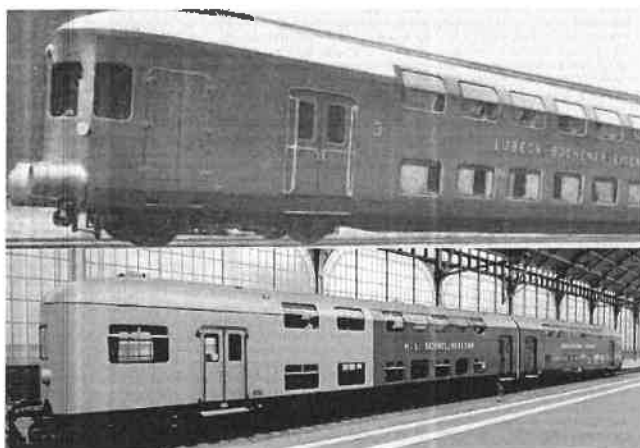


Рисунок 2 – Двухэтажные пассажирские поезда сочлененного типа

Компания Lübeck-Buchener Eisenbahn (LBE) выпускала вагоны секциями по два вагона. При этом концевые вагоны поезда имели кабины управления локомотивом (паровозом), а несущие кузова были цельнометаллическими. Позднее, в 1951 году, в бывшей Германской Демократической Республике (ГДР) стали выпускать и четырехвагонные секции (рисунок 3) [4].



Рисунок 3 – Двухэтажные поезда с двух- и четырехвагонными секциями

Вагоны двух- и четырехвагонных поездов имели сочлененную конструкцию, в которой по концам ходовых частей поезда располагались двухосные тележки, а между вагонами – трехосная. Вагоны были оборудованы местами для сидения и закрытыми межвагонными

переходами, что позволяло пассажирам беспрепятственно перемещаться из вагона в вагон (в пределах секции). Четырехвагонный поезд длиной 73,4 м вмещал до 900 пассажиров и развивал максимальную скорость движения до 120 км/ч. Для увеличения пропускной способности железной дороги часто двухэтажные поезда сцепляли в один состав.

В 1930-е годы в США американская железнодорожная компания Long Island Rail Road начала эксплуатировать несамостоятельные двухэтажные пассажирские вагоны, построенные по принципу 4DD, получившие обозначение «200», в которых сидения располагались в шахматном порядке в вертикальной плоскости (над головой человека, сидящего на первом этаже, располагалось сиденье купе второго этажа) (рисунок 4).

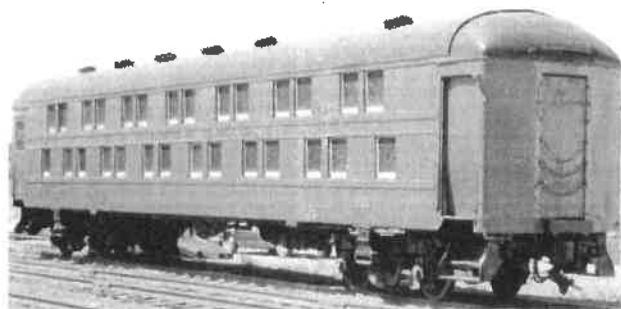


Рисунок 4 – Двухэтажный пассажирский вагон с шахматным расположением сидений

В 50-е годы XX века с выпуском двух- и четырехвагонных двухэтажных секций на заводе VEB Waggonbau Görlitz начали изготавливать двухэтажные пассажирские вагоны, сцепленные в секции по три (DGB26 DR) или по пять (DGB9pe DR) (рисунок 5) [4–11].



Рисунок 5 – Двухэтажные пятивагонные пассажирские поезда сочлененного типа

Двухэтажные пятивагонные пассажирские поезда сочлененного типа предназначались для дальнего следования и с использованием локомотивной тяги. Однако имеющиеся недостатки данного типа двухэтажных поездов, среди которых невозможность изменения количества вагонов в секции в случае изменения пассажиропотока, а также ремонт целой секции при поломке одного вагона, приводили к увеличению затрат по сравнению с отдельными двухэтажными вагонами. Поэтому ввиду имеющихся недостатков поезда секционного типа на железных дорогах Германии и других стран Европы перешли на отдельные двухэтажные вагоны, в которых тамбур располагался в средней части

кузова и имел низкий уровень пола. Максимальная скорость движения таких вагонов составляла 120–140 км/ч.

Таким образом, основными преимуществами двухэтажного вагона по сравнению с одноэтажным являются:

- большая пассажировместимость;
 - меньшая стоимость проезда с такими же условиями комфортности для пассажира (повышение конкурентоспособности в отношении других видов транспорта);
 - меньшие расходы на перевозку одного пассажира (повышение рентабельности).
- К недостаткам относятся следующие факторы:
- увеличенная масса вагона;
 - усложненная конструкция кузова;
 - увеличенная цена приобретения вагона;
 - большие размеры кузова и, как следствие, увеличение габарита.

Следует отметить, что усложнение конструкции кузова касается увеличения высоты боковой стены и понижения салонной части кузова для возможности размещения второго этажа. Понижение кузова исключает возможность размещения подвагонного оборудования по длине базы вагона, которое из-за данного обстоятельства размещается внутри вагона. Тем самым все эти факторы сказываются на увеличении высоты центра массы кузова и, в конечном счете, на динамических качествах двухэтажного вагона. Поэтому для двухэтажных вагонов были разработаны новые или усовершенствованы прежние конструкции ходовых частей вагонов. Однако двухэтажный подвижной состав по-прежнему является перспективной областью в сфере пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.

Получено 02.11.2022

T. A. Vlasuk, E. I. Galay, Zeng Xianfeng. Retrospective analysis of the use of double-decker passenger cars in railway transport abroad.

The first double-decker passenger cars on foreign railways appeared in the middle of the nineteenth century, which was caused by the growth of suburban passenger traffic. Double-decker cars have a larger capacity, which makes it advisable to use them on the busiest lines. In the twentieth century, double-decker suburban, intercity, and long-distance trains appeared in many countries of the world, the use of which became a solution to the problem of rapidly growing passenger traffic and a way to reduce transport costs.

Список литературы

- 1 Gillon, S. M. The American Experiment. A history of the United States. Third edition / S. M. Gillon, C. D. Matson. – Boston, Wadsworth : Wadsworth Publishing, 2013. – 1877 p.
- 2 Стрельцов, А. Билет на второй этаж / А. Стрельцов // Техника – молодежи. – 1988. – № 7. – С. 31–35.
- 3 Bunk wagons in France over the centuries [Electronic resource]. – Mode access : http://m.inforail.pl/pietrowe-wagony-we-francji-na-przestrzeni-dziejow_more_56326.html. – Date of access : 02.11.2022.
- 4 Каммер, Р. Двухэтажные пассажирские вагоны железных дорог Германии / Р. Каммер // Железные дороги мира. – 2008. – № 12. – С. 34–39.
- 5 Лебедев В. А. Обоснование технических решений конструкции двухэтажного пассажирского вагона : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / В. А. Лебедев. – М., 2017. – 178 с.
- 6 Суворова, Т. А. Двухэтажные железнодорожные пассажирские поезда история возникновения и развития / Т. А. Суворова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 8. – С. 55–64.
- 7 Двухэтажный вагон [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://ru.wikipedia.org/wiki/двухэтажный_вагон. – Дата доступа : 02.11.2022.
- 8 Краткий исторический обзор развития вагоностроения и вагонного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.vagoni-jd.ru/razdel_02-1-kratkii-ist-obzor/. – Дата доступа : 02.11.2022.
- 9 История: сидячие двухэтажные вагоны Китая [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://vk.com/@ru_if_train-istoriya-sidyachie-dvuhetazhnye-vagony-kitaya. – Дата доступа : 02.11.2022.
- 10 Как менялся железнодорожный транспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://story.tutu.ru/kak-menjalsja-zheleznodorozhnyj-vagon/>. – Дата доступа : 02.11.2022.
- 11 Общественный транспорт: история двухэтажных поездов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://dorognoe.ru/programs/obschestvennyy-transport/istoriya-dvuhetazhnyh-poezdov-4160.html>. – Дата доступа : 02.11.2022.

УДК 656.025.2

Е. В. НИКИТИН, Белорусская железная дороги, г. Гомель; П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, Э. И. ГАЛАЙ, доктор технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ НА НАПРАВЛЕНИЯХ БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В современных экономических реалиях к качеству перевозочного процесса на всех видах транспорта, и в том числе железнодорожном, предъявляются новые, более высокие требования. На первый план выходят пожелания клиентов к сокращению времени нахождения в пути и комфортности поездки при безусловном соблюдении безопасности движения поездов. В ходе изучения отдельных направлений Белорусской железной дороги проанализированы основные причины снижения скоростей.

Введение. Положение Республики Беларусь в центре Европейского континента между крупнейшими торговыми партнерами – Китаем и Европой – формирует главный вызов для развития транзитных коридоров. На территории Республики Беларусь сходятся важнейшие трансъвропейские коридоры, обозначенные по международной классификации номером 2 (Запад – Восток) и номером 9 (Север – Юг) с ответвлением 9b.

Транспортный коридор № 9 соединяет Финляндию, Литву, Россию, Беларусь, Украину, Молдову, Румынию, Болгарию и Грецию, пересекает территорию республики с севера на юг в обход крупных промышленных центров: Витебска, Могилева, Гомеля. Протяженность железнодорожных линий транспортного коридора № 9: направление Терюха – Гомель – Витебск – Езерище – 489 км; направление Гудогай – Молодечно – Минск – Жлобин – 372 км.

Транспортный общеевропейский коридор № 2 Берлин – Варшава – Минск – Москва – Нижний Новгород, соединяющий Германию, Польшу, Беларусь и Россию, определен Европейским союзом как приоритетный среди Критических коридоров в связи с важным значением проходящих по нему торговых потоков в сообщении Запад – Восток. В пределах Республики Беларусь железнодорожная линия пролегает по направлению Брест – Минск – Орша – Осиновка.

Участок транспортного коридора № 2 (Красное (Россия) / Осиновка (Беларусь) – Брест) является двухпутным полностью электрифицированным и оснащенным устройствами автоматической блокировки, электрической и диспетчерской централизации. Эксплуатационная длина коридора по территории Беларуси – 611 км. Допустимые скорости движения: грузовых поездов – 80–90 км/ч, пассажирских – 140 км/ч.

Стремление к соответствию новому качеству перевозочного процесса приводит к резкому повышению требований к инфраструктуре железной дороги, направленному на увеличение пропускной способности станций и перегонов, а также повышению скоростей движения.

Многолетний зарубежный опыт проектирования и эксплуатации железнодорожного транспорта, несмотря на различия социально-экономических, геологических, топографических, демографических условий в разных странах, доказал целесообразность двух способов решения проблемы повышения скорости:

- организации скоростного движения на существующих линиях;
- строительство и ввод в эксплуатацию специализированных высокоскоростных магистралей.

Белорусская железная дорога пошла по первому варианту как менее затратному. При этом увеличения пропускной способности можно добиться реализацией таких организационных мероприятий:

- увеличение размера тяговых плеч;
- уменьшение станционных и поездных интервалов;
- сокращение времени на выполнение технологических операций;
- работа со сборными поездами.

Можно решить задачу увеличения пропускной способности и реализацией технических мероприятий, таких как:

- применение передовых конструкций и элементов железнодорожного пути;
- путевое развитие станций, развитие входных-выходных горловин станции;
- укладка второго и третьего путей на перегоне для скрещения и обгона поездов;
- использование двухпутных вставок на перегоне для безостановочного скрещения поездов;
- переход на микропроцессорную централизацию;
- модернизация средств связи;
- усиление мощности тягового электроснабжения и тяговых подстанций;
- вод в эксплуатацию современного подвижного состава.

Развитие железнодорожного транспорта в части применения передовых конструкций верхнего строения пути ведется постоянно на протяжении всей истории транспорта. Для обеспечения повышения скоростей движения поездов и увеличения осевых нагрузок подвижного состава усиливалась и совершенствовалась конструкция рельсов. Так, в главном пути эксплуатировались рельсы Р38, Р43, Р50, на данный момент – Р65 и в отдельных случаях – Р75. Такая же ситуация и со стрелочными переводами. Ранее – стрелочные переводы Р43, Р50 типа 1/9, на данный момент – Р65 типа 1/11 и 1/18. Повсеместно в главном ходу производится замена стрелочного основания – с деревянного стрелочного бруса на железобетонный брус. С повышением скоростей движения пересматриваются план и профиль железнодорожной линии.

Причины ограничений скорости. В результате анализа приказа Начальника Белорусской железной дороги от 02 июля 2013 г. № 231Н «Об установлении допускаемых скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге» установлено, что практически на каждом направлении имеются участки пути со снижением скоростей движения (так называемые «барьерные

места»: кривые, мосты, горловины станций). Такие локации имеются и на направлениях Гомельского отделения дороги.

При анализе экспликации стрелочных переводов, уложенных на станциях Гомель, Центролит, Прибор, Якимовка, Сенозавод, Речица, Ребуса, Демехи, Лиски,

Бабичи и Василевичи видно, что в главном ходу эксплуатируются обыкновенные стрелочные переводы проектов 1740, 2433, 2768, 53103, скорость движения на боковой путь которых согласно техническим характеристикам и действующему приказу – 50 км/ч (рисунок 1).

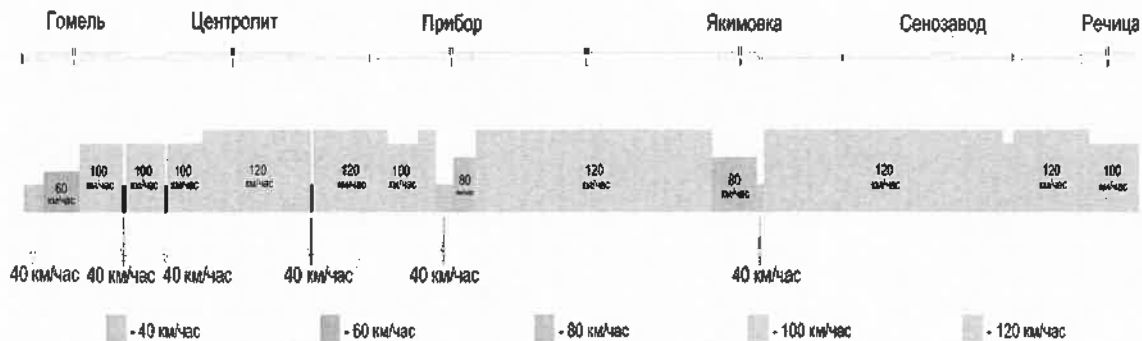


Рисунок 1 – Существующие скорости движения

Ограничивающими скорость местами стали четная и нечетная горловины станции Гомель и Центролит, нечетная горловина станции Прибор и четная горловина станции Якимовка. Для устранения этих «барьерных мест», с нашей точки зрения, возможным техническим мероприятием является применение в пути одиночного обыкновенного стрелочного перевода марки 1/18 (при соответствующем технико-экономическом обосновании). Применение таких стрелочных переводов позволит повысить скорость движения поездов до 80 км/ч.

Стрелочный перевод на железобетонных брусьях типа Р65 марки 1/18, проектов ПТКБ ЦП 2870.00.000 имеет характеристики, представленные в таблице 1.

В ходе мониторинга технических характеристик верхнего строения железнодорожного пути участка Гомель – Василевичи были установлены причины снижения скорости движения поездов вплоть до 40 км/ч, что отрицательно влияет на время нахождения поезда в пути. Для установления на данном участке причин, способствующих увеличению нахождения в пути следования поездов, применена диаграмма Исикавы, она же «рыбья кость», она же «диаграмма причинно-следственных связей», которая помогает категоризировать и визуализировать потенциальные причины возникновения проблемы. Диаграмма представлена на рисунке 2.

При разборе диаграммы, применительно к направлению Гомель – Василевичи основными причинами снижения скоростей является отсутствие современных и прогрессивных элементов верхнего строения пути и отсутствие системного анализа эксплуатируемых в пути стрелочных переводов со стороны технических работников.

Таблица 1 – Характеристики стрелочного перевода на железобетонных брусьях типа Р65 марки 1/18

Характеристика	Значение
Тип рельсов	Р65
Марка крестовины	1/18
Ширина колеи, мм	1520
Полная длина перевода по прямому пути, мм	61660
Радиус бокового пути (по рабочей грани наружного рельса), мм	962500
Максимальная статическая нагрузка на рельс, кН, от оси:	
вагона	235
локомотива	245
Максимальная скорость движения пассажирских поездов, км/ч, по пути:	
прямому	200
боковому	80
Масса, т, не более	26

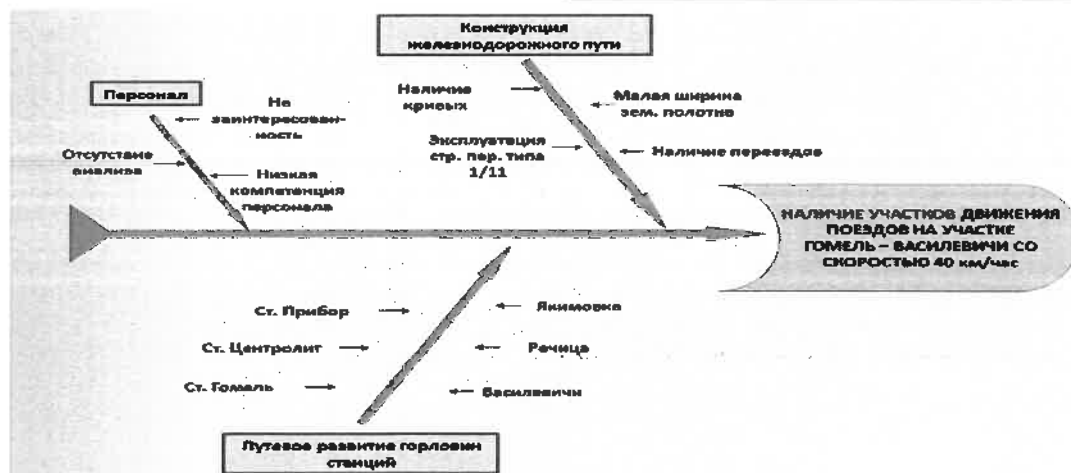


Рисунок 2 – Диаграмма Исикавы

Вариант решения вопроса. После реализации технических мероприятий по укладке в путь стрелочных переводов марки 1/18 диаграмма скоростей будет выглядеть следующим образом (рисунок 3).

Скорость движения поездов взаимно связана со сроками доставки грузов, сокращением времени нахождения пассажиров в пути, привлечением пассажиропотока на железнодорожный транспорт и, как следствие, сокращением убыточности пассажирских перевозок.

Таким образом, повышение скоростей движения приведет к повышению конкурентоспособности железнодорожных услуг не только на внутреннем рынке услуг, но и на международном транспортном рынке и формированию взаимовыгодных условий для интенсификации сотрудничества с партнерами.

На примере ликвидации одного из «барьерных мест» рассмотрен ряд вариантов по переустройству (четная горловина станции Якимовка). Варианты представлены на рисунках 4 и 5.

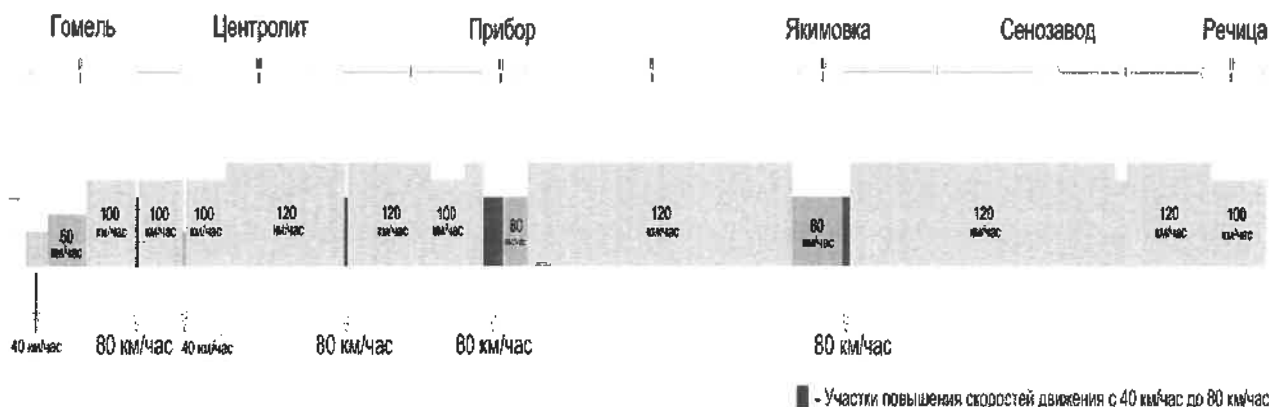


Рисунок 3 – Диаграмма скоростей движения после внедрения мероприятий

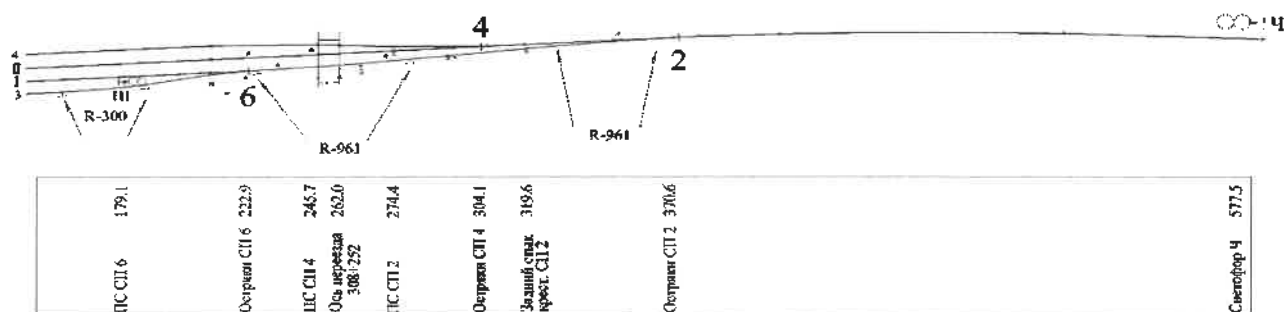


Рисунок 4 – Перекладка стрелочного перевода № 2 с изменением ординаты и радиуса кривой

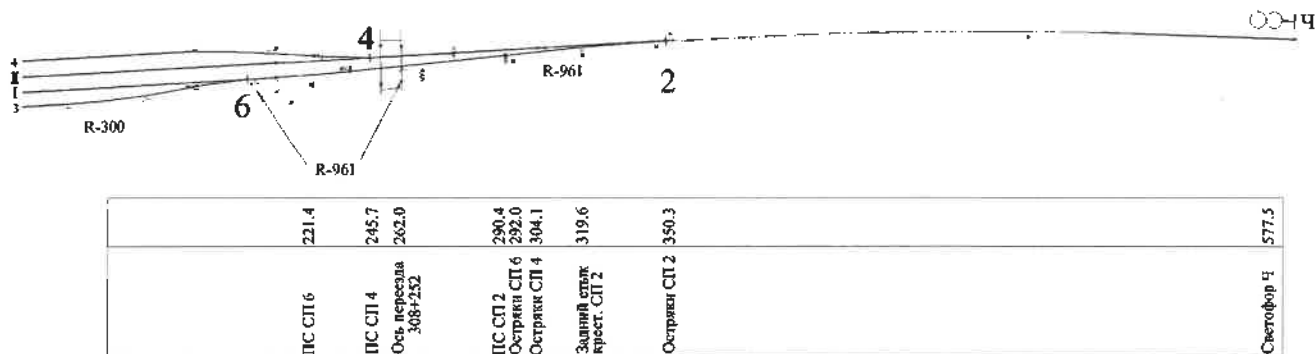


Рисунок 5 – Перекладка стрелочного перевода № 2, 4, 6 с изменением ординат

Вывод. Как известно, электрификация Белорусской железной дороги направлена на увеличение провозной и пропускной способности железной дороги. Одним из этапов электрификации Гомельского отделения Белорусской железной дороги является элект-

рификация участка Гомель – Калинковичи. Надо учесть, что реализация мероприятия по укладке стрелочных переводов типа 1/18 будет наиболее эффективна до проведения работ по электрификации рассматриваемого направления.

Список литературы

1 Об установлении допускаемых скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге : приказ Белорусской железной дороги от 02 июля 2013 г. № 231Н. – Минск, 2013.

2 Организация переустройства железных дорог под скоростное движение поездов : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / под ред. И. В. Прокудина. – М. : Маршрут, 2005. – 716 с.

3 Об утверждении Норм допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) и 1435 мм на Белорусской железной дороге : приказ от 29 сентября 2020 г. № 763НЗ. – Минск, 2020.

4 Ковтун, П. В. Анализ эффективности введения скоростного движения на Белорусской железной дороге /

П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская, А. С. Братикова // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2020. – № 1 (40). – С. 37–39.

5 Основные технические решения по повышению скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 56–59.

6 Ковтун, П. В. Анализ основных технических решений, направленных на повышение скоростей движения поездов Республике Беларусь / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская, А. И. Стрижак // Вестник СГУПС. – 2022. – № 2 (61). – С. 16–23.

7 Ковтун, П. В. Мониторинг путевых решений повышения скоростей движения поездов / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская, А. И. Стрижак // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (43). – С. 34–36.

Получено 30.10.2022

E. V. Nikitin, P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, E. I. Galay. Measures to increase train speeds on the directions of the Belarusian Railway.

In modern economic realities, new, higher requirements are imposed on the quality of the transportation process on all types of transport, including on the railway. At the forefront are the wishes of customers to reduce the time spent on the road and the comfort of the trip with the unconditional observance of train safety. In the course of studying certain directions of the Belarusian railway, the main reasons for the decrease in speeds were identified – the lack of modern and progressive elements of the upper structure of the track, as the least expensive, from the point of view of financial expenses.

УДК 330.322:656.2

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДЕКСНОГО МЕТОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНВЕСТИЦИЯМИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Приведены результаты исследований условий использования индексного метода при управлении инвестициями на железнодорожном транспорте. Рассматривается методический подход к оптимальному определению размера инвестиций в развитие отраслевых хозяйств железной дороги. Приводятся варианты полученных результатов сравнительного анализа влияния факторов эксплуатационной деятельности железной дороги на размеры инвестирования функциональной деятельности и развития её структурных предприятий.

Ретроспектива реализации крупномасштабных инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте Беларуси в условиях рыночной экономики свидетельствует о значительных экономических потерях на этапах их технико-экономического обоснования. Это связано с отсутствием эффективного механизма управления инвестициями. На железнодорожном транспорте активно используется метод инвестирования по принципу «закрытия дыр» [1]. При этом появляются последствия влияния фактора неопределенности, в большей степени присущего специфике крупномасштабных проектов. Для Белорусской железной дороги к ним отнесены следующие:

- приобретение электровозов переменного тока в КНР;
- электрификация направлений Минск – Гомель и Жлобин – Калинковичи – Барбаров;
- приобретение грузовых вагонов: цистерн и полувагонов;
- реализация международного транспортного проекта «Шёлковый путь» по перевозке контейнеров из КНР в страны ЕС;
- приобретение электропоездов «Штадлер» для региональных, межрегиональных и городских перевозок;
- развитие транспортной логистики Белорусской железной дороги.

Анализ показал, что инвестирование рассматриваемых проектов не всегда оказывалось эффективным, так как является одновременно финансовым вливанием в функциональные виды деятельности железной дороги и в поддержание технической готовности отраслевых предприятий на нормативном уровне (рисунок 1).



Рисунок 1 – Оценка эффективности инвестирования функциональной деятельности и отраслевых предприятий

Из рисунка 1 видно, что инвестиции, направляемые на активацию объёмов перевозок, приносят большую отдачу по сравнению с инвестированием аналогичного

вида деятельности, выполняемой отраслевыми предприятиями.

С точки зрения моделирования инвестиционных программ в многопериодных моделях данного класса, к которым относится инвестирование железнодорожного транспорта, рассматривается следующее:

– во-первых, один и тот же инвестиционный проект с одинаковой совокупностью субпроектов (одинаковой инвестиционной нагрузкой на экономику железной дороги), помещённый в народнохозяйственную среду, описываемую моделями разных периодов, вызывает различный макроэкономический эффект. Это связано с тем, что финансовая модель каждого периода реализации инвестиционного проекта «настроена» на свою совокупность гипотез экономического развития железной дороги;

– во-вторых, многопериодность позволяет разнести затраты (если они осуществляются в первом периоде и продолжают осуществляться в последующих) и внутриотраслевой результат (ввод новых железнодорожных объектов, увеличение грузооборота или пассажирооборота, эффективное использование финансовых ресурсов во втором периоде) по периодам модели;

– в третьих, общая оценка макроэкономического эффекта от инвестиций усложняется: инвестиционная нагрузка на экономику железной дороги и её структурных предприятий в первом периоде и вызываемые ею макроэкономические эффекты взвешиваются с ожидаемыми макроэкономическими эффектами и внутриотраслевым результатом второго периода, вызываемыми частью инвестирования, которая приходится на этот период.

Мировой опыт инвестирования железных дорог показывает, что в целом железнодорожные корпорации инвестируют капитальные проекты, согласованные с правительствами своих государств. Финансирование таких проектов проводится с участием бюджета по программе частно-государственного партнёрства. Задачей этого инвестиционного комплекса является повышение эффективности и конкурентоспособности железнодорожных грузовых и пассажирских перевозок с достижением эффективности использования подвижного состава и перевозочной способности железнодорожной инфраструктуры. Значительные средства на эту программу реконструкции, тщательно разработанной с привлечением специалистов отрасли, предоставляет правительство страны. Инвестирование этого направления позволяет сократить время доставки грузов и повысить комфортабельность перевозки пассажиров,

что в свою очередь, значительно повысит конкурентоспособность железной дороги по сравнению с автомобильным транспортом.

Мировой опыт инвестирования в железнодорожный транспорт показывает, что этот процесс жёстко контролируется государством при разработке государственных программ развития железнодорожного транспорта. Беларусь не является исключением. В программе развития железнодорожного транспорта на 2021–2025 гг. предусмотрено 18 инвестиционных проектов, которые позволят нарастить объёмы грузовых перевозок, повысить скорости движения пассажирских поездов при снижении эксплуатационных расходов на их выполнение. Повысить максимальную скорость поездов позволит укладка новых технологических элементов пути: железобетонных шпал, рельсов, мостов. Модернизация таких масштабов позволит в течение периода инвестирования увеличить долю железнодорожного транспорта в грузовых перевозках в стране [2].

Основные тенденции инвестиционного развития железнодорожного транспорта требуют привлечения больших объёмов средств и рассмотрения различных источников финансового обеспечения инвестиционных проектов:

– источниками инвестирования выступают средства, полученные из различных источников и от различных субъектов хозяйствования в отрасли (собственное инвестирование);

– привлечение государственных средств: 1) прямое инвестирование в функциональные виды деятельности (грузовые и пассажирские перевозки, производство комплектующих изделий по программе импортозамещения), социальные программы на транспорте; 2) обслуживание кредитов международных финансовых организаций [3]. Результативность инвестиций из различных источников показана на рисунке 2.



Рисунок 2 – Оценка эффективности инвестирования функциональной деятельности и отраслевых предприятий

Из диаграмм, приведенных на рисунке 2, видно, что бюджетное финансирование окупается на 100 %. Это связано с тем, что государство имеет более весомые рычаги воздействия на железнодорожную администрацию по возврату вложенных средств. Отраслевое и внешнее финансирование имеют эффективность более низкую, что связано с использованием привлекаемых финансовых ресурсов на другие, сопутствующие цели отраслевых предприятий.

Инвестиционные проекты, реализуемые в сфере железнодорожного транспорта, входят в число самых

крупных инфраструктурных проектов в белорусской экономике. Однако при этом наблюдается снижение отдельных эксплуатационных показателей отрасли: пассажирские и местные грузовые перевозки. В последнее время возникла необходимость инвестирования не только в объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта, но и в совместную работу всех участников перевозочного процесса (в транспортную логистику, выходящую за функциональную деятельность железной дороги) [4].

Развитие открытого конкурентного мирового рынка транспортных услуг, который напрямую связан с транспортными процессами в Беларуси, вызвано научно-техническим прогрессом и повышением эффективности и результативности работы транспортных компаний за счет развития и совершенствования подходов к управлению хозяйственной деятельностью [5].

Это приводит к тому, что важное значение имеет комплексное научное обоснование систем управления национальной экономикой в целом, а также отдельными отраслями, предприятиями и комплексами. В результате развития промышленности и роста товарных взаимоотношений между различными государствами и транспортом встает важная задача перевозки экспортных и транзитных грузов не только внутри континента, но и между континентами. Одним из важнейших нововведений как для индустрии транспорта, так и для ее компонентов, участвующих в международной и внутренней торговле, является перевозка грузов в контейнерах.

В условиях растущей конкуренции на рынке железнодорожных перевозок возникла необходимость реагирования на изменения рынка и оказание услуг по перевозке грузов и пассажиров с высоким качеством и максимальной экономической эффективностью. В результате возник процессный метод организации инвестиций, напрямую связанный с управлением процессами продаж транспортных услуг, их разработки и продвижения, организации перевозки.

Процессное управление инвестициями на основе системы бизнес-процессов является перспективным направлением научных исследований, так как применение системного подхода как процесса управления результатами инвестирования позволяет эффективно распорядиться имеющимися и привлекаемыми ресурсами, распределить ответственность за их использование.

Сущность и содержание управления инвестициями на основе процессного подхода предусматривает наличие связи системы бизнес-процессов на транспорте со стратегией его развития, системой ключевых показателей эффективности. Важными факторами достижения эффективности инвестиций являются организационная структура транспортной компании, внутренняя проверка и сертификация системы менеджмента целесообразности применения процессного подхода к инвестированию на железнодорожном транспорте.

Процессный подход к инвестированию предусматривает направления оценки и планирования инвестиций:

1) планирование инвестиций в перевозочный процесс с учетом интегрального показателя оценки его результативности по факторам: объёмный показатель эксплуатационной работы (тонно- и пассажиро-километры), себестоимость их выполнения, энергоёмкость

затрат транспортной деятельности, доля амортизации в суммарных эксплуатационных расходах, относимых на вид перевозки;

2) планирование и распределение инвестиций по отраслевым хозяйствам с разделением их по видам перевозок.

Формализация планирования инвестиций в перевозочный процесс с учетом интегрального показателя происходит следующим образом.

Интегральный показатель оценки технической политики по инвестированию грузовых перевозок

$$\varepsilon_{гр} = \sqrt{\frac{D_{г}}{E_{г}} \cdot \frac{W_t}{W_{баз}} \cdot k_{IT}^{гр} \cdot \frac{C_{инв/гр}^t}{C_{инв/гр}^{баз}}}, \quad (1)$$

где $D_{г}$ – доходы железной дороги от грузовых перевозок; $E_{г}$ – расходы железной дороги от выполнения грузовых перевозок; W_t – грузооборот железной дороги за расчётный период; $W_{баз}$ – грузооборот железной дороги за базовый период; $k_{IT}^{гр}$ – интегральный измеритель по использованию информационных технологий при выполнении грузовых перевозок; $C_{инв/гр}^t$ – инвестиции в транспортный комплекс железной дороги по выполнению грузовых перевозок в расчётном периоде; $C_{инв/гр}^{баз}$ – инвестиции в транспортный комплекс железной дороги по выполнению грузовых перевозок в базовом периоде. Инвестиции в транспортный комплекс на железной дороге включают компоненты: 1) прямые инвестиции (оборудование, не входящее в сметы на строительство; модернизация технологического оборудования, машин и транспортных средств; приобретение подвижного железнодорожного состава); 2) затраты на проектно-исследовательские работы (ПИР); 3) затраты на выполнение строек.

Интегральные показатели оценки технической политики по инвестированию грузовых перевозок для железнодорожных администраций разных стран могут существенно различаться (рисунок 3).

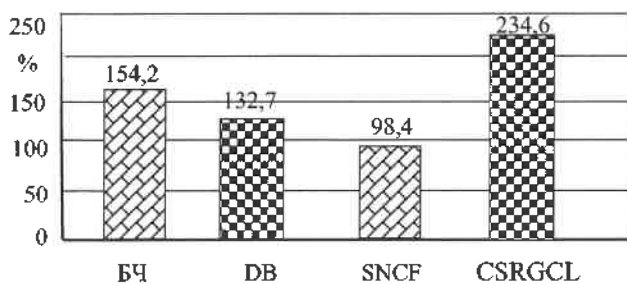


Рисунок 3 – Значения интегрального измерителя оценки инвестиций в грузовые перевозки

Из приведенных на рисунке 3 диаграмм видно следующее:

– наиболее активный рост интегрального измерителя инвестиций за 20 лет наблюдается на железных дорогах Китая (CSRGCL – China State Railway Group Company Limited), которые в 2021 г. по отношению к 2000 г. составили 236,4 %;

– администрация БЧ занимает второе место, что связано с инвестициями в логистику грузовых перевозок (проект транзита Китай – Западная Европа).

Европейские железные дороги, к которым относятся Французские и Немецкие замедлили инвестиции в грузовые перевозки, что связано с передачей большинства грузов внутригосударственного сообщения на автотранспорт, а международные перевозки получили сокращение в период экономического кризиса 2008–2010 гг.

Интегральный показатель оценки технической политики по инвестированию пассажирских перевозок рассчитывается следующим образом:

$$C_{инв}^{гр} = \sum_{i=1}^I e_i^{гр}; \quad I = 7, \quad (2)$$

где $e_i^{гр}$ – инвестиции i -го отраслевого хозяйства в пассажирские перевозки.

Интегральный показатель оценки технической политики по инвестированию пассажирских перевозок рассчитывается следующим образом:

$$\varepsilon_{пс} = \sqrt{k_{бк} k_{ме} k_{эк} k_{IT}^{пс} \frac{C_{инв/пс}^t}{C_{инв/пс}^{баз}}}, \quad (3)$$

где $k_{бк}$ – комплексный измеритель, оценивающий динамику финансово-объемных показателей эксплуатационной работы при выполнении пассажирских перевозок по бизнес-классу обслуживания; $k_{ме}$ – комплексный измеритель, оценивающий динамику финансово-объемных показателей эксплуатационной работы при выполнении пассажирских перевозок в международном сообщении; $k_{эк}$ – комплексный измеритель, оценивающий динамику финансово-объемных показателей эксплуатационной работы при выполнении пассажирских перевозок по экономклассу обслуживания; $k_{IT}^{пс}$ – интегральный измеритель по использованию информационных технологий при выполнении пассажирских перевозок; $C_{инв/гр}^t$ – инвестиции в транспортный комплекс железной дороги по выполнению грузовых перевозок в расчётном периоде; $C_{инв/гр}^{баз}$ – инвестиции в транспортный комплекс железной дороги по выполнению грузовых перевозок в базовом периоде.

Рассматриваемый интегральный показатель качества выполнения пассажирских перевозок при различном классе их реализации позволяет оценить правомочность инвестиций в вид деятельности для достижения следующих целей: 1) нарастить объёмы пассажирских перевозок по более высокому классу обслуживания и, соответственно, с более высокой добавленной стоимостью при использовании аналогичной железнодорожной инфраструктуры.

Интегральные показатели оценки технической политики по инвестированию пассажирских перевозок для железнодорожных администраций разных стран могут существенно различаться (рисунок 4).

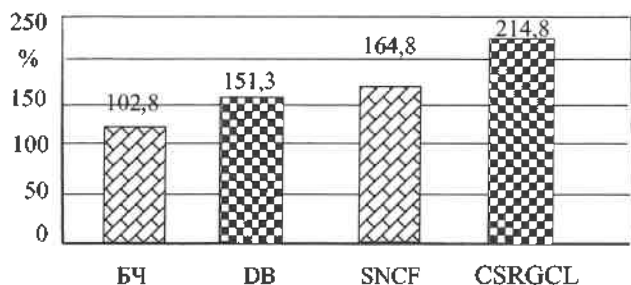


Рисунок 4 – Значения интегрального измерителя оценки инвестиций в пассажирские перевозки

Из приведенных на рисунке 4 диаграмм видно следующее:

- наиболее активный рост интегрального измерителя инвестиций за 20 лет наблюдается на железных дорогах Китая (CSRGCL – China State Railway Group Company Limited), которые в 2021 г. по отношению к 2000 г. составили 214,8 %. Основные инвестиции в пассажирские перевозки в КНР направлены в развитие высокоскоростного движения пассажирских поездов (со скоростью движения 350–420 км/ч);

- максимальные инвестиции в пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте отмечены на Французских железных дорогах. Основные инвестиции направлены на развитие высокоскоростного движения поездов межрегионального сообщения (со скоростью движения 400–470 км/ч). Региональное сообщение передано на автомобильный транспорт полностью и не инвестируется;

- для Белорусской железной дороги перевозки пассажиров носят социально значимый характер, что определяет характер инвестиций в пассажирские перевозки: проведение электрификации для перевода региональных и межрегиональных поездов на электрическую тягу с использованием мотор-вагонного подвижного состава белорусского производства.

Интегральный показатель оценки технической политики по инвестированию отраслевых хозяйств железной дороги рассчитывается следующим образом:

$$\varepsilon_{\text{ох}} = \sqrt{\tau_{\text{пк}} \cdot \tau_{\text{себ}} \cdot \tau_{\text{амр}} \cdot \tau_{\text{инв}}}, \quad (4)$$

где $\tau_{\text{пк}}$ – темп изменения показателя эксплуатационной работы отраслевого хозяйства; $\tau_{\text{себ}}$ – динамика изменения себестоимости выполнения отраслевого показателя; $\tau_{\text{амр}}$ – динамика изменения начисления на амортизацию основных фондов отраслевого хозяйства; $\tau_{\text{инв}}$ – динамика изменения инвестиций в функциональную деятельность отраслевого хозяйства.

Для каждого отраслевого хозяйства установлены эксплуатационные показатели по основной деятельности, на которые ориентируется инвестирование в отраслевое хозяйство:

- 1) пассажирское – пассажиро-километры по видам сообщения и классу обслуживания;

- 2) грузовой работы и внешнеэкономической деятельности – погружено вагонов (по роду подвижного состава и видам сообщения);

- 3) перевозок – поездо-километры с учетом общего пробега (локомотиво-километры (секционные-километры моторвагонного)) подвижного состава;

- 4) локомотивное – тонно-километры брутто по всем видам движения и тяги;

- 5) вагонное – вагоно-километры пробега грузовых вагонов;

- 6) пути: для перегонных путей – тонно-километры брутто всех видов движения; для станционных путей – вагоно-километры всех видов подвижного состава и локомотиво-километры;

- 7) сигнализации и связи: для перегонных устройств – поездо-километры и локомотиво-километры одиночного следования; для станционных устройств СЦБ – маневровые передвижения на станции;

- 8) электрификации и электроснабжения – тонно-километры брутто по всем видам движения электрической тяги;

- 9) главный расчетный информационный центр. КТЦ. ЦЗИ – приведенные тонно-километры.

Все показатели закреплены в статистической отчетности железной дороги.

Степень взаимосвязи между объемом перевозок и инвестициями в железнодорожный транспорт определяется коэффициентом корреляции, который определяет характер статистической взаимосвязи, при которой изменение одного показателя влечет за собой изменение других. Определенное значение коэффициента варьируется, что свидетельствует о характере связи между показателями, определяющими инвестиционную политику железной дороги [6]. Важным показателем, определяющим необходимость инвестиций в железнодорожный транспорт, является доходность транспортной деятельности отраслевого хозяйства. При этом не всегда учитывается степень износа основных средств отраслевых хозяйств. В ряде случаев возникает потребность незначительной части инвестиций в отраслевое хозяйство в части поэтапного вывода основных средств, потребность которых в будущем ослабевает.

Планирование и распределение инвестиций по отраслевым хозяйствам с разделением их по видам перевозок формализована в следующем виде:

$$f_{\text{ох}}^t = \varphi_{\text{ох}}^t (f_{\text{пр}}^t + f_{\text{пр}}^t + f_{\text{ст}}^t), \quad (5)$$

где $\varphi_{\text{ох}}^t$ – индекс изменения государственного показателя транспортной деятельности, установленный для железной дороги; $f_{\text{пр}}^t$ – прямые инвестиции в отраслевое хозяйство: финансирование оборудования, не входящего в сметы на строительство, модернизации оборудования, транспортных средств, приобретения подвижного состава; $f_{\text{пр}}^t$ – финансирование проектно-исследовательских работ; $f_{\text{ст}}^t$ – финансирование строек отраслевого хозяйства.

При выполнении приведенных расчетов для эффективной реализации миссии и стратегических целей развития крайне важно построить эффективную и сбалансированную систему корпоративного управления инвестициями, включающую в себя центры корпоративной ответственности. По результатам расчетов планирования и распределения инвестиций по отраслевым хозяй-

ствам разрабатываются мероприятия по основным блокам инвестирования:

– исполнение Государственной программы развития железнодорожного транспорта, его инфраструктуры обеспечения транспортных потребностей промышленных предприятий и населения;

– обеспечение безопасности перевозок: обновление объектов терминально-складского комплекса (логистики), обеспечение безопасности жизнедеятельности и технологической устойчивости работы железнодорожных предприятий, реконструкция технологических объектов, обеспечение пожарной безопасности, организация скоростного пассажирского движения на основных железнодорожных линиях Беларуси (Брест – Орша, Гомель – Гудогай);

– повышение транспортной доступности: обновление фондов основных средств, развитие инфраструктуры транспортных узлов и транспортной логистики, ресурсосберегающих технологий [7].

В экономических исследованиях отсутствует общепринятая парадигма эффективности инвестиций и является темой научных обсуждений. Существует несколько подходов к определению эффективности инвестиций:

– эффективность как соотношение достигнутого значения эффекта и объема фактических затрат. При данном подходе наибольшей эффективностью инвестиций характеризуется деятельность, приносящая лучший эффект на единицу затрат инвестиций. Оптимально эффект должен иметь положительное значение;

– эффективность инвестиций как степень достижения поставленных целей (результативность транспортной деятельности – рост доходов и снижение расходов);

– эффективность инвестиций как мера реализации потенциала в макросреде железнодорожного транспорта.

Для увеличения результата эффективности инвестиций в отраслевые хозяйства максимизируют использование ресурсов их микросреды. При оценке инвестиционной деятельности эффективность преимущественно определяется как соотношение полученных результатов и затрат на реализацию инвестиционных проектов, то есть методики основываются на сопоставлении полученного эффекта и затрат [8]. Основной проблемой при оценке экономической эффективности инвестиционной деятельности является оптимальное распределение ограниченных ресурсов железнодорожного транспорта между производственными и хозяйственными процессами предприятия в условиях неопределенности. Соответственно, современные методы оценки эффективности должны учитывать возможность корректировки управленческих решений в зависимости от изменения уровня риска при реализации инновационных процессов.

Заключение. Использование индексного метода при управлении инвестициями на железнодорожном транспорте рассматривает два направления:

1) инвестирование в транспортную деятельность железной дороги по перевозкам грузов и пассажиров, иные виды деятельности с учетом значений субпоказателя по пассажирским и грузовым перевозкам;

2) инвестирование в транспортную деятельность отраслевых хозяйств железной дороги с учетом значений субпоказателя отраслевых хозяйств по инвестициям, направленным на достижение темп изменения отраслевого показателя, себестоимости, энергоёмкости, амортизации и инвестиций (с распределением на грузовые и пассажирские перевозки).

Эти направления при планировании инвестиций в развитие железнодорожного транспорта показали высокую эффективность при их реализации на Белорусской железной дороге.

Список литературы

1 Нехорошков, В. П. Оценка макроэкономических эффектов крупномасштабных железнодорожных проектов в условиях глобальной экономики / В. П. Нехорошков // *Мировая экономика и международные экономические отношения*. – 2010. – № 72. – С. 307–313.

2 Комлев, И. В. Мировой опыт инвестирования в железнодорожный транспорт / И. В. Комлев // *Молодой ученый*. – 2016. – № 13 (117). – С. 448–450.

3 Шевченко, В. В. Анализ тенденций инвестиционного развития и особенности оценки экономической эффективности инвестирования на железнодорожном транспорте / В. В. Шевченко // *Корпоративное управление экономической и финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте* : сб. науч. тр. – М., 2020. – С. 509–514.

4 Ступникова, Е. А. Инвестиционная политика на железнодорожном транспорте в современных условиях роста объема перевозок / Е. А. Ступникова, О. А. Оленина, Т. Р. Сагидуллин // *Экономика и управление: проблемы, решения*. – М., 2019. – Т. 10, № 2. – С. 95–102.

5 Воронин, В. Г. Процессный подход к исследованию инвестиционной привлекательности железнодорожного транспорта / В. Г. Воронин // *Формирование транспортно-логистической инфраструктуры* : материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. – 2007. – С. 84–91.

6 Арошидзе, А. А. Инвестирование в основной капитал железнодорожного транспорта РФ: значение и необходимость / А. А. Арошидзе // *Актуальные вопросы экономических наук*. – Новосибирск, 2013. – № 29 (2). – С. 96–101.

7 Артыкова, С. Н. Инвестиционная политика в сфере железнодорожных пассажирских перевозок / С. Н. Артыкова // *Наука и современность*. – 2015. – № 36. – С. 184–190.

8 Гулый, И. М. Методология оценки экономических эффектов инвестирования в цифровые технологии на транспорте / И. М. Гулый // *Транспортные системы и технологии*. – Екатеринбург. – 2019. – Т. 5, № 4. – С. 124–133.

9 Полякова, Е. В. Экономическая эффективность инвестирования на железнодорожном транспорте / Е. В. Полякова // *Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки*. – Тула, 2011. – С. 253–258.

Получено 20.04.2022

A. A. Mikhalechenka. Using the index method for investment management in railway transport.

The results of studies of the conditions for using the index method in the management of investments in railway transport are presented. A methodical approach to the optimal determination of the amount of investment in the development of railway sectoral facilities is considered. Variants of the obtained results of a comparative analysis of the influence of the factors of the operational activity of the railway on the size of investment in the functional activity and the development of its structural enterprises are given.

УДК 656.222.4

В. Г. КОЗЛОВ, заведующий НИЛ УПП, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Оценка перевозочного потенциала железнодорожного транспорта является сложной научно-практической задачей, которая может решаться методом имитационного моделирования перевозочного процесса. Одним из математических аппаратов, позволяющих осуществлять моделирование динамических систем, к которым относятся транспортные потоки на объектах железнодорожной инфраструктуры, является сеть Петри. Рассматриваются имитационные модели сетей Петри, на основе которых можно определять загрузку объектов инфраструктуры или их отдельных элементов, а также прогнозировать эксплуатационные затруднения в работе железнодорожных станций и узлов, а также области применения сетей Петри.

Железнодорожный транспорт как объект научного исследования является сложной иерархической системой, которая состоит из множества компонентов, выполняющих отдельные бизнес-процессы перевозочного процесса. По железнодорожной сети одновременно осуществляется перевозка широкой номенклатуры груза и пассажиров по различным маршрутам и назначениям. При этом совокупность технологических операций по организации вагонопотоков и движения поездов различных категорий осуществляется параллельно с синхронизацией их выполнения на железнодорожных станциях и в узлах.

Параллельность выполнения операций, в частности пропуск транзитного вагонопотока с переработкой и без переработки, не позволяет традиционными аналитическими методами осуществить достоверную оценку интегрированной наличной пропускной способности железнодорожного узла, а также технической станции с развитой инфраструктурой. Существующие методики расчета пропускной и перерабатывающей способностей железнодорожных сооружений и устройств не учитывают специфику их взаимного размещения. В отдельных случаях могут появляться затруднения в эксплуатационной работе станции, но при этом по отдельности объекты и устройства станции имеют значительный резерв пропускной способности. Затруднения происходят на элементах, где осуществляется синхронизация процессов и имеется ограниченность ресурсов и, как следствие, образуется ожидание завершения параллельных операций.

Для комплексной оценки перевозочного потенциала и возможных эксплуатационных затруднений железнодорожной станции целесообразно применять имитационное моделирование перевозочного процесса, учитывающее структуру и технологию пропуска транспортного потока, а также взаимное размещение сооружений, устройств, объектов и отдельных элементов в топологии станции. При моделировании недетерминированных динамических систем с параллельными взаимодействующими компонентами, которыми являются железнодорожная станция и узел, рационально использовать сетевую асинхронную модель, построенную на основе иерархической временной раскрашенной сети Петри.

Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, состоящий из вершин двух типов: позиций и переходов, соединенных между собой дугами. Вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети [1].

Для моделирования бизнес-процессов работы железнодорожной станции в качестве позиций и переходов выступают элементы станции и процессы, а метками обозначается транспортная нагрузка (поток), которая может отличаться исходными входными параметрами (цветом метки). Например, для моделирования работы однопутного перегона, который можно рассматривать как общий ресурс при выполнении параллельных процессов (пропуск поездов), необходимо использовать механизм синхронизации процессов в сети Петри (рисунок 1).

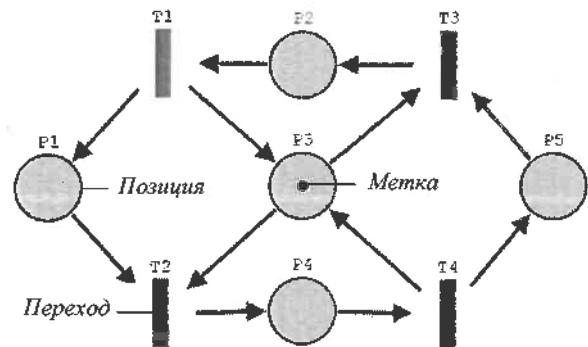


Рисунок 1 – Модель железнодорожного однопутного перегона на основе сети Петри

Позиции P1 и P5 являются одновременно входной и выходной позициями сети, которые обозначают начало и конец перегона. При более сложной структуре, например перегон вместе с горловиной станции, входом или выходом на перегон могут выступать несколько позиций. Позиция P3 является служебным элементом сети и отвечает за реализацию механизма синхронизации процессов. В исходном состоянии сети позиция P3 имеет только одну метку, что означает свободу моделируемого перегона.

На рисунке 2 приведены три последовательных состояния сети Петри при моделировании пропуска поезда по железнодорожному перегону.

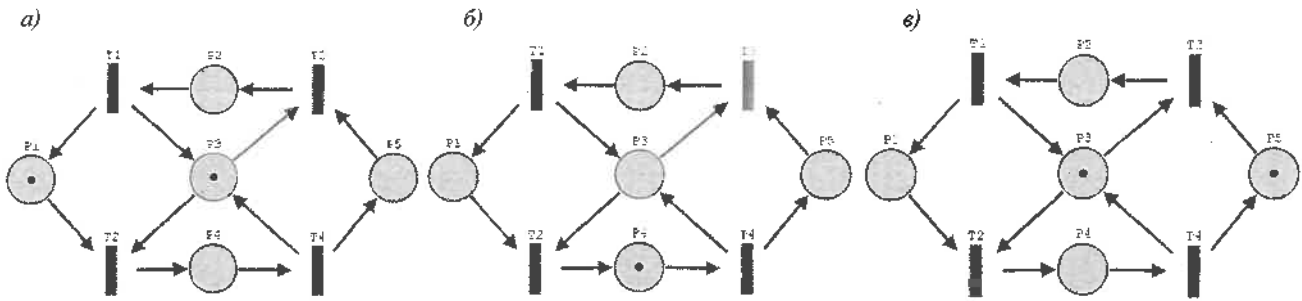


Рисунок 2 – Моделирование пропуска поезда по однопутному перегону

В первой итерации на сети срабатывает переход T2, т. к. в двух входных позициях P1 (начало перегона) и P3 (синхронизация) есть соответствующие метки (см. рисунок 2, а). После этого сеть переходит в следующее состояние, где помечена меткой выходная позиция P4, что соответствует движению поезда по перегону (см. рисунок 2, б). При этом в позиции P3 отсутствует метка, что означает занятость перегона и, следовательно, невозможность срабатывания переходов T2 и T3. В следующей итерации активирован переход T4. После его активации метки устанавливаются в позициях P3 (перегон свободен) и P5 (выход из перегона) (см. рисунок 2, в).

Приведенная сеть Петри разработана с применением механизма синхронизации параллельных процессов и может использоваться для моделирования схожих элементов железнодорожной станции, где есть параллельные процессы и точки их соприкосновения. На-

пример, для моделирования работы горловины парка станции в модели подобная структура сети Петри.

При создании имитационной модели эксплуатационной работы железнодорожной станции или узла производится декомпозиция системы на элементарные самостоятельные элементы: перегон, горловина, парк, вытяжной путь, сортировочная горка и др. Разрабатывается соответствующая модель сети Петри для каждого отдельного элемента, осуществляется непосредственно моделирование их работы, чтобы получить и проанализировать соответствующую логику на возникновение недопустимых ситуаций типа коллизий или блокировок. Далее осуществляется композиция отдельных моделей каждого элемента и разрабатывается единая иерархическая модель общей системы [2].

На рисунке 3 приведена сеть Петри, моделирующая пропуск трех поездов по двум путям станции.

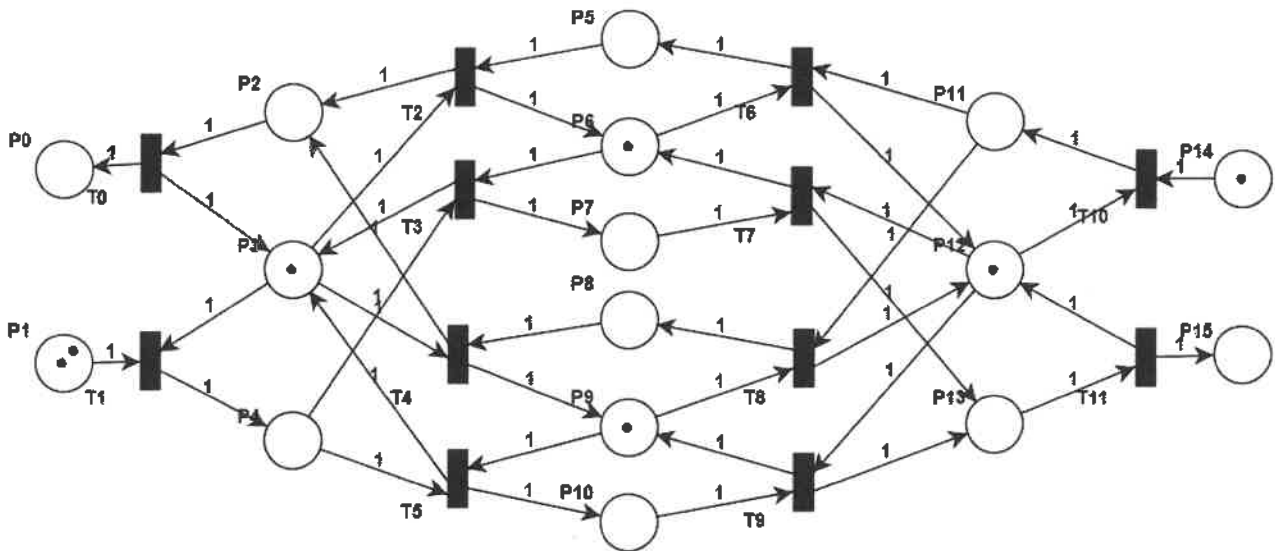


Рисунок 3 – Модель парка станции с соответствующей разметкой для моделирования пропуска (обработки) поездов

Позиции P0, P1, P14 и P15 являются входными и выходными позициями, моделирующими соответственно четный и нечетный подходы поездов. Первоначальная разметка позиций P1 (2 метки) и P14 (1 метка) определяет исходный транспортный поток (количество поездов на подходах), который требуется пропустить по соответствующим направлениям.

Позиции P2–P4 и P11–P13 и соответствующие им переходы моделируют работу горловины парка станции, где позиции P3 и P12 являются технологическими (служебными) и предназначены для реализации механизма синхронизации параллельных процессов при использовании общего ресурса (горловины парка).

Фрагмент сети Петри, заданный позициями P5–P10 и переходы T2–T9 моделирует работу двух путей парка и их взаимодействие с горловинами. Позиции P6 и P9 также отвечают за синхронизацию параллельных процессов (занятость путей).

На основе приведенной сети Петри (см. рисунок 3) осуществляется моделирование пропуска транспортного потока по путям парка с целью определения всех возможных состояний в работе модели. Для этого строится соответствующее дерево достижимости сети Петри (рисунок 4), которым описывается множество достижимых состояний модели.

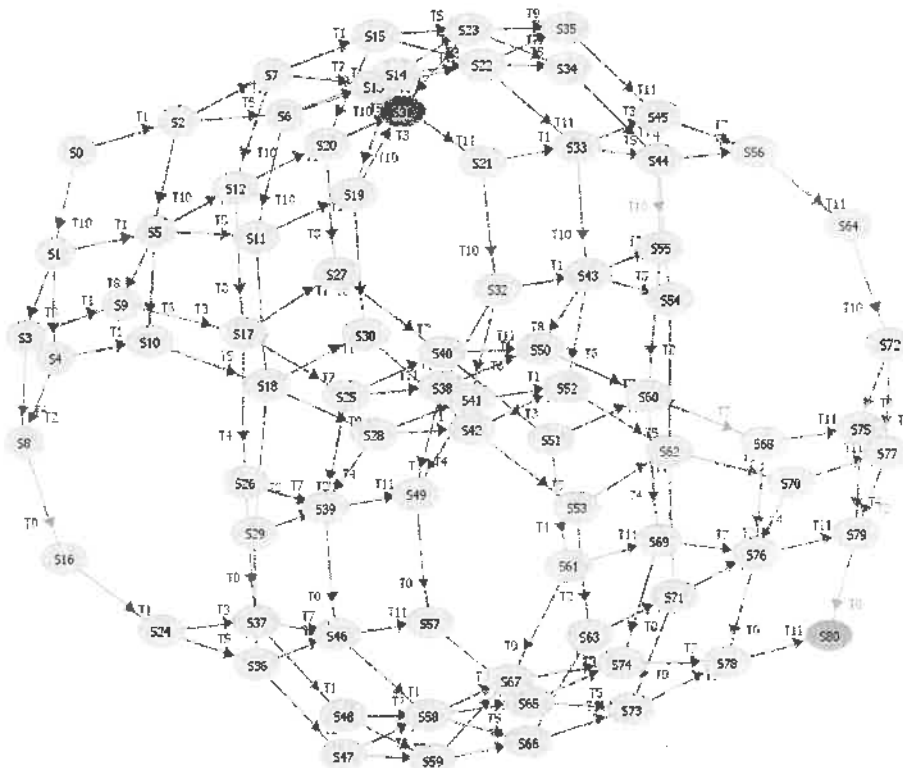


Рисунок 4 – Дерево достижимости сети Петри, моделирующей работу парка станции

Дерево достижимости по существу является графом состояний, который содержит множество вершин и дуг, их соединяющих. Каждая вершина соответствует достижимой маркировке (состоянию) модели. Дуги графа указывают на переходы, которые должны сработать для достижимости советующей маркировки.

Анализ дерева достижимости (см. рисунок 4) показывает, что модель может находиться в 80 различных состояниях, ряд из которых повторяется и достигается разной последовательностью срабатывания переходов. Выделенные вершины S31 и S80 указывают на тупиковое состояние работы сети Петри, когда ни один переход не срабатывает и работа модели останавливается. Маркировка S80 {1,0,0,1,0,0,1,0,0,1,0,0,2} является конечным состоянием модели, когда осуществлен пропуск всех поездов. Маркировка S31 {0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,1,0,0,0,0} соответствует состоянию, когда парк станции имеет технологическое затруднение в пропуске поезда («защит»), т. е. все пути парка заняты одновременно с приемом поезда встречного направления.

Необходимо отметить, что приведенная на рисунке 3 имитационная модель имеет упрощенное представление путей и горловин парка станции, но позволяет показать принцип механизма описания и композиции элементов станции на основе сетей Петри. На практике определить узкие места и затруднения можно без приведенной выше модели. Если необходимо исследовать сложную динамическую систему с рядом параллельных процессов, которой являются техническая железнодорожная станция и

узел, тогда модели, построенные на основе сетей Петри, позволяют точно определять все возможные эксплуатационные затруднения.

Для более детального описания эксплуатационной работы станций, с учетом нормы времени на выполнение различных технологических операций, категории и характеристик транспортного потока, необходимо использовать возможности временной раскрашенной сети Петри. В такой сети переходы имеют затраты времени на выполнение, что приближает модель к поведению реальной системы или процесса. Метки могут отличаться и иметь собственные параметры, которые учитываются при активации и выполнении перехода. При этом раскрашенную сеть можно представить (привести) в виде простой сети Петри с одним видом маркера, что позволяет проводить анализ структуры сети, основанный только на его свойствах.

Список литературы

- 1 Мараховский, В. Б. Моделирование параллельных процессов. Сети Петри. Курс для системных архитекторов, программистов, системных аналитиков, проектировщиков сложных систем управления / В. Б. Мараховский, Л. Я. Розенблюм, А. В. Яковлев. – СПб. : Профессиональная литература, АйТи-Подготовка, 2014. – 400 с.
- 2 Кузнецов, С. К. Применение сетей Петри для моделирования железнодорожных систем / С. К. Кузнецов, А. И. Потехин // Труды XII Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2014, Москва). – М. : ИПУ РАН, 2014. – С. 937–946.

Получено 20.09.2022

V. G. Kozlov. Simulation of operational work railway stations and nodes based on Petri nets.

The evaluation of the transportation potential of railway transport is a complex scientific and practical task that can be solved by the method of simulation modeling of the transportation process. One of the mathematical tools that allows for the modeling of dynamic systems, such as transportation flows on railway infrastructure objects, is the Petri network. The simulation models of Petri networks are considered, based on which it is possible to determine the loading of infrastructure objects or their individual elements, as well as to predict operational difficulties in the operation of railway stations and nodes.

УДК 629.463.3:004.94

С. А. ПЕТРАЧКОВ, аспирант, М. Г. ГЕГЕДЕШ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕВОЗКИ ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ НА СЦЕПЕ ИЗ ДВУХ ПЛАТФОРМ

Приведены результаты компьютерного моделирования транспортировки рельсов на сцепе из двух платформ, определены параметры относительного смещения перевозимого груза, на основании которых выработаны рекомендации по размещению костылей в деревянных подкладках с целью предотвращения динамических ударов рельсов о костыли.

На железной дороге имеется необходимость перевозки рельсов и других длинномерных грузов на сцепе, состоящем из двух вагонов (рисунок 1). Такие грузы крепятся при помощи растяжек, обвязок, подкладок, упорных и распорных брусков [1–3].

Часто после отправки такого груза происходит разрушение деревянных деталей креплений и расслабление проволочных нитей, что может привести к повреждению вагона и груза.

Такая ситуация обусловлена действием сил инерции при прохождении железнодорожным составом стрелочных переводов на большой скорости и входе в кривые малого радиуса (350–500 м). Вследствие нарушения целостности средств крепления возникает необходимость повторно закреплять груз в процессе транспортировки к станции назначения.

В работах [4–6] авторами неоднократно подтверждается тот факт, что существующая методика расчета креплений грузов на открытом подвижном составе требует корректировки.

В работе [7] выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния устройства для фиксации от перемещений контейнеров большой вместимости при перевозке водным транспортом.

Авторами [8–10] на основе компьютерного моделирования динамики открытого подвижного состава с размещенными на нем трубами большого диаметра выработаны рекомендации по числу и параметрам средств крепления, а также выполнены исследования напряженно-деформированного состояния элементов крепления труб большого диаметра на платформе и анализ влияния ослабления элементов крепления на относительное движение закрепленного груза.

В исследовании [11] показана необходимость уточненных расчетов размещений грузов на сочлененных платформах, обусловленная кривизной железнодорожного пути в плане и профиле.

На основе анализа исследований отечественных и зарубежных авторов можно сделать вывод о том, что вопросы крепления грузов на открытом подвижном составе требуют использования современных возможностей компьютерного моделирования для решения практических задач.

Таким образом, целью исследования является установление причин нарушения целостности средств крепления длинномерных грузов и разработка рекомендаций по обеспечению их эффективного крепления на примере перевозки рельсов на основе компьютерного моделирования.

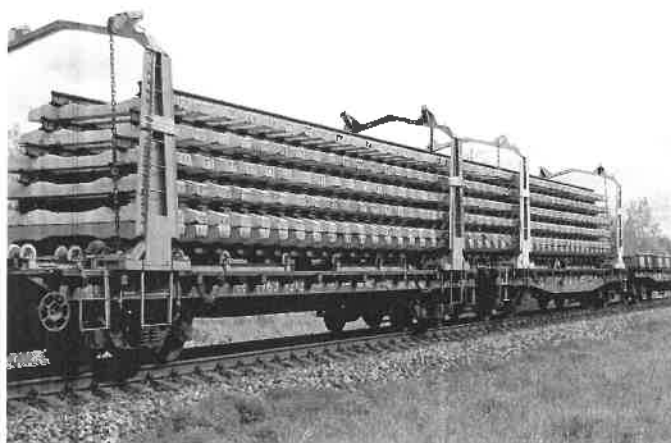


Рисунок 1 – Размещение длинномерных грузов на сцепе из двух платформ

Рельсы марки Р65 имеют длину 25 м и грузятся на сцеп из двух платформ с базой 9,72 м (рисунок 2). Сцеп состоит из двух четырехосных платформ 13–401 длиной 13,4 м. Нижний ярус отдельно прикреплен растяжками и обвязками к платформе. Остальные ярусы увязаны и между собой, и с нижним ярусом при помощи обвязок.

Под рельсы на пол каждой платформы укладываются две деревянные и две металлические поперечные подкладки. Обильно смазанные металлические подкладки располагаются между деревянными и предназначены для наилучшего скольжения рельсов по ним во время выполнения входа в поворот и переезда стрелочного

перевода. Подкладки закрепляются деревянными брусками. Рельсы на платформу укладываются в четыре яруса в соответствии с рисунком 3 [1].

Общий вес груза составляет 110 т. Обычно нижний ярус жестко закрепляется с двух концов путем забивания костылей в деревянную подкладку слева и справа от яруса. Проезд через сортировочную горку такого сцепа не допускается.

Практика показывает, что спустя некоторое время после отправки такого груза происходит разрыв подкладочного бруса с одной из сторон нижнего яруса, в результате чего проволочные нити обвязки деформируются, ярусы выходят из равновесного состояния и

распадаются. Вследствие этого возникает необходимость повторно производить крепление груза в процессе доставки до станции назначения. Особенностью перевозимых рельсов является отсутствие отверстий, которые предназначены для болтовых соединений. Поэтому сложно увязать рельсы между собой в каждом ярусе.

Для крепления растяжек и обвязок на платформах используют боковые и торцевые стоечные скобы; опорные кронштейны на концевой балке рамы; напольные увязочные устройства (при наличии); боковые скобы на платформах.

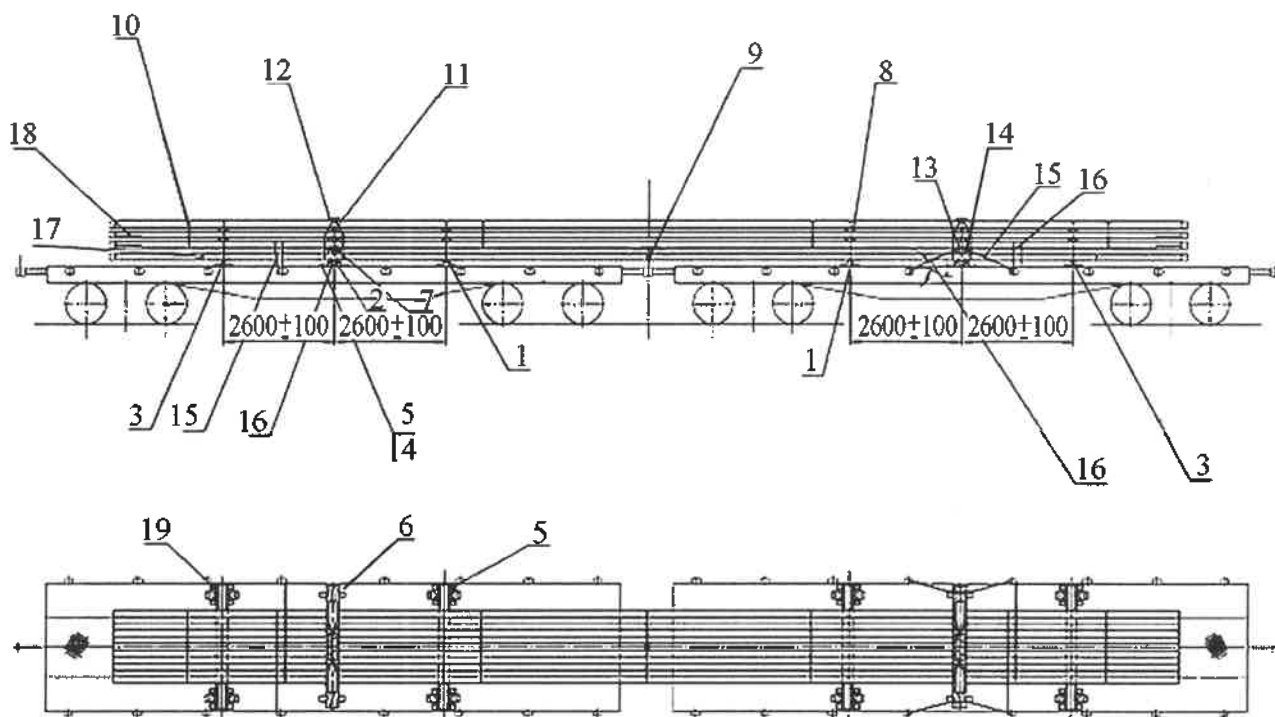


Рисунок 2 – Схема крепления рельсов на сцепе из двух платформ:

1 – скользун (шахтная стойка); 2 – подкладка; 3 – скользун (рельс); 4 – гвоздь; 5, 19 – рельсовые подкладки; 6 – брусок; 7 – утолщенная прокладка; 8 – прокладка; 9–11, 17, 18 – увязки; 12 – накладка; 13, 14 – костыли; 15, 16 – растяжки

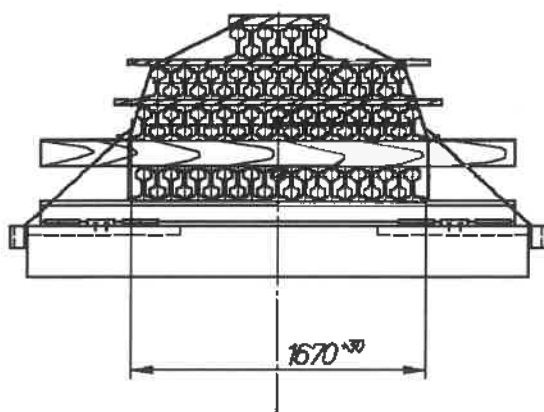


Рисунок 3 – Поуровневая схема погрузки рельсов (вид с торца платформы)

Продольная инерционная сила, тс,

$$F_{пр} = a_{пр} Q_{гр},$$

где $a_{пр}$ – удельная продольная инерционная сила на 1 т массы груза, тс/т; $Q_{гр}$ – масса груза, т.

Значение $a_{пр}$ для конкретной массы груза при погрузке с опорой на два вагона определяется по формуле

$$a_{пр} = a_{44} - \frac{Q_{гр}^0 (a_{44} - a_{188})}{144},$$

где $Q_{гр}^0$ – общая масса груза в вагоне или на сцепе, т; a_{44} , a_{188} – значения удельной продольной инерционной силы в зависимости от типа крепления при массе брутто соответственно сцепа: 44 т и 188 т; при упругом креплении груза $a_{44} = 1,2$; $a_{188} = 0,86$.

Поперечная горизонтальная инерционная сила $F_{п}$ с учетом действия центробежной силы определяется по формуле

$$F_{п} = a_{п} Q_{гр} / 1000,$$

где $a_{п}$ – удельная поперечная инерционная сила на 1 т массы груза, кгс/т; с опорой груза на два вагона $a_{п} = 400$ кгс/т.

Вертикальная инерционная сила $F_{в}$, тс, определяется по формуле

$$F_{в} = a_{в} Q_{гр} / 1000,$$

где a_v – удельная вертикальная сила на 1 тонну массы груза, кгс/т,

$$a_v = 250 + kl_{гр} + \frac{2140}{Q_{гр}}$$

Коэффициент k при погрузке с опорой на два вагона принимают равным 20.

Ветровая нагрузка W_n , тс, определяется с учетом удельной ветровой нагрузки, равной 50 кгс/м², по формуле

$$W_n = 50 S_n / 1000,$$

где S_n – площадь наветренной поверхности груза (проекция поверхности груза, выступающей за пределы продольных бортов платформы либо боковых стен полувагона, на продольную плоскость симметрии вагона), м².

Силы трения, тс, препятствующие перемещению груза, опирающегося на один или два вагона без применения турникетных опор, определяются по формулам:

– в продольном направлении –

$$F_{тр}^n = Q_{гр} \mu;$$

– в поперечном направлении –

$$F_{тр}^n = Q_{гр} \mu (1000 - a_v) / 1000,$$

где μ – коэффициент трения между контактирующими поверхностями груза и вагона (или подкладок).

Усилия, воспринимаемые элементами крепления, определяются по формулам:

– в продольном направлении –

$$\Delta F_{тр} = F_{тр} - F_{тр}^{mp},$$

– в поперечном направлении –

$$\Delta F_n = n(F_n + W_n) - F_{тр}^n.$$

Компьютерное моделирование было выполнено в среде инженерного пакета MSC ADAMS (рисунок 4).

Платформы, рельсы, подкладки и прокладки моделировались при помощи твердых тел. Увязки и растяжки в модели представляли собой связь типа «пружина», жесткость которой соответствует жесткости конкретных гибких средств крепления. Один конец груза был жестко заземлен. Второй конец длинномерного груза был закреплен от возможного перемещения в поперечном направлении только обвязкой, соответственно конец груза мог менять свое положение относительно продольной оси платформы. Связь между платформами также моделировалась пружиной, имеющей необходимые коэффициенты жесткости и демпфирования, соответствующие аппарату автосцепки.

Анализ движения сцепа по прямолинейному пути показал, что динамика увязанных в ярусы рельсов при перемене режима движения соответствует динамике сплошных тел. Поэтому для дальнейших расчетов применялась упрощенная модель, в которой ярусы были заменены прямоугольными параллелепипедами соответствующей массы. Проезд через сортировочную горку такого сцепа по нормативным требованиям не допускается, поэтому проводился динамический анализ модели для двух случаев: вход сцепа в кривую малого радиуса (350 м) со скоростью 5 м/с и переезда по стрелочному переводу со скоростью 20 м/с.

Одной из задач при выполнении работы являлось определение максимального смещения нижнего яруса в сравнении с первоначальным его положением на подкладке или максимального отклонения продольной оси нижнего яруса рельсов от продольной оси платформы. Для этого один конец нижнего яруса был жестко закреплен, а другой мог свободно перемещаться в поперечном направлении. Расчеты показали, что максимальное смещение рельсов нижнего яруса составляет около 11,5 см (рисунок 5).



Рисунок 4 – Компьютерная модель крепления рельсов на сцепе из двух платформ в MSC ADAMS

Таким образом, при размещении костылей в деревянных подкладках на расстоянии более 12 см от крайнего рельса удары рельсов о костыли не будут происходить. Следует учитывать, что при указан-

ном смещении костыля расстояние между ним и концом деревянной подкладки уменьшается. Это может стать причиной образования трещин и разрыва подкладки.

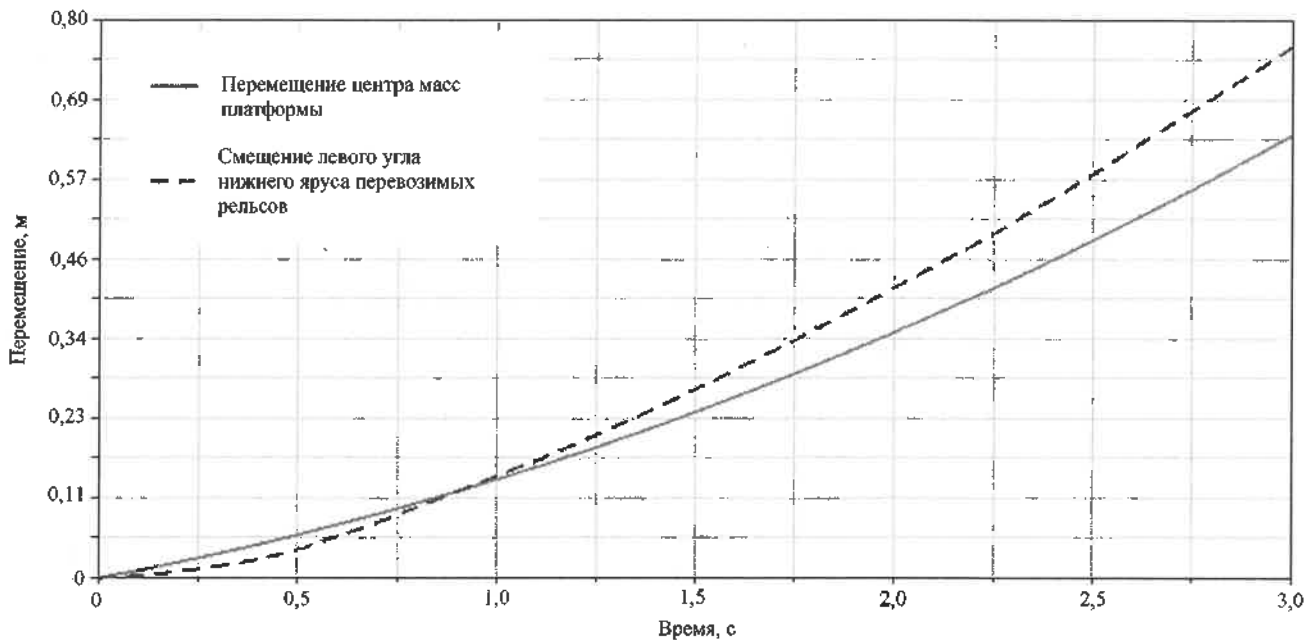


Рисунок 5 – Результаты компьютерного моделирования

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект T22M-073).

Список литературы

- 1 Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС): действует с 1 ноября 1951 г. с изм. и доп. на 1 июля 2015 г. – Минск : Амалфея, 2015. – 216 с.
- 2 Tiedown Handbook for Rail Movements / R. E. Kerr [et al.] ; Transportation Engineering Agency ; ed. by R. E. Kerr. – Virginia : Newport News, 2003. – 97 p.
- 3 Equipment for rational securing of cargo on railway wagons / N. Andersson [et al.] ; ed. by N. Andersson. – Höganäs : Vinnova – Swedish Agency for Innovation Systems, 2004. – 228 p.
- 4 Туранов, Х. Т. О необходимости совершенствования технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах / Х. Т. Туранов, Н. А. Мясникова, Н. М. Метель // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Красноярск, 2005 г. : в 2 т. / Иркутск. гос. ун-т путей сообщ. ; редкол.: В. П. Сувор (отв. ред.) [и др.]. – Красноярск, 2005. – Т. 2. – С. 113–117.
- 5 Тимухина, Е. Н. Совершенствование методики расчета гибких элементов креплений груза на открытом железнодорожном подвижном составе : автореф. дис. ... канд. техн.

наук : 05.22.08 / Е. Н. Тимухина ; Уральск. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2006. – 24 с.

- 6 Псеровская, Е. Д. Совершенствование способов перевозки и методов расчета крепления грузов с плоским основанием на открытом подвижном составе : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Е. Д. Псеровская ; Сиб. гос. ун-т путей сообщ. – Новосибирск, 2000. – 17 с.
- 7 Stenkvist, N. Design of a cargo fastening device with a load indicator for heavy cargo / N. Stenkvist. – 2014. – 44 p.
- 8 Shimanovsky, A. O. Finite element modeling of the unit for fastening pipes on railway flatcars / A. O. Shimanovsky, I. A. Varazhun, A. U. Zavarotny // Proc. 8th GRACM Inter. Congr. on Comput. Mech. – 2015. – P. 1–6.
- 9 Ворожун, И. А. Определение динамических сил в креплении труб к платформе при соударении вагонов // И. А. Ворожун, А. В. Заворотный, А. В. Шилович // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2011. – № 2 (30). – С. 47–51.
- 10 Заворотный, А. В. Влияние ослабления крепления на величину продольного смещения труб / А. В. Заворотный, И. А. Ворожун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1. – С. 81–84.
- 11 Кукушина, Н. А. Разработка методики и расчет условий прохождения сочлененными платформами сортировочных горок и кривых участков пути / Н. А. Кукушина // Транспорт Российской Федерации: Журнал о науке, практике, экономике. – 2013. – № 2 (45). – С. 71–75.

Получено 22.09.2022

S. A. Petrachkou, M. G. Gegedesh. Computer simulation of transportation of long cargo on a couple of railroad flatcars.

In the paper there are shown the results of computer modeling of the rails transportation on the couple of two railroad flatcars, the parameters of the relative displacement of the transported cargo are determined and on their basis the recommendations for the placement of crutches in wooden lining were developed in order to prevent the rails-crutches dynamic shock.

УДК 355.41

Д. Ю. БОГДАНОВ, доктор военных наук, доцент, Военная академия Республики Беларусь, г. Минск

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЗАЦИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ НА ГРУЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ОБЪЕКТАХ: МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Представлен методический подход проектирования и выбора рациональной конфигурации технологической схемы организации погрузочно-разгрузочных работ на грузоперерабатывающих объектах.

Результативность и эффективность применения различных видов машин, механизмов и устройств в транспортной и складской логистике, как правило, обуславливаются степенью совершенства (иначе – рациональности) технологических схем всей совокупности процессов механизированной перегрузки разнородных материальных средств (МатС) [1, 4].

Такие технологические схемы могут предусматривать различные варианты перегрузки. В рамках статьи под «*вариантом перегрузки*» понимается законченное по назначению перемещение какого-либо груза между двумя смежными звеньями по следующей технологической схеме: вагон – автомобиль, вагон – хранилище, автомобиль – автомобиль и т. п. При этом различают прямые и не прямые (ступенчатые) варианты [2]. Передача грузов непосредственно из одного транспортного средства в (на) другое считается «прямым» вариантом. Все другие варианты, при которых перегрузка производится через склад (площадку временного хранения), обозначаются как «непрямые».

В пределах каждого варианта перегрузки последовательность выполнения погрузочно-разгрузочных работ (ПРР) и применяемых для них средств механизации может быть различной. Для выбора оптимального (с ограничениями по полноте и достоверности исходных данных) или рационального (всесторонне обоснованного) варианта решения требуется заблаговременно разработать типовые схемы технологических процессов механизированной перегрузки МатС.

Предлагаемая нами блок-схема базового алгоритма [6] разработки схемы технологических процессов механизированной перегрузки МатС на ГПО представлена на рисунке 1.

Она включает в себя следующие основные этапы.

1 Изучение (структурно-параметрический анализ) назначения и условий функционирования ГПО.

2 Определение (выбор) возможных вариантов технологических процессов выполнения ПРР на нем.

3 Расчет (прогноз) фактического (планируемого) объема ПРР.

4 Выбор типов используемых подъемно-транспортных машин и расчет потребности в них.

5 Расчет потребности в рабочих, технических специалистах и формирование рабочих команд.

Изучение назначения и условий функционирования ГПО включает в себя структурно-параметрический анализ: размещения и устройства ГПО; характеристик грузов, способов их хранения и перевозок; видов и характеристик транспортных средств, которыми поступают и отправляются грузы; режимов работы объекта.

В целях обеспечения работы всех типов ПТМ предусматривается устройство (оборудование) погрузочно-разгрузочных мест. При этом на стационарных объектах

возможно асфальтирование (бетонирование) площадок и дорог, устройство перегрузочных платформ, рампы и т. д., а на полевых объектах – оборудование покрытий перегрузочных площадок из аэродромных плит К-1Д, бетонных плит, шпал и т. п., а также использование передвижных рампы, грузовых столов, железнодорожных платформ и др. в качестве перегрузочных площадок.

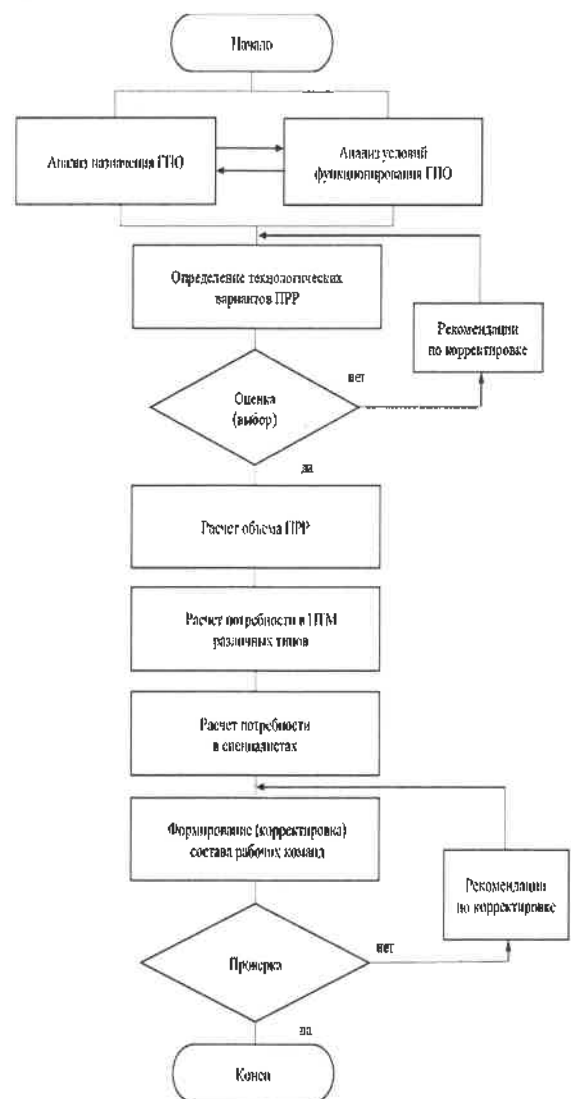


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма разработки схемы технологических процессов механизированной перегрузки МатС (базовый вариант)

На основе *анализа условий функционирования ГПО* могут быть намечены возможные варианты технологических процессов перегрузки МатС. Рекомендуется в первую очередь намечать варианты по различной тех-

нологии приема и отправки или перегрузки МатС, а затем рассматривать возможности и эффективность применения различных средств механизации ПРР.

Для погрузки (выгрузки) как пакетированных, так и непакетированных тарно-штучных грузов, поступающих (отправляемых) в крытых вагонах, могут быть применены малогабаритные электрокары и автопогрузчики. На стационарных и некоторых полевых объектах эти погрузчики могут быть использованы для погрузки (выгрузки) МатС на автомобили, для работы внутри вагонов и в других закрытых помещениях. Поэтому для тарно-штучных грузов могут быть предусмотрены схемы перегрузки с формированием пакетов на плоских поддонах и применением малогабаритных погрузчиков, автопогрузчиков или вилочных тележек. При наличии пакетов, сформированных на ребристых поддонах, могут применяться погрузчики, снабженные штыревыми захватами и сталквателями.

Для перегрузки МатС, поступающих (отправляемых) автотранспортом, на железнодорожных платформах или в полувагонах, могут быть намечены варианты перегрузки с применением различных кранов, оснащенных грузозахватными приспособлениями по виду перерабатываемого груза. Для перегрузки непакетированных тарно-штучных грузов могут быть использованы цепные, роликовые, ленточные и пластинчатые конвейеры. Их применение целесообразно в том случае, когда по условиям работы использование других средств механизации ПРР невозможно. Выбор конвейеров для каждого случая погрузки (выгрузки) происходит по максимально допустимой массе отдельного места с учетом вида упаковки, а также по допустимому углу наклона транспортера.

Из всех вариантов технологических процессов отбирается несколько наиболее удовлетворяющих условиям ПРР. В выбранных вариантах определяются типы применяемых грузозахватных приспособлений, по возможности обеспечивающие перегрузку грузов без применения ручного труда. При выборе конкретных типов машин учитываются их ТТХ (грузоподъемность, высота подъема), масса груза, его габаритные размеры, а также ряд требований общей и специальной техники безопасности. Так, масса поднимаемого груза при расположении его центра тяжести на допустимом расстоянии от наружных стенок вилок должна быть не больше номинальной грузоподъемности погрузчика. Максимальная высота подъема погрузчика должна быть не менее высоты укладки груза. Краны, используемые для перегрузки разрядных и опасных грузов (СДЯВ, ракет, боеприпасов, легковоспламеняющихся жидкостей и т. п.), должны иметь грузоподъемность на 25 % больше массы перегружаемого груза.

Для разработки схем технологических процессов производятся расчеты прогнозируемого грузооборота ГПО, т. е. количества МатС, подлежащих перегрузке, а также потребного количества машин, оборудования, личного состава и основных показателей целевой эффективности (результативности выполнения отдельных задач) по каждому из выбранных вариантов.

Расчет потребного количества средств механизации ПРР может производиться по формуле

$$N_m = \frac{G_{гр}}{Q_3 t_p}, \quad (1)$$

где N_m – требуемое количество средств механизации, ед.; $G_{гр}$ – количество МатС, подлежащих перегрузке (грузо-

оборот), т; Q_3 – эксплуатационная производительность ПТМ, т/ч; t_p – продолжительность работы ГПО по данной схеме, ч.

При получении в результате расчетов дробного числа его округляют до большего целого значения.

Состав рабочих команд определяется следующим образом:

- механизаторов (крановщиков, водителей, операторов и др.) – по количеству и возможности одновременной работы ПТМ и возможности управления несколькими машинами одним механизатором;
- вспомогательных рабочих – по нормам трудозатрат на выполняемые работы, продолжительности цикла работы ПТМ в режиме обеспечения их максимальной производительности.

Чтобы исключить или минимизировать простой машин или рабочих, необходимое количество вспомогательных рабочих для формирования грузовых пакетов рассчитывают в зависимости от продолжительности цикла крана или погрузчика по формуле [2]

$$P_b = \frac{60G_3 Z_r}{T_{ц}}, \quad (2)$$

где P_b – количество рабочих для формирования пакетов, чел.; G – средняя масса пакета, т; Z_r – трудозатраты на укладку 1 т груза в пакеты, чел·мин; $T_{ц}$ – продолжительность цикла, с.

Для определения эффективности технологического процесса ПРР необходимо вычислить основные технико-экономические показатели, такие как часовая производительность ГПО по избранной технологической схеме, объем трудозатрат на 1 т перерабатываемого груза, выработка (объем полезной работы) на одного рабочего, а также уровень (степень) механизации ПРР. Кроме того, для стационарных ГПО при разработке новых, более прогрессивных схем технологических процессов могут дополнительно определяться рост производительности труда, уменьшение занятости рабочей силы и др. В этом случае основными экономическими показателями могут быть: капитальные затраты на 1 т перерабатываемого груза в год, удельные капитальные затраты на 1 т перерабатываемого груза за срок службы ПТМ, себестоимость перегрузки 1 т груза, срок (период) окупаемости капитальных затрат, объем экономии от внедрения предлагаемой схемы за планируемый период.

Определение этих показателей, как правило, является обязательным при проектировании (реинжиниринге) всех стационарных ГПО. Для полевых объектов не всегда представляется возможным определение всех выше-перечисленных показателей эффективности технологического процесса в связи с отсутствием или невозможностью установления ряда величин (объема переработок грузов, годовых и месячных стоимостных показателей и др.). При невозможности определения всех показателей могут быть рассчитаны только базовые технические показатели по зависимостям [2, 3]:

$$q_n = nQ_n K_B; \quad (3)$$

$$Z_r = \frac{P_3}{q_n}; \quad (4)$$

$$B = \frac{q_n}{P_0}; \quad (5)$$

$$Y_m = \frac{A_m}{A_m + A_p} \cdot 100; \quad (6)$$

$$C_m = \frac{T_m}{T_m + T_p} \cdot 100, \quad (7)$$

где $q_ч$ – производительность ПТМ, включенных в технологическую схему ГПО, т/ч; n – количество одновременно работающих ПТМ, шт.; $Q_ч$ – производительность одной ПТМ, т/ч; K_b – коэффициент использования рабочего времени ПТМ; Z_t – объем трудозатрат на 1 т перерабатываемого груза, чел·ч/т; P_o – количество специалистов и вспомогательных рабочих, одновременно занятых по данной технологической схеме ГПО, чел.; B – выработка на одного человека рабочей команды, т/чел·ч; Y_m – уровень механизации по схеме, %; A_m – объем механизированных работ, т; A_p – объем работ, выполняемых вручную; T_m – степень механизации по схеме, %; T_m – трудозатраты на механизированных операциях, чел·ч; T_p – трудозатраты на операциях, выполняемых вручную, чел·ч.

Входящие в зависимость (6) показатели определяются по выражениям:

$$A_m = G_m K_m; \quad (8)$$

$$A_p = G_p K_p, \quad (9)$$

где G_m – количество груза, перегружаемого механизированно, т; K_m – количество механизированных перегрузочных операций, шт.; G_p – количество груза, перегружаемого вручную, т; K_p – количество перегрузочных операций, выполняемых вручную, шт.

При этом количество перегрузочных операций определяется по выражениям:

$$K_m = \frac{n_m}{3}; K_p = \frac{n_p}{3}, \quad (10)$$

где n_m, n_p – количество основных элементов всех операций по данной технологической схеме, выполняемых соответственно машиной и вручную шт.; 3 – число захватов, составляющих одну перегрузочную операцию (захват, перемещение и укладка грузов).

Если состав рабочей команды по схеме постоянен и механизаторы и вспомогательные рабочие участвуют в технологическом процессе одинаковое количество времени, то степень механизации может быть определена из соотношения количества механизаторов к общему количеству рабочих по избранной технологической схеме ГПО.

Оптимальная (рациональная) схема технологического процесса механизированной перегрузки МатС должна обеспечивать минимальную себестоимость перегрузки 1 т груза, максимальные сокращение количества рабочей силы, производительность труда и замену ручного труда работой машин, а также универсальность, т. е. возможность работы ГПО в различных условиях. Кроме того, при сравнении различных технологических схем ГПО необходимо, чтобы избираемая схема наиболее полно удовлетворяла военно-техническим требованиям. Поэтому при сравнении схем обязательно следует учитывать экономию в рабочей силе, выработку на одного рабочего и механизатора,

а также возможность использования машин в полевых условиях, универсальность схемы и др.

Выбор рационального решения из нескольких альтернатив производится на основании анализа технико-экономических показателей, полученных в результате расчетов по различным вариантам. Для удобства сравнения и выбора эти технико-экономические показатели могут быть сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Вариант представления данных (технико-экономических показателей), характеризующих два альтернативных варианта схемы технологических процессов ГПО

Показатель	Условное обозначение	Схема		Результат сравнения значений показателей
		№ 1	№ 2	
Грузооборот, т	$G_{гр}$	1500	1500	0
Производительность по схеме, т/ч	$q_ч$	48	32	+16
Трудозатраты на 1 т груза, чел·ч/т	Z_t	0,045	0,09	-0,045
Выработка на одного человека, т/чел·ч	B	19	9,1	9,9
Уровень механизации, %	Y_m	92	86	+6
Степень механизации, %	C_m	81	60	+21
Уменьшение занятости рабочей силы, %	P_c	50	100	-50
Себестоимость перегрузки 1 т груза, руб./т	C	0,05	0,09	-0,04

Сравнение технико-экономических показателей двух альтернативных схем, представленных в таблице 1, наглядно демонстрирует преимущества первой схемы по сравнению со второй.

Использование заранее разработанных технологических схем ГПО позволяет вырабатывать и принимать всесторонне обоснованные и рациональные решения по организации ПРР на ГПО в системе МТО. Практическая реализация таких решений будет способствовать успешному выполнению задач по полному и бесперебойному снабжению войск (сил) всеми видами (номенклатурами) МатС.

Список литературы

- 1 Долгов, А. П. Управление запасами в логистике / А. П. Долгов, М. Н. Григорьев. – СПб. : Бизнес-пресса, 2006 – 358 с.
- 2 Цельковских, А. А. Подвоз материальных средств : учеб. / А. А. Цельковских, В. И. Бабенков, П. И. Ловкачев. – СПб. : ВАМТО, 2016. – 386 с.
- 3 Богданов, Д. Ю. Теоретические аспекты и методы рациональной организации тылового (материально-технического) обеспечения войск (сил) в военное время : [монография] / Д. Ю. Богданов. – СПб. : ВА МТО, 2020. – 255 с.
- 4 Голушко, И. М. Теория тыла и военная экономика / И. М. Голушко. – М. : ВИ, 1994. – 248 с.
- 5 Единые нормы выработки и времени на вагонные, автотранспортные и складские погрузочно-разгрузочные работы. – М. : Транспорт, 1994. – 182 с.
- 6 ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – М. : Стандартинформ, 2010. – 23 с.

Получено 01.10.22

D. Yu. Bogdanov. Design of technological processes of mechanization of loading and unloading operations at cargo processing facilities: methodological approach.

The article presents a methodological approach to the design and selection of a rational configuration of the technological scheme for the organization of loading and unloading operations at cargo processing facilities.

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 (1400 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 редколлегией не принимаются.

7 Таблицы (не более трех) располагаются непосредственно после текста, где они впервые упоминаются. Каждая таблица должна иметь номер и название, которое размещается над ней (например: Таблица 1 – Результаты измерений). Размер шрифта названия и основного текста таблицы – 9 pt, головки (шапки) – 8 pt.

8 Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

9 Формулы набирают тем же размером шрифта и той же гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

– сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

– рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.