



ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

*В печать
Анну*

**НАУКА
и ТРАНСПОРТ**

2/2021

ВЕСТНИК
Белорусского
Государственного
Университета
Транспорта

Научно-практический журнал

НАУКА
и ТРАНСПОРТ

№ 2(43)/2021

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 2 (43) 2021 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

Учре д и т е л и:

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

Главный редактор *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

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

Редакционная коллегия:

*А. А. СИВАК, В. М. МОРОЗОВ, В. Н. ШУБАДЕРОВ,
В. Я. НЕГРЕЙ, К. А. БОЧКОВ, Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, Э. И. СТАРОВОЙТОВ, О. Н. ЧИСЛОВ*

Ответственный секретарь *Т. А. ВЛАСЮК*

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

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

На белорусском и русском языках

СОДЕРЖАНИЕ**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ**

- Комнатный Д. В. Развитие нормативно-технической документации по разработке безопасных схем микропроцессорных систем железнодорожной автоматики..... 4

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Капский Д. В., Скиркоцкий С. В., Лосин Л. А. Принципы построения транспортной модели..... 7
Скиркоцкий С. В., Капский Д. В., Лосин Л. А. Моделирование функционально-планировочной структуры города..... 11
Капский Д. В., Скиркоцкий С. В. Обобщенные подходы к решению задач формирования сети городского пассажирского транспорта..... 16
Швецова Е. В., Шуть В. Н. О построении графика движения транспортных средств в городской пассажирской транспортной системе..... 21

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

- Васильев А. А. Экспресс-метод определения показателя водной вытяжки цементного камня (показателя рН) цементно-песчаной фракции бетона..... 25
Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Цариков В. А. Анализ состояния и перспективы развития путевого хозяйства Белорусской железной дороги..... 29
Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Стрижак А. И. Мониторинг путейских решений повышения скоростей движения поездов Власенко О. Н., Сушенок А. А., Ковтун П. В., Осипова О. В. Совершенствование путевого развития ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод»..... 37
Радкович Н. Н., Бусько А. Т., Моисеенко В. Л., Максимчик К. В. Некоторые особенности перетяжки рельсовых плетей локомотивом..... 40
Романенко В. В., Рудковский И. В., Ародь Л. Н. Применение современных средств автоматизации для паспортизации кривых на Белорусской железной дороге..... 43
Поддубный А. А., Гордон В. А. Определение динамических догрузок стержня, вызванных внезапной осадкой части основания Пастернака при перемещении шагающих робототехнических комплексов..... 47

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

- Чаганова О. С., Кулаженко Ю. И., Страдомский М. Ю. Анализ результатов испытаний по определению сил, необходимых для сдвига вагонов, закрепленных тормозными башмаками..... 51
Бурченко В. В., Шангур В. Д. Совершенствование технологии бесконтактного технического контроля подвижного состава в движении..... 54
Демьянчук О. В. Анализ влияния ветровой нагрузки на закрепление железнодорожных составов станционными тормозными башмаками..... 58

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

- Еловой И. А., Потылкин Е. Н. Разработка процессной модели для тарификации услуг по подаче, уборке вагонов на железнодорожные пути общего пользования..... 62
Кузнецов В. Г., Ерофеев А. А. Принципы адаптивности при разработке генеральных схем железнодорожных узлов в градостроительном плане населенного пункта..... 65
Михальченко А. А. Влияние неопределённости входного потока поездов на резервирование ресурсов железной дороги..... 71
Власюк Т. А., Белоус А. Н., Цзэн Сяньфэн. Опыт Китая по применению картографических сервисов при организации туристических маршрутов в городах..... 76
Галушко В. Н., Евдасев И. С., Громыко И. Л. Совершенствование диагностики трансформаторов с помощью сверточных нейронных сетей..... 79
Шкурин К. М. Формирование новых подходов к разработке системы организации вагонопотоков..... 84
Терещенко О. А. Информационное обеспечение технологических процессов управления местной работой..... 87
Ван Юйбянь. Аналитический расчет коэффициента съема поездов при организации высокоскоростного движения..... 92
Иванов Л. Ф., Скороход А. З. Математическое моделирование и постановка краевой задачи при получении волокнисто-пористых материалов под воздействием лазерной абляции ПТФЭ..... 96

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Гришанкова Н. А. Особенности формирования личностно-ориентированных коммуникаций при подготовке по иностранному языку студентов БелГУТа..... 100

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 656.25 (075.8)

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

РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ БЕЗОПАСНЫХ СХЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассматриваются дополнения к руководящему материалу 32ЦШ1115842.01-94 в части описания безопасных схем сравнения многоканальных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведены функции алгебры логики, на которых основана работа этих схем. Рассмотрены вопросы синтеза безопасных схем сравнения. В качестве примера реализации предложены безопасные элементы системы LOGISAFE-GS. Таким образом, предлагаемые дополнения позволяют провести системное описание принципа действия и конструкции безопасных схем сравнения. Такое описание является актуальным на современном этапе развития систем железнодорожной автоматики.

Для обеспечения защиты от опасных отказов в современных микропроцессорных системах железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) используется структурное резервирование аппаратного и программного обеспечения. В состав системы входят несколько диверситетных вычислительных каналов; результаты обработки информации контролируются безопасными схемами сравнения [1]. Так как создание такого аппаратно-программного комплекса является сложной научной и инженерной задачей, то разработан руководящий технический материал РТМ 32ЦШ1115842.01-94 [2], фиксирующий архитектурные и схемные методы обеспечения функциональной безопасности СЖАТ. К сожалению, указанный документ не лишен недостатков в части описания безопасных схем сравнения. Во-первых, в документе приведены только отдельные примеры схемотехнических решений для безопасных схем, причем не все востребованные на практике схемы описаны. Во-вторых, не дано никакое теоретическое основание для разработки таких схем. Поэтому в статье предлагаются изменения описания безопасных схем сравнения в РТМ 32ЦШ1115842.01-94, направленные на устранение этих недостатков.

Для реализации этого представляется целесообразным следующее распределение материала о безопасных схемах сравнения в соответствующем разделе РТМ 32ЦШ1115842.01-94.

В начале раздела следует указать, что для объектов, у которых опасным отказом является ложное появление сигнала, используются решающие элементы «И» и схемы мажоритарного выбора. Также находит широкое применение схема равнозначности кодов [3–5].

Далее описываются функции алгебры логики, на которых основана работа безопасных схем сравнения. Так, логическая функция «И» хорошо известна [6]. Для повышения помехоустойчивости и обеспечения диверситета в железнодорожной автоматике сравнивается код $v = (x_1 \dots x_n)$ и инверсия кода $\bar{v} = (y_1 \dots y_n)$, при правильном функционировании вычислительных каналов $x_p = \bar{y}_p$. Поэтому для разработки схемы равнозначности необходимо использовать логическую функцию «сумма по модулю два», иначе «отрицание

равнозначности», «исключающее ИЛИ» [3, 4, 7]. Функция алгебры логики задается формулой [6]

$$f(v, \bar{v}) = \prod_{p=1}^n x_p \oplus y_p. \quad (1)$$

Логическая функция мажоритарного выбора в железнодорожной автоматике определяется возможным количеством вычислительных каналов. Находят применение трехканальные структуры [4, 7]. Поэтому мажоритарный выбор осуществляется по правилу «два из трех». Соответствующая логическая функция имеет вид [6]

$$f = x_2 x_1 \vee x_3 x_1 \vee x_3 x_2. \quad (2)$$

Затем излагаются вопросы синтеза безопасных схем сравнения. Технологичность, миниатюризация, простота схемы обеспечиваются непосредственной реализацией логических функций на электронных элементах. Синтез функций алгебры логики в одном из классических базисов [6] в данном случае нецелесообразен, так как усложняет конструкцию схемы.

Технологичность и доступность элементной базы совместно с требуемым уровнем безопасности достигаются применением внешнего тестового автоконтроля в схемах сравнения. Как следует из [7], при таком схемном решении для реализации схем не требуются индуктивные элементы: трансформаторы либо ферритовые модули. Такие элементы всегда усложняют изготовление схемы и увеличивают ее стоимость.

В качестве руководящего образца для реализации наиболее подходящими являются элементы системы LOGISAFE-GS. Ее базовым модулем является усилитель на полевом транзисторе. Защитное свойство усилителя заключается в том, что в случае пробоя транзистора сигнал на выходе усилителя имеет низкий уровень и не приводит к ложному появлению сигнала на выходе безопасной схемы, построенной на базе усилителя. Также логические сигналы постоянного тока не пропускаются на выход и вход безопасной схемы по-

ловыми частотными фильтрами. Схема усилителя приведена на рисунке 1 [7–9].

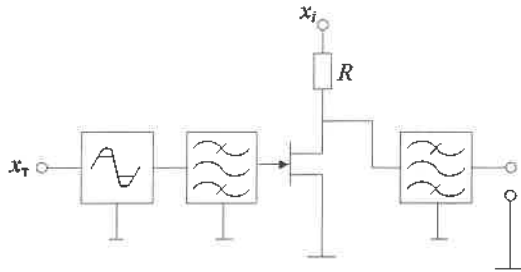


Рисунок 1 – Базовый усилитель системы LOGISAFE-GS

На базе этого усилителя строятся требуемые схемы сравнения: «И» (рисунок 2), «исключающее ИЛИ» (рисунок 3), мажоритарная «2 из 3» (рисунок 4).

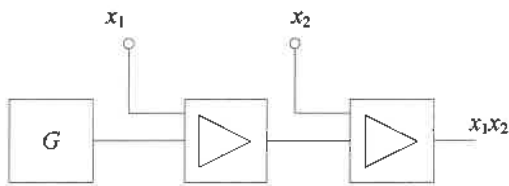


Рисунок 2 – Безопасная схема «И»

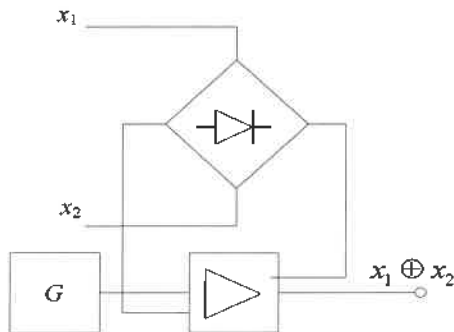


Рисунок 3 – Безопасная схема «Исключающее ИЛИ»

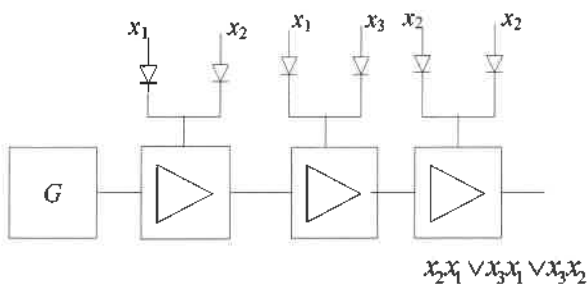


Рисунок 4 – Безопасная мажоритарная схема

В схеме на рисунке 2 сигнал на выходе появляется только в том случае, если оба усилителя получают питание от входов, на которых имеется логическая переменная высокого уровня «1». Очевидно, что при этом реализуется таблица истинности логической функции «И».

Работа схемы «исключающее ИЛИ» основана на включении усилителя в плечо диодного моста Грейца. В этом мосте диоды открываются и полевой транзистор усилителя получает питание, только если на логические входы схемы поданы разные уровни входных сигналов ($x_1 = 1, x_2 = 0$ или $x_1 = 0, x_2 = 1$). Тогда на выходе

схемы появляется сигнал. В случае равенства входных логических сигналов диоды моста закрыты, усилитель не получает питания, сигнал на выходе схемы отсутствует. Очевидно, таким способом реализуется таблица истинности требуемой логической функции.

Работа мажоритарной схемы на рисунке 4 поясняется таблицей истинности (таблица 1). При ее формировании учтено, что усилитель получает питание, если на логическом ходе присутствует хотя бы один сигнал высокого положительного уровня. Также учтено, что если на тестовом входе усилителя нет сигнала, то его нет и на выходе усилителя.

Таблица 1 – Таблица истинности безопасной мажоритарной схемы

x_1	x_2	y_1	x_1	x_3	y_2	x_2	x_3	y_3
0	0	–	0	0	–	0	0	–0
0	0	–	0	1	–	0	1	–0
0	1	П	0	0	–	1	0	–0
0	1	П	0	1	П	1	1	П 1
1	0	П	1	0	П	0	0	–0
1	0	П	1	1	П	0	1	П 1
1	1	П	1	0	П	1	0	П 1
1	1	П	1	1	П	1	1	П 1

Как видно, на выходе схемы формируется сигнал, соответствующий значениям логической функции мажоритарного выбора (2) [6]. Диоды на логических входах усилителей предотвращают питание усилителя от высоких отрицательных уровней напряжения.

Из приведенных рисунков видно: достоинством системы LOGISAFE-GS является то, что все схемы сравнения разработаны на основе общего схемотехнического решения и одного базового модуля.

Схема диодного моста Грейца часто используется для реализации схемы «исключающее ИЛИ» в коллекторно-базовой логике [2, 4, 7]. Поэтому ее описание должно быть также включено в руководящий технический материал. В этой схеме в плечо диодного моста включается биполярный транзистор, как показано на рисунке 5. Работа схемы аналогична описанной выше.

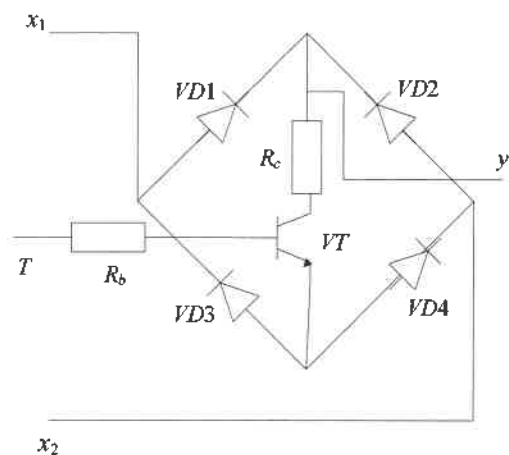


Рисунок 5 – Диодный мост Грейца

В приведенной выше схеме резистор R_b обеспечивает снижение уровня тестового сигнала до уровня, при котором транзистор надежно открывается. Тогда, в случае пробоя транзистора, усиление тестового сигнала в схеме не происходит и уровень сигнала на выходе имеет низкий уровень, соответствующий логическому нулю.

Для исключения короткого замыкания резистора принимаются специальные конструкторские меры [2, 4, 7].

Предлагаемые в статье дополнения к РТМ 32ЦШ1115842.01-94 позволяют дать системное описание безопасных схем сравнения, которые применяются в микропроцессорных СЖАТ. В этих дополнениях отражено, какие схемы сравнения используются, на базе каких логических функций эти схемы работают, как эти логические функции реализуются на электронной элементной базе. Поэтому приведенные дополнения позволяют решать задачи разработки современных СЖАТ на высоком теоретическом уровне. Следовательно, доработка и улучшение руководящих технических материалов является актуальной в современных условиях перехода к новым концепциям разработки систем управления движением поездов [10].

Автор выражает искреннюю благодарность заведующему кафедрой информационно-управляющих систем и технологий Белорусского государственного университета транспорта С. Н. Харлапу за полезные обсуждения, позволившие сформировать цель и направление исследований.

Список литературы

1 Бочков, К. А. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте / К. А. Бочков, А. Н. Коврига, С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 254 с.

Получено 08.07.2021

D. V. Komnatny. Development of technical manuals on safe comparison circuits of microprocessor railway automatic systems design work.

The additions to guided technical matter 32ЦШ1115842.01-94 in parts of safe comparison circuits description are considered. These circuits are used in modern microelectronic railway automatic and telemechanics systems. The Boolean algebra functions, on which operation of these circuits based, are adduced. The questions of safe comparison circuits synthesis are considered. As an example of synthesis, the elements of LOGISAFE-GS system are proposed. Proposed additions allows to conduct the systematic description of safe comparison circuits design philosophy. Such description is actual in modern stage of railway automatic systems development.

2 РТМ 32ЦШ1115842.01-94. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. – Введ. 1994-06-01. – СПб. : ПГУПС, 1994. – 120 с.

3 Кустов, В. Ф. Разработка требований функциональной безопасности для устройств железнодорожной автоматики / В. Ф. Кустов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (41). – С. 28–30.

4 Харлап, С. Н. Разработка микропроцессорного модуля управления для системы железнодорожной автоматики / С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 175 с.

5 Станционные системы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников [и др.] ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1997. – 432 с.

6 Пухальский, Г. И. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах / Г. И. Пухальский, Т. Я. Новосельцева. – М. : Радио и связь, 1990. – 304 с.

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

8 Шивек, Л. В. Дискретные логические схемы с безопасными отказами LOGISAFE-GS / Л. В. Шивек // Железные дороги мира. – 1980. – № 11. – С. 10–18.

9 Лисенков, В. М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1999. – 192 с.

10 Рогачева, И. Л. Эксплуатационная надежность систем электрической централизации нового поколения / И. Л. Рогачева. – М. : Маршрут, 2006. – 230 с.

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

Д. В. КАПСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск; С. В. СКИРКОВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; Л. А. ЛОСИН, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН, г. Санкт-Петербург

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрены принципы построения транспортной модели, этапы построения общей модели в рамках разработки генерального плана и других документов, а также вопросы, связанные с генерацией поездок (транспортного поведения населения, определяющего его подвижность) в рамках транспортной сети городов (учет транспортного спроса).

По сути, построение транспортной модели должно вестись с помощью геоинформационной системы, которая является аппаратно-программным человеко-машинным комплексом, который обеспечивает сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных, интеграцию информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием, управлением окружающей средой и территориальной организацией общества в городской агломерации [1, 2]. Городская агломерация – обладающая отчетливыми признаками территориальной и функциональной целостности, относительно компактная в пространственном отношении совокупность, группа городских и сельских населенных пунктов (поселений) с прилегающими к ним межселенными территориями, объединенных в сравнительно обширную и сложную территориальную систему с многообразными, достаточно устойчивыми и интенсивными взаимосвязями. При этом транспортное районирование представляет собой способ агрегирования индивидуальных потребностей пользователей при использовании транспортной сети в некую общность по определенным параметрам для целей моделирования. Необходимо отметить, что точность модели – величина отклонения значенных выходных данных модели от реально измеренных значений этих параметров [2–4].

В модели, безусловно, необходимо учитывать транспортный спрос – количественно определенные потребности в перевозках и дополнительных транспортных услугах, и целевую подвижность населения (показатель, характеризующий среднюю частоту целевых передвижений населения города в течение года) и элементарную подвижность населения (показатель, характеризующий среднюю частоту элементарных передвижений населения города в течение года). Само собой, целевое передвижение можно трактовать как последовательную совокупность элементарных передвижений, осуществляемых человеком для достижения отдельных достаточно масштабных, значимых целей, определяющих укрупненную структуру его суточного цикла жизнедеятельности в городской агломерации.

В общем виде схема расчета интенсивности транспортных потоков состоит из следующих этапов (четырёхэтапная схема): генерация поездок; распределение

поездки по транспортным районам (моделирование матрицы межрайонных корреспонденций); выбор способа передвижения; распределение поездок по сети (моделирование потокоораспределения в сети).

Расчетная схема может включать в себя только часть указанных процедур. Состав операций определяется особенностями поставленной задачи и комплектностью исходной информации. Например, для укрупненной оценки корреспонденций между планировочными районами в рамках разработки генерального плана города бывает достаточно только расчета матрицы корреспонденций. В ряде случаев элементы матрицы корреспонденций могут полностью или частично выступать в качестве исходной информации; например, при наличии данных о передвижении между районами, полученных в ходе социологического опроса, или при наличии информации о транзитных грузопотоках.

Три первых этапа данной схемы составляют оценку транспортного спроса.

Следует отметить, что в ряде ранее использовавшихся в проектной практике моделей расчет автомобильных и пассажирских потоков производился раздельно; при таком подходе распределение потоков по видам транспорта может включаться в процедуру подготовки исходных данных для моделирования.

Основными факторами, определяющими количество совершаемых передвижений и их распределение по транспортной сети города, являются [5]:

- потокообразующие факторы, т. е. размещение объектов, порождающих передвижения – места проживания, места приложения труда, объекты культурно-бытового обслуживания;
- характеристики транспортной сети, такие как количество и параметры улично-дорожной сети, параметры организации движения, маршруты и провозные способности городского общественного транспорта;
- поведенческие факторы, такие как мобильность населения, предпочтения при выборе способов и маршрутов передвижения.

В общем виде процедура генерации поездок состоит в переходе от известных значений потокообразующих факторов (количество проживающих, количество рабочих мест и т. д.) к объемам передвижений по транспортным районам в единицу времени, как правило, в сутки или в час. Формирование массивов генерации спроса («отправлений» и «прибытий» по транспортным райо-

нам) производится с учетом ряда факторов. Единица измерения элементов массива – «человек в единицу времени» (в случае отдельного расчета интенсивности автомобильных потоков в качестве единицы измерения может быть «транспортных средств в единицу времени»).

Одним из таких основных факторов, характеризующих транспортное поведение населения, является величина подвижности населения; далее приведены определения и основные подходы к расчету и прогнозированию этого параметра.

Под элементарным передвижением будем понимать отдельный, «качественно однородный», неделимый акт физического перемещения человека в городском пространстве (за пределами зданий, сооружений) пешком или с использованием транспортного средства конкретного вида транспорта и определенного маршрута. Соответственно, элементарная подвижность населения города – это показатель, характеризующий среднюю частоту элементарных передвижений населения города в течение года. Определяется элементарная подвижность путем деления общего количества (числа) совершенных в течение года элементарных передвижений в городе на среднегодовую суммарную численность постоянного и временного населения города.

Можно разделить элементарную подвижность на составляющие по видам транспорта. Различают общую подвижность населения – среднее число всех передвижений по территории города, и транспортную подвижность населения – среднее число поездок на транспортных средствах. Единица измерения подвижности – «поездок на жителя в год».

Для осуществления нескольких последовательных элементарных передвижений одного и того же человека в один и тот же день чаще всего характерна некоторая, объединяющая их (элементарные передвижения) целевая мотивация. Отсюда можно вывести следующее определение: целевое передвижение – это последовательная совокупность элементарных передвижений, осуществляемая человеком для достижения отдельных, достаточно масштабных, значимых целей, определяющих укрупненную структуру его суточного цикла жизнедеятельности. В своем массовом, статистическом смысле целевые передвижения осуществляются для того, чтобы, например, от места жительства попасть к месту приложения труда или к месту учебы. Соответственно сказанному выше целевая подвижность населения города – это показатель, характеризующий среднюю частоту целевых передвижений населения города в течение года. Определяется такая подвижность путем деления общего количества (числа) совершенных в течение года целевых передвижений в городе на среднегодовую суммарную численность постоянного и временного населения города.

Как правило, совмещение поездок на индивидуальном и общественном транспорте происходит достаточно редко (хотя во многих городах наблюдается рост комбинированных передвижений), поэтому целевую подвижность можно разделить на группы по видам транспорта, включая пешие передвижения и передвижения на велосипедах. У разных видов целевой подвижности наблюдаются различные закономерности, зависящие от многих факторов (рисунок 1).

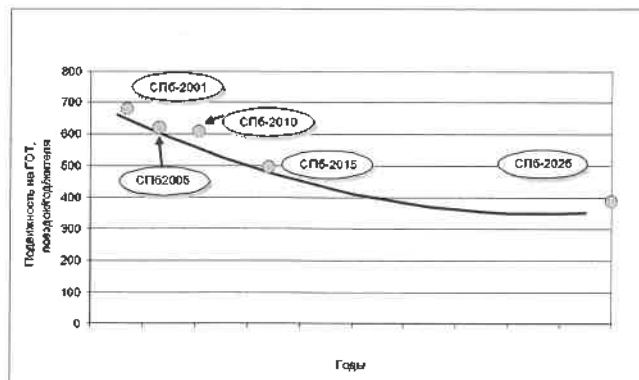


Рисунок 1 – Динамика подвижности населения на общественном транспорте (Санкт-Петербург)

Ряд проведенных исследований [6] указывают на то, что на структуру подвижности существенно влияет величина среднечасового дохода населения и плотность населения города. Величина подвижности на городском общественном транспорте увеличивается по мере возрастания плотности населения и уменьшения величины его душевого дохода (рисунки 2, 3). В городах с высокой плотностью населения уменьшаются расстояния перемещения, что делает население менее восприимчивым к невысоким скоростям сообщения на ГОТ. По мере роста душевого дохода повышаются требования населения к скорости перемещения при одновременном росте возможностей личной автомобилизации. Это приводит к снижению потребности в относительно менее скоростном и менее комфортабельном общественном транспорте и переориентации на индивидуальный транспорт.

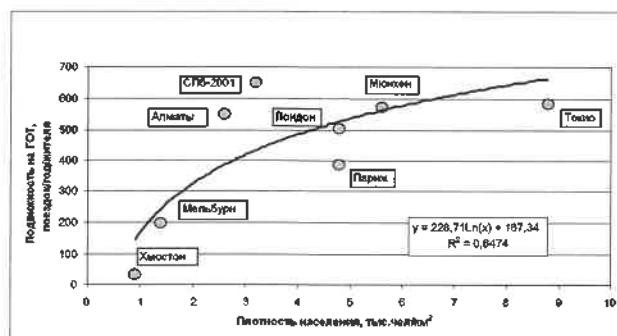


Рисунок 2 – Зависимость подвижности на общественном транспорте от плотности населения

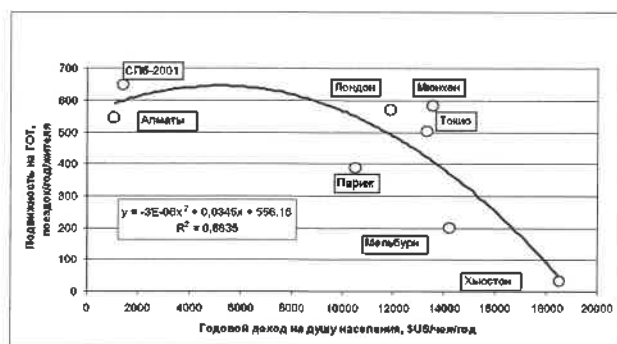


Рисунок 3 – Зависимость подвижности на общественном транспорте от дохода

Задачу прогнозирования подвижности населения города можно разделить на две подзадачи: прогнозирование общей величины подвижности и ее структуры по видам осуществления. Один из методов количественной оценки уровня подвижности – социологический. Сбор данных о транспортной подвижности населения основан на домашнем интервьюировании респондентов, распределенных по территории города согласно принципам квотной выборки в соответствии с пространственным распределением населения и его половозрастной структурой.

Но подвижность на индивидуальном транспорте и, соответственно, на общественном транспорте, зависит от уровня автомобилизации населения (под уровнем автомобилизации понимают количество зарегистрированных автомобилей на 1000 жителей). Уровень автомобилизации на перспективу определяется документами территориального планирования на основе значений, предлагаемых нормативами.

Нужно отметить, что нормативные показатели уровня автомобилизации в ряде случаев могут оказаться сильно заниженными, так как при их определении не всегда учитывают современные тенденции резкого увеличения количества автомобилей в личном пользовании. Частота использования личного транспорта при передвижении по городу и, в частности, для ежедневных трудовых поездок, зависит от множества факторов и не может быть поставлена в прямую зависимость от уровня автомобилизации населения.

Для определения объемов «отправлений» и «прибытий» на индивидуальном и общественном транспорте значение уровня автомобилизации целесообразно использовать совместно с системой поправочных коэффициентов, например, коэффициента использования индивидуального транспорта.

Все известные модели коэффициента использования индивидуального транспорта представляют попытку связать его значение с 1–2 факторами городской системы передвижений. Но реальный процесс его формирования намного сложнее и происходит под влиянием целой системы факторов [3, 7, 8].

Принятие решения об использовании транспорта или отказе от него у субъекта перемещения происходит при ассоциированном действии таких параметров транспортной системы, как плотность сети, интервал движения, ценовые и качественные характеристики транспорта и т. д. Выбор зависит от свойств самого субъекта и его перемещения: уровня его доходов, наличия личного автомобиля, расстояния перемещения и т. д. Оказывает свое влияние и среда: например, величина эксплуатационных расходов существенно определяет решения о пользовании личным автомобилем.

При решении задачи генерации поездок происходит переход от численности населения, количества рабочих мест, мощности объектов притяжения, других характеристик территории в количественные параметры, приведенные к некоторому временному диапазону. Как правило, расчет «отправлений» и «прибытий» производится для каждой группы участников передвижения отдельно, следовательно, необходимо изучить структуру городских (агломерационных) передвижений применительно к конкретному проекту с учетом точности

моделирования [2, 3, 9]. Обычно все передвижения подразделяются на четыре основные группы.

А. Передвижения по трудовым и учебным целям – передвижения работающих по найму лиц (рабочих и служащих) и предпринимателей от мест жительства к местам приложения труда и обратно, передвижения студентов и учащихся учреждений высшего, среднего и начального профессионального образования к местам учебы и обратно, передвижения школьников к школам и обратно.

Б. Передвижения по культурно-бытовым целям – передвижения населения всех социальных групп к предприятиям культурно-бытового обслуживания (зрелищным учреждениям, торговым центрам и т. п.) и обратно.

В. Рекреационные передвижения – передвижения населения всех социальных групп к местам длительного или кратковременного отдыха и обратно.

Г. Деловые передвижения – передвижения лиц, работающих по найму (рабочих и служащих) и предпринимателей в течение рабочего дня в связи с производственными, деловыми нуждами предприятий, учреждений, организаций.

Если в 1980-е годы при проведении расчетов с помощью модели можно было ограничиться учетом только трудовых корреспонденций, то при расчетах современных и, особенно, перспективных потоков, необходимо учитывать, как минимум, трудовые и деловые передвижения. В некоторых моделях при необходимости более детального учета целевых передвижений могут также выделяться транзитные передвижения, передвижения, «внешние» по отношению к территории рассмотрения, грузовые передвижения, велосипедное движение, перемещения с помощью средств индивидуальной мобильности и т. д.

Выбор интервала времени для моделирования осуществляется на основе определения периода максимальной загрузки сети, что требует исследования часовой, суточной и сезонной цикличности автомобильных или пассажирских потоков. В проектной практике для периода моделирования часто выбирается утренний час пик. Он имеет наиболее простую структуру, с той точки зрения, что в утренний максимальный час перевозок значительную долю составляют трудовые корреспонденции («дом – работа»), которые хорошо поддаются формализации: трудовые корреспонденции являются наиболее устойчивыми по направлению и величине, наиболее концентрированными по времени суток и наиболее обязательными.

В то же время за последние годы график зависимости потока от времени суток претерпел значительные изменения: если ранее наблюдались ярко выраженные утренние и вечерние пиковые нагрузки, то в настоящее время во многих городах наблюдается «сглаживание» пиков, выражающееся в расширении интервала пиковых нагрузок при одновременном уменьшении доли максимального часа в суточном объеме перевозок. Причем по территории города эти закономерности могут варьироваться в зависимости от преобладающего функционального назначения территории, удаленности от центра, социального состава населения и других факторов.

Для нивелирования указанных различий в характере цикличности потоков в качестве интервала времени для моделирования иногда целесообразно выбирать условный (расчетный) час. В качестве же расчетного часа может быть принят утренний среднемаксимальный час, в пределах которого величины потоков представляют собой 40 % от максимального утреннего трехчасового потока. Такой подход позволяет, в том числе, нивелировать «волну», когда период максимальной загрузки сети в утренний час пик «перемещается» от периферии к центру города.

Список литературы

1 Врубель, Ю. А. Определение потерь в дорожном движении : монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск : БНТУ, 2006. – 240 с.

2 Капский, Д. В. Транспорт в планировке городов : пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». В 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2019. – Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.

3 Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский. – Минск: БНТУ, 2018. – 372 с.

4 Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации : монография / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Капитал Принт, 2018. – 144 с.

5 Швецов, В. И. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей / В. И. Швецов, А. С. Алиев. – М. : URSS, 2003. – 64 с.

6 Михайлов, А. С. Управление рынком перемещений городского населения / А. С. Михайлов. – Алматы : Гылым, 2003. – 238 с.

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

8 Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии : монография / И. Н. Пугачев [и др.] ; М-во науки и высш. образования РФ, ФГБОУ ВО «ТОГУ». – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2020. – 230 с.

9 Оценка экологических потерь в дорожном движении на основе GPS-данных о параметрах транспортных потоков и моделирования : [монография] / И. Н. Пугачев [и др.] ; М-во науки и высш. образования РФ. – Хабаровск : ТОГУ, 2020. – 249 с.

Получено 11.10.2021

D. V. Kapski, S. U. Skirkouski, L. A. Losin. Principles of building a transport model.

The article discusses the principles of building a transport model, the stages of building a general model within the framework of the development of an ingenious plan and other documents, as well as issues related to the generation of trips (transport behavior of the population that determines its mobility) within the transport network of cities (taking into account transport demand).

УДК 656.13

С. В. СКИРКОВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; Д. В. КАПСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск; Л. А. ЛОСИН, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН, г. Санкт-Петербург

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДА

Рассмотрены варианты районирования города – создание его функционально-планировочной структуры, учитывающей транспортные потребности города, обеспечивающей его устойчивое развитие и трансформации в симбиотическую агломерацию.

Согласно определению [1, 2] под районированием понимается процесс таксонирования, при котором идентифицируемые таксоны должны отвечать по меньшей мере двум критериям: критерию специфики данного таксона и критерию единства, целостности районированных (идентифицируемых) элементов. Выбор методов районирования зависит главным образом от целей, объема и качества информации. В модели для задания численных характеристик территории строится система расчетного транспортного районирования (рисунок 1). При этом нужно отметить, что иногда в литературе, посвященной моделям, вместо терминов «транспортный район» и «транспортное районирование» могут использоваться соответственно термины «транспортная зона» и «транспортное зонирование».

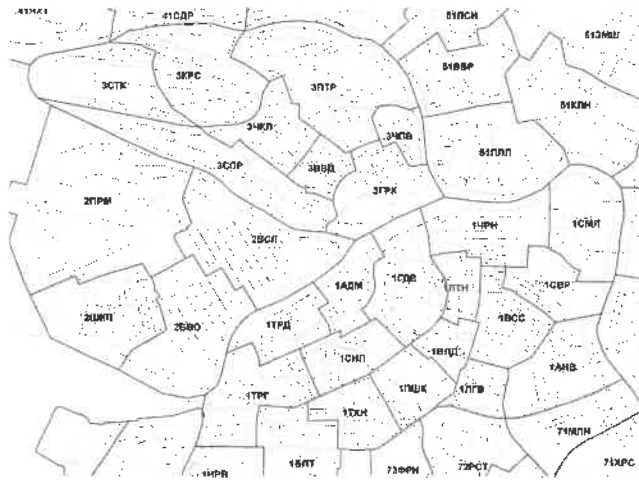


Рисунок 1 – Система транспортного районирования С.-Петербурга (фрагмент)

В целях районирования рассматриваемая территория разбивается на районы таким образом, чтобы размеры каждого из них позволяли пренебречь объемами внутрирайонных передвижений. Каждый из транспортных районов объединяет территорию, тяготеющую к крупному транспортному узлу, назначаемому экспертным путем. Желательно, чтобы система транспортного районирования в той или иной степени поддерживала сетку административно-территориального и муниципального деления: такой подход удобен для сбора статистической информации, а также для анализа результатов моделирования. Система транспортных районов также может быть согласована с системой планировочных образований, выделяемых в рамках проекта. Каждый транспорт-

ный район имеет уникальный код; последовательность нумерации районов обычно осуществляется по правилу меандра или спирали.

Еще в 1973 году, в эпоху расцвета транспортно-градостроительных исследований в СССР, были сформулированы следующие важнейшие принципы транспортного районирования, не потерявшие своей актуальности и сейчас: принцип автономности района, которая определяется относительной изоляцией его от прилегающих территорий (наличие соответствующих естественных и искусственных рубежей) и обеспеченностью доступности для значительной части внутрирайонных передвижений: следует стремиться к тому, чтобы все внутрирайонные передвижения были пешеходными; принцип функциональной однородности использования территории района (преобладание жилой, общественной либо промышленной застройки); принцип размещения «центра тяжести» района на основных транспортных магистралях – это предопределяет их прохождение через центральную часть района, а не по его периферии.

В целом же, как отмечают авторы [1, 3], принципами транспортного районирования являются: универсальность с точки зрения решения разнохарактерных задач; перспективность (учет территориального развития); информативность (возможность использования отчетно-статистических данных, использования в организации и обработке результатов транспортных обследований); оптимальность для получения достоверных исходных данных при минимизации трудозатрат; увязка с административной и планировочной структурой города.

Не всегда очевиден вопрос, какие элементы планировочной структуры должны являться границами транспортных районов: очень часто в качестве границ выступают условные линии, проходящие между магистральными улицами, узлы которых являются характеристическими центрами (фокусами, «центроидами») транспортных районов.

Для построения и анализа структуры межрайонных корреспонденций рекомендуется использовать систему агрегированных транспортных районов, формируемую путем объединения расчетных транспортных районов в группы по некоему территориальному признаку (рисунок 2). В этом случае характеристические центры агрегированных районов будут выступать как узлы, для которых строится матрица корреспонденций между агрегатами. Удобство такого подхода связано с возможностью наглядного представления межагрегатных корреспонденций в виде потоковой картограммы («брошки»),

в то время как слишком большое число элементов межрайонной матрицы (оно составляет n^2 , где n – число транспортных районов) лишает такое представление наглядности (это представление иногда называют «картограмма-паук»).

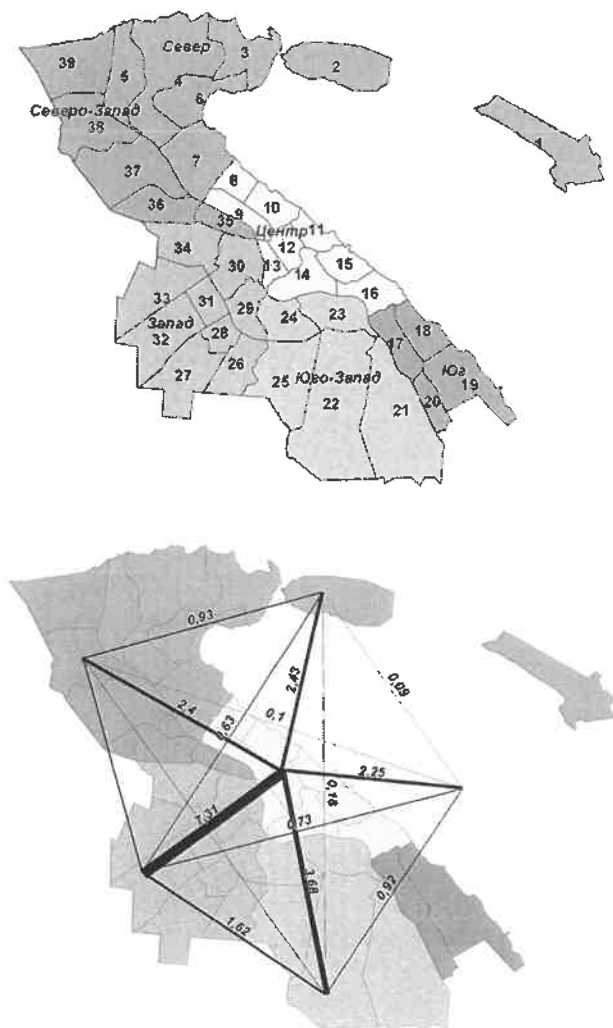


Рисунок 2 – Построение в системе агрегированного транспортного районирования (а), матрицы межрайонных корреспонденций (б) г. Петрозаводск

В соответствии с поставленной задачей в рамках проекта агрегирование транспортных районов может осуществляться по-разному, в некоторых случаях в рамках одного проекта может использоваться несколько систем агрегирования. Например, при разработке раздела развития транспортной инфраструктуры в составе Генерального плана С.-Петербурга для анализа транспортных связей между основными планировочными районами было сформировано две системы агрегированных транспортных районов: Центр Петербурга + 5 секторов по направлениям: для анализа внутригородских связей. Ядро Петербургской агломерации + 5 секторов по направлениям: для анализа внешних и агломерационных связей.

Подача нагрузки от транспортных районов, полученных на этапе генерации передвижений, на граф сети может осуществляться посредством условных дуг «привязки», которые соединяют условные центры районов, являющиеся источниками (фокусами потокообразова-

ния) и стоками (фокусами потокопоглощения), с узлами транспортной сети. Затраты времени на этих дугах можно интерпретировать как затраты на пеший подход к узлам сети. Дуги «привязки» могут назначаться как экспертным путем с учетом неравномерности внутрирайонного распределения мест проживания и мест приложения труда, так и автоматически – в этом случае нагрузка равномерно распределяется между всеми узлами сети в пределах транспортного района.

В применявшихся до недавнего времени методиках транспортно-градостроительных расчетов использовалось упрощающее предположение, состоящее в том, что нагрузка поступает в сеть в центрах транспортно-планировочных районов. Такой подход приводил, как правило, к неоправданному завышению потоковой нагрузки на участках сети, примыкающих к центрам районов. Напротив, задание слишком большого количества центров потокообразования нерационально в вычислительном отношении и затруднительно с точки зрения формирования исходной информации.

Поскольку на градостроительном уровне моделируется замкнутая система передвижений, в первую очередь трудовых, система транспортного районирования того или иного города обычно строится в пределах городской агломерации. Существует множество определений понятия агломерации, так же как и критериев ее выделения; в СГ, за редким исключением, граница агломерации не совпадает с административной (муниципальной) границей города.

Так, в соответствии с определением [4, 5] под агломерацией понимается группа близко расположенных городов, поселков и других населенных мест с тесными трудовыми, культурно-бытовыми и производственными связями, особое значение среди которых приобретают маятниковые поездки. Согласно определению, принятому при разработке Генерального плана С.-Петербурга, городская агломерация – это обладающая отчетливыми признаками территориальной и функциональной целостности, относительно компактная в пространственном отношении совокупность, группа городских и сельских населенных пунктов (поселений) с прилегающими к ним межселенными территориями, объединенными в сравнительно обширную и сложную территориальную систему с многообразными, достаточно устойчивыми и интенсивными взаимосвязями.

Поскольку городская агломерация имеет поясную структуру (рисунок 3), то в соответствии с заданными границами проектирования в качестве внешней границы территории моделирования (системы транспортных районов) выбирается тот пояс агломерации, который позволит наиболее полно учесть все внутренние связи, которые влияют на ежедневные передвижения населения, с требуемой точностью. Для учета внеагломерационных связей система районирования дополняется несколькими условными «внешними» районами («кордонами»), имитирующими связи с территорией, расположенной за пределами внешней границы системы транспортных районов. Таким образом, система становится полностью замкнутой, и обеспечивается баланс между численностью трудящихся и количеством мест приложения труда.

В целях получения достоверных результатов моделирования для решения транспортно-градостроительных задач необходимо провести калибровку модели современного состояния транспортной системы по результатам натурных и социологических обследований, а также иной информации («модель базового года»). Калибровка модели проводится как на уровне интегральных показателей функционирования транспортной системы (статистика по средним затратам времени на передвижение, средним скоростям, данные по суммарным пассажирооборотам по видам ГОТ, интегральные результаты социологических опросов и т. д.), так и на уровне объектных параметров (данные по интенсивности автомобильных и пассажирских потоков, пассажирообороты узлов и т. д.). По результатам калибровки уточняются параметры входного информационного массива модели, используемые для всего цикла модельных расчетов в рамках конкретного проекта. Опыт моделирования показывает, что оптимальной стратегией является двухэтапная схема калибровки: на первом этапе калибруются интегральные показатели, на втором – объектные.

Калибровка на уровне интегральных показателей – это контроль ряда параметров, характеризующих работу транспортной системы в целом или ее укрупненных составных частей. Процедура калибровки состоит в итеративном изменении параметров модели для выявления оптимальных значений параметров по критерию соответствия достоверным интегральным параметрам функционирования транспортной системы. Калибровка модели на этом уровне состоит из следующих этапов: анализ достоверных интегральных параметров функционирования транспортной системы; выбор калибруемых параметров и принятие их величины на основании предыдущего опыта моделирования; проведение серии расчетов потоков с назначением калибруемых параметров с некоторым шагом вокруг принятого значения; сравнение результатов моделирования с достоверными данными; определение значений калибруемых параметров.

Следует отметить, что количество калибруемых параметров определяется числом применяемых для калибровки критериев, набор которых ограничен числом взаимосвязанных моделей, используемых в рамках проекта.

На уровне объектных показателей калибровка осуществляется путем подбора и корректировки параметров улично-дорожной сети, сети общественного пассажирского транспорта, а также транспортных районов для достижения достоверных значений транспортных и пассажирских потоков на сети, а также на перегонах и пересадочных узлах внеуличного транспорта. Помимо подбора значений численных характеристик на данном этапе возможна также корректировка топологии сети и «привязок» транспортных районов. Нужно отметить, что если задача калибровки на уровне интегральных показателей может решаться как в ручном, так и в автоматическом режиме, то калибровка локальных показателей требует работы эксперта, который сможет правильно оценить реакцию модели на изменения парамет-

ров конкретных элементов сети. Выбор же методики обследования для получения необходимой информации для калибровки основывается на достижении требуемого уровня точности с учетом допущений, принятых при формировании модели. При всех методах обследования для уменьшения трудоемкости сбора необходимо максимально ограничивать объем получаемой первичной информации, обеспечивая в то же время достаточную степень достоверности и надежности получаемых результатов.

Наиболее ценную комплексную информацию для калибровки можно получить при организации тотальных исследований транспортного поведения населения города. Например, в 1970 году единственный раз при проведении переписи населения в опросные листы была включена форма, фиксирующая трудовые передвижения между местами жительства и работы, что позволило в то время получить детальную информацию о составе и количественных характеристиках межрайонных корреспонденций. В последние годы активно внедряются технологии автоматического контроля автотранспортных и пассажирских потоков, например, сбор информации об автомобильных потоках путем установки специальных датчиков на улично-дорожной сети, отслеживание всех входящих пассажиров с использованием валидаторов и т. д. В ряде стран в качестве источника информации для калибровки модели используются данные сотовых операторов, что позволяет не только получить информацию о распределении населения (эта информация используется для формирования исходного массива модели), но и сразу построить достоверную матрицу ежедневных передвижений; в России применение такого подхода находится в начальной стадии.

Как показывает практика, для исследования интенсивности автомобильных и пассажирских потоков в целях калибровки модели города (агломерации) эффективно использование результатов обследования, проводимого одновременно на всех видах транспорта вдоль протяженных границ крупных планировочных зон города. При этом посты обследования организуются на всех входах, пересекающих указанные границы, включая железные дороги и метрополитен. Преимущество такого метода заключается в том, что при сравнительно небольших затратах можно получить суммарный объем автомобильных и пассажирских корреспонденций между укрупненными зонами (центр города, ядро агломерации, пригородная зона) [7–9].

Результатом обследования автомобильных потоков при таком подходе являются объемы автомобильных перевозок по типам транспортных средств. Результатом обследования пассажиропотоков являются объемы пассажироперевозок, осуществляемых пригородным железнодорожным транспортом, метрополитеном, наземным пассажирским транспортом, а также индивидуальным автомобильным транспортом (рисунок 5).

В дополнение к натурному обследованию в ряде случаев целесообразно предпринимать социологические исследования потребности жителей в использовании индивидуального и городского пассажирского транспорта [1, 10].

УДК 656.13

Д. В. КАПСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск;
С. В. СКИРКОВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта,
г. Гомель

ОБОБЩЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Современный город представляет собой чрезвычайно сложный, саморазвивающийся организм, пытающийся сделать свою транспортную систему более устойчивой, в частности, за счет развитой системы маршрутного пассажирского транспорта, которая позволяет устойчиво развиваться городу. Однако учитывая, что транспортная система города и городская логистика несут ответственность за повышенный уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, городской шум, заторы на дорогах и аварийность, именно они должны стать основным направлением для непрерывного устойчивого экономического роста городских систем за счет оптимизированной системы маршрутного пассажирского транспорта. Именно такая система способна не генерировать, исключить излишние поездки на индивидуальном транспорте, повысить привлекательность маршрутного пассажирского транспорта и в целом мобильность населения, для чего необходимо правильно формировать такую сеть с учетом развития средств индивидуальной мобильности и немоторизованного транспорта.

Введение. Современный мир становится всё более урбанизированным. В течение последних 100 лет мир пережил быструю урбанизацию [1]. Начиная с 2007 года более половины населения мира живет в городах [2]. Согласно докладу ООН, посвященному изучению перспектив урбанизации, к 2050 году около 70 % жителей нашей планеты будут проживать в городах, что создаст новые вызовы к планированию городского пространства и стратегий бизнес-сообщества в плане обслуживания конечных потребителей (распределения товаров в розничных точках и обеспечение интернет-продаж), с одной стороны, и обеспечения рабочей силой предприятий, планирование развития общественного транспорта как стороны муниципалитетов, так и как совокупности коммерческих услуг (такси, аренда транспортных средств, коммерческие маршруты) – с другой. При этом, согласно данным Всемирного Банка, именно города и мегаполисы генерируют 80 % глобального ВВП и являются центрами экономического и социального взаимодействия. Однако на них также приходится и около 70 % глобальных выбросов углерода и более 60 % использования ресурсов [3]. Продолжающийся рост городского населения повлияет на расширение городских территорий, что увеличит спрос на грузовой и пассажирский транспорт. Несмотря на то, что урбанизация создает новые возможности как для мигрантов, так и для владельцев городского бизнеса, она также сопряжена с множеством проблем. В Республике Беларусь за последние 20 лет количество автомобилей увеличилось в 4 раза и превысило 3 млн единиц [4]. Этот рост вызвал ряд проблем, связанных с увеличением нагрузки на дорожную сеть, особенно в городах [5]. Снизилась скорость сообщения, ухудшились режимы движения, появились перегрузки, возросло количество аварий. Согласно итогам переписи населения 2019 года в Республике Беларусь проживают 9413446 человек [6]. Население Беларуси за 20 лет сократилось почти на 631,8 тыс. человек, при этом городских жителей стало больше. Так, количество городского населения увеличилось с 6961516 человек в 1999 г. до 7299989 в 2019 г., что составляет более 77,5 % от общей численности населения. Сельских жителей, наоборот, стало меньше примерно на 970 тыс. человек: с 3 083 721 до 2 113 457.

Именно поэтому качество транспортных систем выйдет на первый план, принося не только положительные, но и отрицательные эффекты в городскую жизнь (рисунок 1).

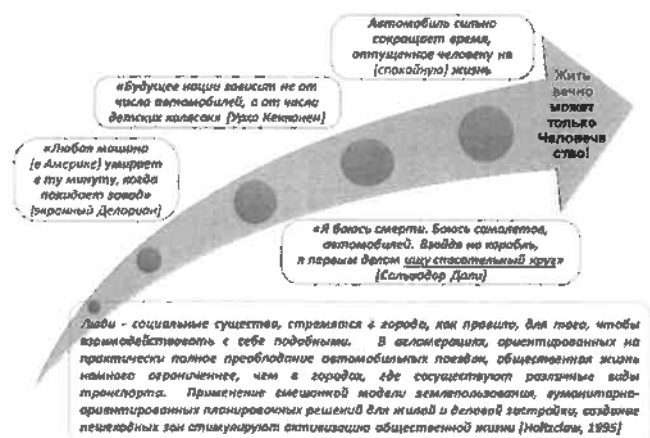


Рисунок 1 – Подходы к оценке влияния автомобилизации на человека

Таким образом, это динамичное развитие городских территорий из-за быстрой урбанизации создает серьезные проблемы для предоставления транспортных услуг растущему населению. В связи с этим необходима трансформация городской логистики, требующая комплексного понимания транспортных, экономических, экологических и социальных аспектов для выработки устойчивых решений в сфере планирования и координации потоков товаров (грузов) и пассажиров, личного, маршрутного пассажирского и коммерческого (грузового) транспорта. Безусловно, это влечет за собой необходимость создания соответствующей инфраструктуры в черте города с учетом интересов всех заинтересованных сторон (жителей города, бизнес-сообщества, государственных структур, туристов и пр.), а также разработки четких критериев оценки эффективности (операционные затраты на логистику, вложения в инфраструктуру, экологические потери, экономические потери, социальные издержки, уровень сервиса и качества предоставляемых услуг пассажирам, и др.) и устойчивого развития транспортных систем и симбиотических городов в це-

лом, что невозможно без целостно сформированной системы городского пассажирского транспорта.

Методические подходы к построению сети городского маршрутного пассажирского транспорта (ГМПТ). В качестве примера расчетной схемы в данной статье рассматривается небольшой город (проектная численность населения по Генеральному плану – около 50 тыс. жителей), при этом представленные пояснения позволяют распространить методические подходы и на более крупные города. Структура предлагаемой расчетной схемы также рассматривается в упрощенном составе. В частности, приводится расчетная схема только для системы ГМПТ, хотя данный подход может с некоторыми изменениями использоваться и для расчета интенсивности движения автомобильного транспорта на улично-дорожной сети. Главное, предлагаемый подход учитывает, по возможности, все основные этапы транспортного планирования городов и агломераций. Иногда простые методики численной оценки оказываются востребованными для получения быстрых результатов, которые могут быть положены в основу предложений, разрабатываемых в составе документации территориального и транспортного планирования, а также при проведении научных исследований пространственного развития. Известен следующий порядок классической схемы расчета интенсивности потокораспределения, ставшей своеобразным стандартом для всех специалистов, занимающихся данной темой: генерация поездок; распределение поездок по транспортным районам (построение матрицы межрайонных корреспонденций); выбор способа передвижения; распределение поездок по сети (расчет потокораспределения в сети). Данная последовательность вычислительных процедур применима как для оценки современного состояния транспортных систем городов, так и для получения расчетных показателей функционирования транспортных систем на некоторую перспективу. В практической деятельности по градостроительству и транспортному планированию горизонт такой перспективы соответствует, как правило, расчетному сроку, на который разрабатывается документация. Именно такой подход и рассмотрен в настоящем издании: расчеты параметров функционирования системы ГМПТ осуществляются на базе оценки спроса на передвижения, который соответствует перспективной ситуации, определенной генеральным планом города.

Существует достаточно много аналогичных методик расчета транспортных систем городов, различающихся подробностью рассмотрения и набором учитываемых факторов. Многие из таких методик предлагаются для курсовых работ в различных высших учебных заведениях, направление обучения в которых связано с градостроительством и транспортным планированием. В основе описываемой в настоящей работе расчетной схемы лежат подходы, базовые положения которых разработаны М. С. Фишельсоном [7] – основателем советской научной школы транспортно-градостроительного планирования. Разработанные им методические подходы адаптированы к современным условиям на основе практического опыта авторов данной статьи. Основа методики – оценка (прогнозирование) транспортного спроса, определяющего проектные и организационные решения в части ГМПТ. При этом важно понимать, что парамет-

ры транспортного спроса сами могут являться объектом управления, но данный аспект находится вне зоны рассмотрения изучаемой методики.

Существенным допущением многих разработанных методик проектирования системы маршрутного пассажирского транспорта является то, что они ориентированы на создание систем ГМПТ в новых городах, планировочная структура которых задается в рамках разработки таких проектов. С точки зрения обучения навыкам транспортного планирования такой подход оправдан, но на практике появление новых городов – крайне редкое событие в современном градостроительстве. Поэтому в практической работе полученная в результате расчетов «идеализированная» транспортная система должна быть откорректирована с учетом особенностей сложившейся структуры ГМПТ и маршрутной сети, а также возможностей по реализации разработанных предложений.

Предлагаемая в издании расчетная схема состоит из следующих этапов. Анализ системы расселения, планировочной структуры и транспортной системы города; определение границы рассмотрения; построение системы транспортного районирования территории; прогноз уровня подвижности населения на маршрутном пассажирском транспорте; предварительное проектирование сети ГМПТ; прогноз численности населения по транспортным районам; прогноз количества мест приложения труда по транспортным районам; расчет параметров генерации поездок на маршрутном пассажирском транспорте; расчет матрицы межрайонных корреспонденций; построение картограммы (эшоры) пассажиропотоков; корректировка сети ГМПТ; расчет парка подвижного состава ГМПТ.

Результатом предлагаемой методики является определение базовых параметров функционирования системы городского маршрутного пассажирского транспорта: средней дальности поездок, объема парка подвижного состава, а также построение перспективной картограммы пассажиропотоков на транспортной сети, которая является основой для принятия проектных решений в части развития ГМПТ. Дополнительно представлены подходы по распределению перевозок по видам маршрутного пассажирского транспорта, расчету маршрутной сети, оценке эффективности транспортной системы.

В качестве исходной информации выступают документация территориального планирования (генеральный план), определяющая направления развития городской территории, а также документация социально-экономического развития, содержащая, в частности, экономические прогнозные показатели и прогнозную структуру занятости населения. Также в качестве исходной информации следует упомянуть параметры существующей системы ГМПТ и показатели транспортной подвижности. Указанные параметры образуют комплекс факторов, определяющих количество совершаемых передвижений и их распределение по транспортной сети города: потокообразующие, транспортные и поведенческие факторы.

Методы оценки транспортного спроса как основы проектирования системы ГМПТ базируются на исследовании замкнутой системы передвижений в городах. Выделение территорий городских агломераций можно

производить на основе следующих критериев [8]: высокая территориальная концентрация населения, производственной деятельности и объектов сферы услуг при значительной неоднородности территории по функциям и их плотности; достаточная высокая плотность городского населения и отсутствие значительных разрывов застройки; благоприятная временная транспортная доступность от окраин до центра агломерации (не более 1,5 часов), наличие транспортных коридоров, обеспечивающих успешное взаимодействие разных видов транспорта; значительная доля населения городских населенных пунктов пригородной зоны от общей численности городского населения агломерации (не менее 10%); наличие массовых маятниковых трудовых, учебных, культурно-бытовых, деловых и рекреационных миграций; значительная доля трудоспособного населения, проживающего в пригородной зоне, но работающего в центре (ядре) агломерации (не менее 15%); достаточно тесные связи по социально-бытовой и инженерно-технической инфраструктуре; преобладающая взаимодополняемость видов деятельности и территориальных единиц в городской агломерации (что предопределяет развитие тесных связей внутри агломерации); относительная целостность рынков труда, недвижимости, земли в пределах агломерации. Существуют также методики численных расчетов границ зон влияния на основе средневзвешенных показателей интенсивности связей. На рисунке 2 приведено схематичное представление границ зоны влияния (агломерации) города-центра [9].

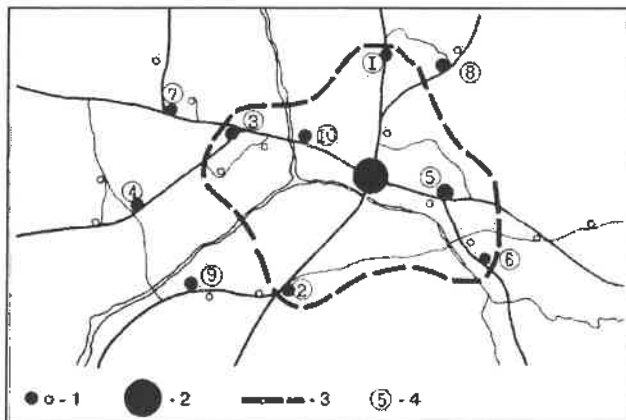


Рисунок 2 – Определение границ зоны влияния города-центра [9]:

1 – населенные пункты; 2 – город-центр; 3 – границы зоны влияния города-центра; 4 – номер населенного пункта

На практике сбор информации о территории и транспортной системе в границах агломерации (зоны влияния) может вызывать определенные затруднения, так как статистические данные и данные иных информационных источников группируются по административно-территориальным единицам, границы которых, как правило, не совпадают с границами агломераций. Кроме того, при расчете системы маршрутного пассажирского транспорта на перспективу используемые в качестве источника исходной информации документы территориального планирования также разрабатываются в пределах административных или муниципальных границ. Таким образом, процедура сбора исходной информации может потребовать изучения документации на смежные административно-территориальные единицы,

находящиеся в границах агломерации. Отдельно следует обратить внимание на ситуации, при которых рассматриваемый город входит в состав агломерации более крупного города-центра. В этих случаях расчет спроса на передвижения должен учитывать внешние по отношению рассматриваемого города передвижения.

Построение системы транспортного районирования территории. Для оценки (прогнозирования) спроса на передвижения рассматриваемая территория разбивается на расчетные транспортные районы. Суммарное количество транспортных районов в первом приближении можно определить исходя из расчета: один транспортный район на 10 тысяч жителей (хотя при транспортном районировании не нужно стремиться к равенству районов по численности населения). Важно отметить, что указанный норматив относится, в первую очередь, к методике районирования для решения расчетных задач в сфере индивидуального транспорта. Поскольку мы рассматриваем расчетную схему, сразу ориентированную на перспективную ситуацию, в качестве основы для построения системы транспортного районирования должна выступать схема функционального зонирования генерального плана (рисунок 3).

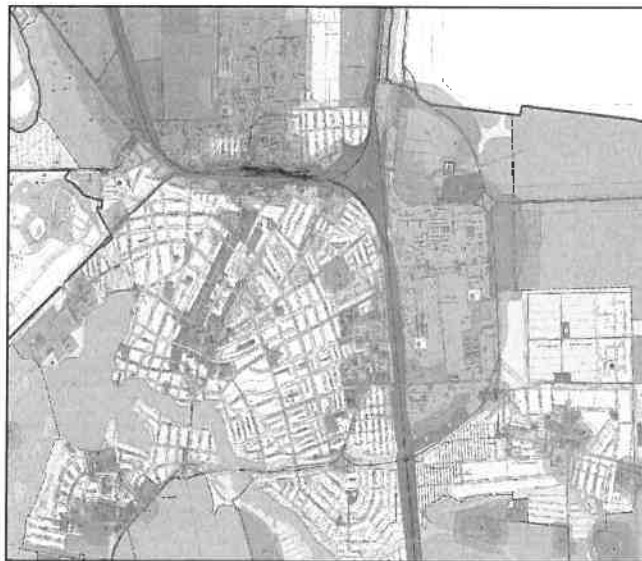


Рисунок 3 – Схема функционального зонирования Генерального плана города

Рекомендуется следующий порядок в определении границ транспортных районов. Выделить внешнюю границу системы транспортного районирования. Выделить основные линейные гидрографические объекты (крупные реки, цепочки озер и т. д.). Выделить элементы рельефа, разделяющие территорию на изолированные участки (горы, цепочки холмов и т. д.). Выделить магистральные железные дороги. Выделить крупные разрывы между застроенными и предполагаемыми к застройке территориями. Данный подход позволит получить укрупненную систему районирования. Исходя из общего количества транспортных районов оставшаяся территория следует разделить на районы согласно принципам функциональной однородности и размещения «центра тяжести» районов на основных транспортных магистралях (рисунок 4).

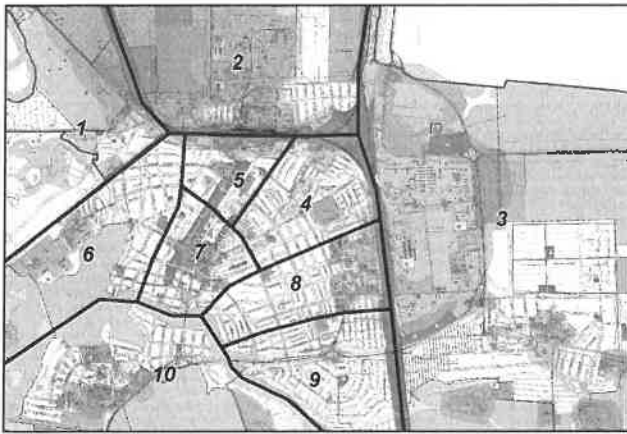


Рисунок 4 – Система транспортного районирования

Все транспортные районы должны иметь идентификационные номера, последовательность нумерации районов обычно осуществляется по правилу меандра или спирали. После разбивки территории на районы в каждом из них должен быть определен центроид (характеристический центр). В качестве такого центра тяжести может быть принят геометрический центр площади района или, в случае значительной неравномерности функционального зонирования, центр ареала жилой или производственной застройки. Внешние районы (кордоны) в рассматриваемой расчетной схеме не учитываются.

Прогноз уровня подвижности населения на городском маршрутном пассажирском транспорте. Переход от численности населения и количества мест приложения труда к показателям «отправлений» и «прибытий» в единицу времени может осуществляться через величину подвижности на маршрутном пассажирском транспорте. В целом объем отправлений и прибытий для трудовых передвижений в утренний максимальный час определяется по формулам

$$P = Nk_{\text{сам}}V_{\text{ГМПТ}}k_{\text{ч}} / 365; \quad (1)$$

$$Q = MV_{\text{ГМПТ}}k_{\text{ч}} / 365, \quad (2)$$

где N, M – объем отправлений и прибытий соответственно в утренний максимальный час, пас./ч; $k_{\text{сам}}$ – доля самостоятельного населения; $V_{\text{ГМПТ}}$ – уровень подвижности населения на ГМПТ, поездок на жителя в год; $k_{\text{ч}}$ – доля утреннего максимального часа в сутках.

Сама величина подвижности на маршрутном пассажирском транспорте зависит от ряда факторов, таких как уровень автомобилизации, плотность населения, средний годовой доход на душу населения. На практике для оценки величины подвижности можно использовать эмпирические зависимости, например:

$$V_{\text{ГМПТ}} = 391 + 231 \cdot \ln \delta_n - 34,9(0,705 \cdot e^{0,0057A}) + 0,982(0,705 \cdot e^{0,0057A})^2, \quad (3)$$

где δ_n – плотность населения, тыс. жит./км²; A – уровень автомобилизации населения, авт. на 1000 жит.

Показатели подвижности в городах меняются со временем; ниже приведены некоторые методы прогнозирования этих показателей [10, 11].

1 Моделирование рядов динамики транспортной подвижности. Данный метод предполагает экстраполяцию с учетом основных факторов, таких как динамика коэффициента пересадочности, влияние временного населения, изменение транспортного поведения и т. д.

2 Моделирование на основе теории минимизации транзакционных издержек в перемещениях. Транзакционные потери, связанные с осуществлением внутригородской подвижности, имеют временную и стоимостную составляющие, причем стоимость перемещения является платой за экономию его времени, что позволяет говорить о единой сущности данных составляющих. Данный метод основан на положениях институциональной экономической теории, которая трактует транзакционные издержки как эквивалент стоимости дополнительной услуги, позволяющей сократить время транзакции.

3 Метод сравнительных аналогий.

Предварительное формирование топологической структуры сети ГМПТ. Одной из процедур расчетной схемы является построение предварительной сети ГМПТ (в предлагаемом примере рассматриваются только автобусы). На данной предварительной сети будет производиться построение картограммы пассажиропотоков.

Принципы построения предварительной сети.

1 Все основные пункты тяготения пассажиров (вокзалы, аэропорты, крупные торговые комплексы, административные здания, зоны отдыха и т. д.), жилые микрорайоны и производственные зоны связываются транспортными линиями, по возможности, по кратчайшим расстояниям.

2 Линии транспорта по возможности трассируются вблизи центра застройки района.

3 Основные линии транспорта проектируются по магистральным улицам и улицам, допускающим пропуск ГМПТ.

4 Необходимо обеспечить минимизацию длины сети ГМПТ при условии максимального обслуживания территории города.

Кроме того, расстояние между линиями ГМПТ нужно принимать таким, чтобы величина пешеходного подхода к ним не превышала 500 метров. Необходимо также избегать сложных транспортных узлов, ограничивающих пропускную способность в узлах пересечения.

На рисунке 5 представлена предварительная сеть ГМПТ, а также территория, удовлетворяющая требованиям по обеспечению 500-метровой пешеходной доступности линий ГМПТ.



Рисунок 5 – Схема предварительной сети городского маршрутного пассажирского транспорта (штриховкой показаны зоны 500-метровой пешеходной доступности)

Для проверки целесообразно вычислить плотность сети ГМПТ, которая должна находиться в пределах норматива:

$$\delta_n = L_{\text{застр}}/S_{\text{застр}} = 1,5 - 2,5 \text{ км}^2, \quad (4)$$

где $L_{\text{застр}}$ – суммарная длина сети в пределах застроенных или предполагаемых к застройке территорий, км; $S_{\text{застр}}$ – площадь застроенных или предполагаемых к застройке территорий, км².

Заключение. Приведен обобщенный подход к решению задач формирования сети городского пассажирского транспорта. Приведен перечень исходных данных для формирования сети пассажирского транспорта в крупном городе с учетом различных особенностей ее формирования и развития города, а также мобильности населения. В рассматриваемом примере плотность сети ГМПТ – $58,5/17,1 = 3,4 \text{ км/км}^2$, что превышает рекомендуемые значения. Но поскольку в городе преобладает усадебная застройка, то такое превышение может быть оправдано с учетом необходимости соблюдения нормативной пешеходной доступности (см. рисунок 5). Практически все территории жилой и производственной застройки находятся в зоне нормативной пешеходной доступности. Поскольку городская логистика является междисциплинарным и симбиотическим предметом – сложнейшим социально-экономическим процессом, затрагивающим различные вопросы планирования и управления как системами городского грузового, так и пассажирского транспорта, то ее можно определить как процесс оптимизации транспортно-логистической деятельности государственных предприятий и частных компаний с учетом транспортной среды, загрузки дорог, потребления (сокращения затрат) энергии для синергетического эффекта по снижению негативного воздействия транспорта на жителей города [11, 12].

Список литературы

1 United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World urbanization prospects: The 2014 revision, (ST/ESA/SER.A/366). – New York : Author, 2015.

Получено 11.10.2021

D. V. Kapski, S. U. Skirkouski. Generalized approaches to solving the problems to forming a network of urban passenger transport.

A modern city is an extremely complex, self-developing organism trying to make its transport system more stable, in particular, due to the developed system of route passenger transport, which allows the city to develop sustainably. However, considering that it is the transport system of the city and urban logistics that is responsible for the increased level of emissions of harmful substances into the atmosphere, urban noise, traffic congestion and accidents, it should become the main direction for continuous sustainable economic growth of urban systems due to an optimized system of route passenger transport. It is such a system that is able to generate unnecessary trips, eliminate unnecessary trips on individual transport, increase the attractiveness of route passenger transport and, in general, the mobility of the population, for which it is necessary to correctly form such a network taking into account the development of means of individual mobility and non-motorized transport.

2 Chester, M. V. Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains / M. V. Chester, A. Horvath. – Environ. Res. Lett. 2009, 4.

3 Цель 11: Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.un.org/sustainable-development/ru/cities/>. – Дата доступа : 10.02.2021.

4 Сведения о состоянии дорожно-транспортной аварийности в Республике Беларусь в 2020 году : аналитический сб. / сост. : Д. М. Корзюк ; под общ. ред. Ю. Г. Назаренко. – Минск : МВД Респ. Беларусь, 2021. – 94 с.

5 Капский, Д. В. Методология повышения качества дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский. – Минск : БНТУ, 2018. – 372 с.

6 Подведены итоги переписи населения Республики Беларусь 2019 года [Электронный ресурс] / Новости PRAVO.BY. – Режим доступа : <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2020/september/54414/>. – Дата доступа : 10.02.2021.

7 Овечников, Е. В. Городской транспорт : учеб. пособие для вузов / Е. В. Овечников, М. С. Фишельсон. – М. : Высш. шк., 1976. – 352 с.

8 Лосин, Л. А. Административно-территориальные преобразования и формирование локальных центров расселения на территории Санкт-Петербургской городской агломерации / Л. А. Лосин, В. В. Солодилов, Г. П. Ляпунова // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – № 2 (61). – 2020.

9 Сосновский, В. А. Прикладные методы градостроительных исследований / В. А. Сосновский, Н. С. Русакова. – М. : Архитектура-С, 2006. – 112 с.

10 Расчет транспортной подвижности населения Санкт-Петербурга с использованием городского маршрутного пассажирского и индивидуального пассажирского транспорта : материалы по обоснованию проектных решений Генерального плана Санкт-Петербурга / отв. испол. В. В. Солодилов. – СПб. : ЗАО «Петербургский НИПИГрад», 2004.

11 Капский, Д. В. Транспорт в планировке городов : пособие : в 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2019. – Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.

12 Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации : [монография] / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Капитал Принт, 2018. – 144 с.

УДК 656.13

Е. В. ШВЕЦОВА, В. Н. ШУТЬ кандидат технических наук, Брестский государственный технический университет

О ПОСТРОЕНИИ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

Описана структура и функционирование информационно-транспортной системы (ИТС), базирующейся на использовании беспилотных электрокаров, рассмотрены принципы построения графика движения транспортных средств при выполнении плана перевозки пассажиров, который, как и план перевозки, формируется в режиме реального времени. Транспортные средства осуществляют движение по выделенному пути последовательно друг за другом без обгонов. График должен обеспечивать «бесконфликтное» движение транспортных средств в транспортной системе, т. е. впереди идущее транспортное средство не должно задерживать следующее за ним.

Введение. Современные городские общественные транспортные перевозки имеют следующие недостатки: принятие неэффективных решений диспетчеризации из-за отсутствия своевременной и точной информации о спросе на перевозку; сложившаяся номенклатура транспортных средств ориентирована на удовлетворение спроса на перевозку в пиковые моменты работы транспортной системы, что приводит к их неэффективному использованию в периоды спада спроса на перевозку.

Данные проблемы могут быть успешно решены с помощью внедрения информационно-транспортных систем (ИТС), использующих современные интеллектуальные технологии, которые способны выполнять сбор и анализ данных о спросе на перевозку в режиме реального времени, а также при на использовании автономных транспортных модулей малой вместимости, которые могут объединяться в автокараваны [1]. Можно привести внедряемые зарубежные проекты городских пассажирских транспортных систем, строящиеся на принципах автономных передвижных модулей, способных при необходимости объединяться и двигаться совместно: Next Future Transportataion (США – Италия) [2] и DART (Dynamic Autonomous Rapid Transit, Сингапур) [3].

Использование транспорта с разделяющимися частями на основе автономных транспортных модулей позволит увеличить степень своевременного удовлетворения спроса на перевозку при максимально рациональном использовании ресурсов транспортной системы.

Целью данной работы является описание принципов построения графика движения транспортных средств в режиме реального времени в ИТС на базе беспилотных электрокаров в соответствии с планом перевозки пассажиров.

Подробно городская пассажирская ИТС на базе беспилотных электрокаров, называемых инфобусами, описана в работах [4–12] и включает в себя:

- парк беспилотных транспортных средств небольшой вместимости (6–21 место) – инфобусов. Каждый инфобус управляется собственной бортовой компьютерной системой, получающей управление от единого информационного сервера ИТС. Движение транспортных средств осуществляется по выделенному пути, что делает движение высокоприоритетным. Преодоление перекрестков инфобусами происходит светофорным регулированием (по «зеленой волне»), устройством эстакад (рисунок 1, а) либо по подземным туннелям (рисунок 1, б).

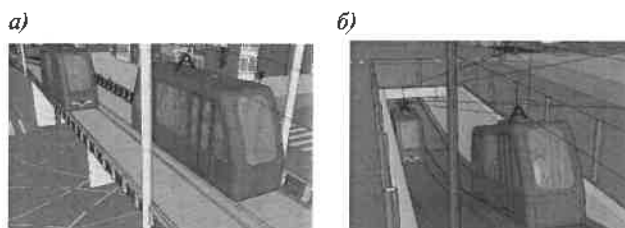


Рисунок 1 – Движение инфобусов:
а – по эстакаде; б – по туннелю

Инфобусы могут двигаться как отдельно, так и совместно в кассете (по принципу автокаравана), образуя транспортное средство с разделяющимися частями [4], что позволяет формировать транспортное средство нужной вместимости;

- маршрут движения инфобусов содержит по k остановок в двух направлениях, места сбора инфобусов (Накопитель 1 и Накопитель 2), из которых инфобусы начинают выполнение плана перевозки и в которые возвращаются после его реализации;

- система терминалов на остановках и мобильное приложение, позволяющие осуществлять сбор заявок на перевозку;

- информационный сервер ИТС (ИС ИТС), являющийся программно-аппаратным комплексом, отвечающим за сбор, анализ заявок пассажиров и организацию перевозок пассажиров в режиме реального времени. Результатом процесса организации перевозок является составленный план перевозок, который пересылается бортовым системам инфобусов для выполнения. Программными элементами ИС ИТС являются следующие системы: система сбора заявок (ССЗ), система анализа данных (САД) и система организации перевозок (СОП).

Функционирование ССЗ строится на использовании стационарных терминалов на остановках и приложений для смартфонов, с помощью которых пассажиры могут регистрировать заявки на перевозку в ИТС. На уровне хранения данных ССЗ находится система управления базами данных временных рядов (Time Series Data Base, TSDB), т. к. поток заявок от пассажиров можно рассматривать как дискретный временной ряд (здесь под временным рядом понимается последовательность наблюдений, хронологически размещенных на оси времени. Если время замеряется дискретно, то и ряд называется дискретным). Современные TSDB поддерживают высокопроизводительную вставку и обработку данных и с успехом используются в высоконагруженных распределенных системах, которой является и рассматриваемая ИТС.

САД предоставляет аналитику накопленных исторических данных: информацию о корреспонденциях, изменении интенсивности спроса на перевозку в разрезе времени суток; дня недели или месяца; праздничных, предпраздничных дней и т. д. Данная аналитика используется для организации адаптивного перевозочного процесса, основой которого является матрица корреспонденций M (рисунок 2), формирующаяся на основе заявок, накапливаемых транспортной системой в режиме реального времени. Каждый элемент матрицы m_{ij} есть сумма числа мест в заявках на перевозку с остановки i на остановку j и прогнозного показателя, определяющего объем потенциальных заявок на перевозку, которые будут зарегистрированы в системе за время от момента конца сбора заявок до момента прибытия транспортного средства на остановку [10].

$$M = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{3+1} & \dots & m_{3j} & \dots & m_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2 – Матрица корреспонденций

Сформированная матрица корреспонденций передается в СОП для составления плана перевозки пассажиров. План перевозки составляется на основе полученной матрицы корреспонденций для каждого транспортного средства, участвующего в выполнении перевозок по текущей матрице и включает в себя идентификационный номер для каждого инфобуса; остановку-источник (начальную остановку, с которой инфобус первоначально заберет пассажиров); множество целевых остановок (на которые инфобус повезет пассажиров); график движения для каждого транспортного средства. Сформированные планы перевозки пересылаются бортовым системам инфобусов для выполнения.

На рисунке 3 приведена схема функционирования ИТС.

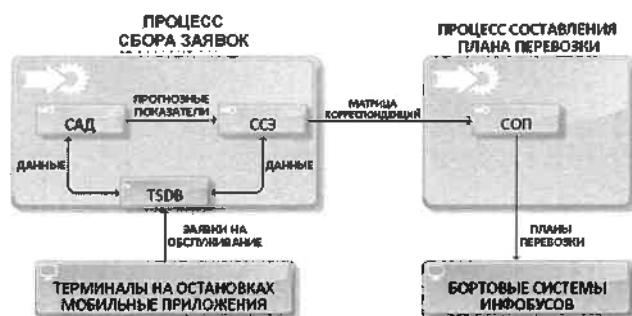


Рисунок 3 – Схема функционирования ИТС

Составление графика движения транспортных средств. Рассматриваемая ИТС относится к классу PRT-систем (Personal Rapid Transit), характерной чертой которых являются перевозки в режиме *источник – назначение* (*origin-destination*), где *источник* – остановка, на которой пассажир сел, а *назначение* – куда пассажир едет. При таком способе перевозок пассажир, в отличие от перевозки классическим городским общественным транспортом, добирается до остановки-назначения с минимальным числом промежуточных

остановок, на которых ему не нужно выходить. Поэтому каждый инфобус, участвующий в плане перевозки, составленном по матрице корреспонденций, помимо идентификационного номера n_i (где n – порядковый номер следования инфобуса, а i – остановка-источник) получает также остановку-источник и множество целевых остановок J_{n_i} , на которые он повезет пассажиров, севших на остановке i .

Движение транспортных средств на маршруте должно быть преимущественно бесконфликтным, т. е. инфобусы не должны задерживать друг друга. В работе [12] был сформулирован критерий, позволяющий обнаружить потенциальные конфликты следования и разрешить их на этапе составления графика движения для транспортных средств. Здесь под конфликтом следования понимается ситуация, когда позади идущее транспортное средство вынуждено проставать из-за задержек, связанных со следованием впереди идущего.

Множество целевых остановок любого инфобуса J_{n_i} имеет свою мощность, что напрямую влияет на время простоя, которое будет потрачено инфобусом на остановочных пунктах и может быть найдено из соотношения $(|J_{n_i}| + 1)t_{st}$, где t_{st} – время простоя на остановочном пункте (величина известна и постоянна), а единица, прибавляемая к значению мощности, подразумевает остановку-источник. Под временем накопленного простоя на остановке j , $j = \overline{1, k}$ понимается совокупное время, потраченное на простой на предыдущих остановках, остановке j , включая простой на самой остановке j . Время накопленного простоя инфобусов, движущихся с одинаковой скоростью, влияет на их сближение-удаление во время следования. Конфликт следования случается на остановке, на которой накопленное время простоя впереди идущего инфобуса превысит время накопленного простоя позади идущего, и решается путем смещения по времени старта последующего инфобуса относительно предыдущего таким образом, чтобы исключить задержки последнего. В данном разделе рассматриваются принципы построения графика движения инфобусов, обеспечивающего это.

Для каждого инфобуса n_i при составлении плана перевозки наряду с множеством остановок J_{n_i} составляется вектор времени прибытия на остановочные пункты $d_{n_i} = (d_{n_i}^0, d_{n_i}^1, \dots, d_{n_i}^{j-1}, d_{n_i}^j)$, $j = \overline{1, k}$ и вектор отправлений с них $a_{n_i} = (a_{n_i}^0, a_{n_i}^2, a_{n_i}^3, \dots, a_{n_i}^{j-1}, a_{n_i}^j)$, $j = \overline{1, k}$, где $d_{n_i}^j, a_{n_i}^j$ – время отправления с остановки j и прибытия инфобуса на остановку j инфобуса n_i соответственно.

Для нахождения координат векторов d_{n_i}, a_{n_i} вводится вектор расстояний от Накопителя 1 до остальных остановок маршрута и Накопителя 2, координаты которого известны и постоянны (координата, соответствующая Накопителю 1 принимается равной 0, а Накопителю 2 – $(k + 1)$):

$$S = (0, S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0k}, S_{0k+1}), \quad (1)$$

где S_{0j} , $j = \overline{1, k+1}$ – расстояние между остановкой 0 и остановкой j .

Вектор времени достижения остановок маршрута при безостановочном движении инфобуса $t = (0, t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0k+1})$ находятся из соотношения

$$t = (t_{00}, t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0k+1}) = \left(0, \frac{s_{01}}{v}, \frac{s_{02}}{v}, \dots, \frac{s_{0k+1}}{v} \right), \quad (2)$$

где v – скорость движения инфобусов, являющаяся постоянной и известной заранее величиной.

Тогда координаты $d_{n_i}^j$ и $a_{n_i}^j$, $j = \overline{1, k+1}$, вектора прибытий d_{n_i} и вектора отправлений a_{n_i} , инфобуса n_i , участвующего в выполнении плана перевозки, соответственно

$$d_{n_i}^j = t_{start} + t_{0j} + t_{st} \cdot q_{n_i}^j, \quad j = \overline{0, k+1}; \quad (3)$$

$$a_{n_i}^j = \begin{cases} t_{start} + t_{0j} + t_{st} (q_{n_i}^j + 1), & j = \overline{1, k+1}, j \in J_{n_i}, \\ d_{n_i}^j, & j \notin J_{n_i}. \end{cases} \quad (4)$$

где t_{start} – время начала выполнения текущего плана перевозки, формирующееся в СОП в результате выполнения процесса составления плана перевозки (рисунок 3) как сумма момента фиксации составленного плана перевозки в системе, времени на рассылку этого плана бортовым системам инфобусов (данная величина постоянна и известна) и времени приведения бортовыми системами инфобусов в готовность к выполнению плана перевозки транспортных средств (данная величина постоянна и известна); t_{0j} – соответствующая остановке координата вектора t ; t_{st} – время простоя на остановке (величина постоянная и известная); $q_{n_i}^j$ – количество стоянок, сделанных инфобусом до остановки j .

Таким образом, величина $t_{st}(q_{n_i}^j + 1)$ соответствует накопленному времени простоя инфобуса к остановке j . Если остановка j входит в множество целевых остановок инфобуса J_{n_i} , то время отправления транспортного средства с нее увеличивается на t_{st} по отношению к времени $d_{n_i}^j$, в противном случае $a_{n_i}^j = d_{n_i}^j$, т. е. инфобус проезжает данную остановку, не останавливаясь.

На бесконфликтность следования двух инфобусов, движущихся последовательно, указывает неотрицательность всех координат разности векторов времени прибытия d_{n_i} позади идущего инфобуса n_i (i – остановка-источник для инфобуса n_i) и вектора времени отправлений $a_{(n-1)_i^*}$ впереди идущего инфобуса $(n-1)_i^*$, где i^* – остановка-источник этого инфобуса:

$$d_{n_i} - a_{(n-1)_i^*} = (d_{n_i}^0 - a_{(n-1)_i^*}^0, \dots, d_{n_i}^{k+1} - a_{(n-1)_i^*}^{k+1}), \quad (5)$$

$$i, i^* = \overline{1, k-1}.$$

Отрицательность координат вектора $d_{n_i} - a_{(n-1)_i^*}$ указывает на то, что последующий инфобус n_i согласно составленному плану перевозки прибывает на соответствующие этим координатам остановки раньше предыдущего инфобуса $(n-1)_i^*$, чего быть не может.

Для исключения конфликтов следования при составлении графика движения находится максимальный

модуль среди отрицательных координат вектора $d_{n_i} - a_{(n-1)_i^*}$

$$\Theta = \max \{ |d_{n_i}^j - a_{(n-1)_i^*}^j| \}; \quad \left\{ \begin{array}{l} (d_{n_i}^j - a_{(n-1)_i^*}^j) < 0; j = \overline{0, k+1}; i, i^* = \overline{1, k-1}. \end{array} \right. \quad (6)$$

Найденное значение прибавляется ко всем координатам векторов d_{n_i} и a_{n_i} (инфобуса n_i , идущего позади), что приводит к смещению по времени старта инфобуса n_i по отношению к предыдущему инфобусу $(n-1)_i^*$ на промежуток времени Θ :

$$\left\{ \begin{array}{l} d_{n_i} = (d_{n_i}^0 + \Theta, d_{n_i}^1 + \Theta, \dots, d_{n_i}^{k+1} + \Theta); \\ a_{n_i} = (a_{n_i}^0 + \Theta, a_{n_i}^1 + \Theta, \dots, a_{n_i}^{k+1} + \Theta). \end{array} \right. \quad (7)$$

Таким образом, получаем график движения последующего инфобуса по отношению к предыдущему, который обеспечивает бесконфликтное следование.

Рассмотрим составление графика движения для двух инфобусов, которые должны проследовать друг за другом при реализации плана перевозки.

Маршрут следования будет состоять из семи остановок ($k = 7$), расстояния в метрах от накопителя 1 до остановок задаются вектором $S = (0, 110, 1540, 2530, 3960, 5500, 6270, 7370, 7590)$, где первая координата вектора соответствует нахождению в Накопителе 1, а последняя, т. е. девятая – нахождению в Накопителе 2. Время стоянки инфобуса $t_{st} = 20$ с. скорость движения инфобусов $v = 40$ км/ч ≈ 11 м/с. Пусть t_{start} для простоты рассуждений равно нулю.

Из формулы (2) следует, что координаты вектора времени движения до остановочных пунктов маршрута от Накопителя 1, выраженные в секундах,

$$t = (0, t_{12}, \dots, t_{18}) = (0, 10, 140, 230, 360, 500, 570, 670, 690).$$

Пусть в реализации плана перевозки участвуют два инфобуса 1₁ (следует первым по порядку и имеет первую остановку маршрута в качестве остановки-источника) и 2₃ (соответственно, второй по порядку с остановкой источником под номером три), множества целевых остановок для которых следующие: $J_{1_1} = \{5, 6, 7\}$,

$J_{2_3} = \{4, 5\}$. Таким образом, первый инфобус забирает пассажиров с первой остановки маршрута и везет их на остановки 5, 6, 7, а второй забирает пассажиров с третьей остановки и везет на остановки 4 и 5. И при одинаковой скорости движения и одновременном старте из Накопителя 1 первый инфобус начнет задерживать второй уже на первой остановке, т. к. его время накопленного простоя больше. В этом можно убедиться, найдя векторы времени прибытий и отправлений инфобусов:

$$d_{1_1} = (0, 10, 160, 250, 380, 520, 610, 730, 770);$$

$$a_{1_1} = (0, 30, 160, 250, 380, 540, 630, 750, 770);$$

$$d_{2_3} = (0, 10, 140, 230, 380, 540, 610, 710, 730);$$

$$a_{2_3} = (0, 10, 140, 250, 400, 560, 610, 710, 730).$$

На основании полученных данных построена диаграмма движения инфобусов (рисунок 4).

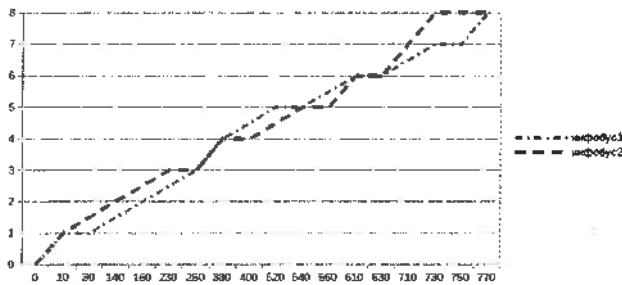


Рисунок 4 – Диаграмма движения инфобусов

Из диаграммы (см. рисунок 4) видно, что инфобус 2₃, идущий позади, будет задерживаться инфобусом 1₁ на промежутках маршрута от остановки 1 и до остановки 3 и от остановки 6 и вплоть до Накопителя 2.

Для исключения конфликтов следования при выполнении плана перевозки находится разность координат вектора прибытия на остановки инфобуса 2₃ и вектора отправлений с остановок инфобуса 1₁, а также величина Θ согласно формулам (5), (6):

$$d_{2_3} - a_{1_1} = (0, -20, -20, 0, 0, 0, 0, 0, -20, -40),$$

$$\Theta = \max\{|-20|, |-40|\} = 40.$$

Таким образом, чтобы исключить задержку инфобуса 2₃, необходимо отложить время его старта на 40 секунд, в результате чего координаты векторов d_{2_3} и a_{2_3} принимают вид

$$d_{2_3} = (0, 40, 180, 270, 420, 580, 650, 750, 770);$$

$$a_{2_3} = (0, 40, 180, 290, 440, 600, 650, 750, 770).$$

Бесконфликтное следование транспортных средств отражено на диаграмме движения на рисунке 5.

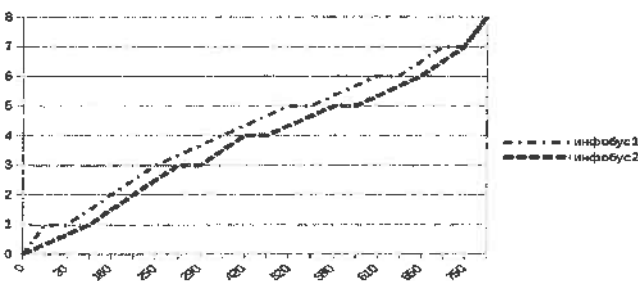


Рисунок 5 – Диаграмма движения инфобусов

Из рисунка 5 видно, что на протяжении всего следования от первой и до седьмой остановки маршрута между инфобусами будет существовать дистанция. На седьмой остановке инфобусы объединятся в кассету и так совместно прибудут в Накопитель 2.

Описанные принципы составления графика движения транспортных средств при выполнении плана перевозки в ИТС на базе беспилотных электрокаров позволяют спланировать время старта, прибытия и отправления

Получено 11.10.2021

A. V. Shviatsova, V. N. Shuts. On building a schedule for the movement of vehicles in the urban passenger transport system.

The article describes the structure and functioning of the information and transport system (ITS), based on the use of unmanned electric cars, and discusses the principles of building a schedule for the movement of vehicles in the implementation of the passenger transportation plan, which, like the transportation plan, is formed in real time. Vehicles move along a dedicated path sequentially one after another without overtaking. The schedule should ensure "conflict-free" movement of vehicles in the transport system, i.e. the vehicle in front must not hold the one following it.

инфобусов таким образом, чтобы они во время своего движения по маршруту не задерживали друг друга.

Список литературы

- 1 Проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment. – Дата доступа : 08.04.2021.
- 2 Next Future Transportation [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.next-future-mobility.com>. – Дата доступа : 30.04.2021.
- 3 Towards the Ultimate Public Transport System. Date Views. – Режим доступа : www.tum-create.edu.sg/content/towards-ultimate-public-transport-system-0. – Дата доступа : 22.07.2021.
- 4 Интеллектуальный транспорт с разделяющимися частями // Математические методы в технике и технологиях-ММТТ. – 2020. – Т. 3. – С. 87–93.
- 5 Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proceedings of the 1st International Scientific Conference. – Ternopol : TNTU, 2019 – P. 172–184.
- 6 Shuts, V. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electric cars / V. Shuts, A. Shviatsova // Science. Innovation. Production : Proceedings of the 6th Belarus-Korea Science and Technology Forum. – Minsk : BNTU, 2019. – P. 81–83.
- 7 Shuts, V. Intelligent system of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // Abstracts of the 16th European Automotive Congress (EAEC 2019) hosted jointly by the Academic Automotive Association (Belarus), the European Automobile Engineers Cooperation (EAEC) and the Federation Internationale des Societes d'Ingenieurs des Techniques de l'Automobile (FISITA). – Minsk : BNTU, 2019. – P. 18.
- 8 Швецова, Е. В. Алгоритмы выбора остановок доставки инфобуса для посадки пассажиров // Вестник Брестского государственного технического университета / Физика, математика, информатика. – Брест : БГТУ, 2019. – 5(118)2019. – С. 50–53.
- 9 Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / A. Shviatsova, V. Shuts // Research Papers Collection of Open Semantic technologies for Intelligent System. – Minsk : Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020. – P. 349–352.
- 10 Швецова, Е. В. Планирование и организация перевозочного процесса в интеллектуальной городской пассажирской транспортной системе / Е. В. Швецова // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы III Всероссийской науч.-практ. конф. (Самара, 26–27 января 2021 г.). – Самара, 2021. – С. 133–136.
- 11 Shviatsova, A. The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system / A. Shviatsova, V. Shuts // National Academy of Sciences of Ukraine Institute of Artificial Intelligence Problems ARTIFICIAL INTELLIGENCE. – 2020. – No. 1. – Kiev : Science and Education, 2020. – P. 14–18.
- 12 Shviatsova, A. The criterion of arising motion conflict of un-manned vehicles during implementing transportation plan in intelligent urban passenger transportation system / A. Shviatsova, V. Shuts // National Academy of Sciences of Ukraine Institute of Artificial Intelligence Problems ARTIFICIAL INTELLIGENCE. – Kiev : Science and Education, 2020. – No. 3. – P. 82–86.

ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 691.32 : 620.193/199

*А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ (ПОКАЗАТЕЛЯ pH) ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНОЙ ФРАКЦИИ БЕТОНА**

Обоснована необходимость определения и оценки показателя pH водной вытяжки цементного камня бетона. По результатам многолетних исследований карбонизации бетона, как сразу после изготовления, так и эксплуатируемых различные сроки в разных атмосферных условиях железобетонных элементов предложен экспресс-метод определения показателя pH водной вытяжки цементного камня цементно-песчаной фракции бетона. Приведены основные определения и общие положения экспресс-метода, подготовка к испытаниям и методика проведения испытаний.

Введение. Карбонизация бетона, вызывая его структурные изменения, приводит к деградации бетона и снижению его защитных свойств по отношению к стальной арматуре, способствует возникновению (в определенных условиях) стальной арматуры различной степени интенсивности. Развитие во времени коррозионных процессов в итоге приводит к потере несущей способности железобетонными элементами (ЖБЭ) и конструкциями (ЖБК), создавая аварийные ситуации [1].

При карбонизации бетона происходит образование карбонатов, количественно оцениваемое показателем КС (карбонатной составляющей). Их накопление вызывает изменение показателя pH (показателя водной вытяжки цементного камня), который, в свою очередь, является главной количественной характеристикой перерождения цементного камня в карбонаты или другие продукты химического взаимодействия под воздействием агрессивности среды и основным показателем, определяющим состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре [2].

Постановка задачи. Исследование влияния карбонизации на состояние бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре необходимо выполнять на основе определения показателя pH, поскольку именно он является универсальной характеристикой состояния бетона и его защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

Основная часть. В НИЛ «Диагностика, испытание и исследование строительных материалов и конструкций» им. проф. И. А. Кудрявцева Белорусского государственного университета транспорта на основании многолетних исследований карбонизации бетона как в зоне расположения стальной арматуры, так и по сечению эксплуатируемых ЖБЭ [2–9] для объективной оценки параметров карбонизации (показателя водной вытяжки цементного камня) разработан экспресс-метод определения показателя pH цементно-песчаной фракции бетона, представленный ниже.

1 Общие положения.**1.1 Термины и определения.**

В экспресс-методе определения показателя водной вытяжки цементного камня в цементно-песчаной фракции бетона применены следующие термины с соответствующими определениями: единичная проба – проба бетона из обследуемого бетонного (железобетонного) элемента, конструкции, отбираемая в определенное время в одном месте, достаточная для проведения испыта-

ний; лабораторная проба – часть смешанной пробы, подготовленная посредством гомогенизации и уменьшения и предназначенная для приготовления средней аналитической пробы; смешанная проба – гомогенная смесь измельченной единичной пробы бетона, отобранной в определенное время в одном месте из одной железобетонной конструкции; средняя аналитическая проба – проба бетона, приготовленная из лабораторной пробы и предназначенная непосредственно для испытаний; титрованный раствор – раствор, приготовленный из стандарт-титра.

Остальные термины и определения приняты в соответствии с действующими нормативными документами.

Методика определения.

Показатель водной вытяжки цементного камня (показатель pH) характеризует щелочность поровой жидкости бетона.

Определение показателя pH водной вытяжки цементного камня (в дальнейшем показателя pH) в соответствии с настоящим методом основано на получении суспензии из средней аналитической пробы бетона и измерении показателя ее щелочности.

При проведении анализа пробы бетона массу навески в граммах определяют с точностью до 0,001 г, объемы, измеряемые бюреткой, – в сантиметрах кубических с точностью до 0,05 см³.

Концентрацию растворов выражают:

- массовой долей в процентах, численно равной массе вещества в граммах на 100 г раствора;
- молярной концентрацией вещества – эквивалента в молях на кубический дециметр раствора (Н);
- соотношением объемных частей, где первое число обозначает объемную часть концентрированной кислоты, второе – объемную часть воды.

2 Средства измерений, испытательное оборудование, реактивы и материалы.**2.1 Средства измерений.**

Весы аналитические с ценой деления 0,0001 г, пределом взвешивания 200 г по ГОСТ 24104.

Весы лабораторные с ценой деления 0,01 и 1,0 г по ГОСТ 24104.

2.2 Испытательное оборудование.

Сушильный шкаф, обеспечивающий автоматическое регулирование температуры в диапазоне (105 ± 5) °С.

Сито с сеткой № 008 по ГОСТ 6613.

Колбы мерные с притертыми пробками вместимостью 100 см³, колбы круглодонные вместимостью

50 см³ и стеклянные воронки диаметром 9–10 см по ГОСТ 25336.

Цилиндры вместимостью 10 и 25 см³ по ГОСТ 1770.

Стеклянные стаканы для взвешивания с притертой крышкой.

Термометр ртутный с пределами измерения от 0 до 55 °С, ценой деления 0,5 °С.

Прибор для определения показателя водной вытяжки цементного камня (рисунок 1).

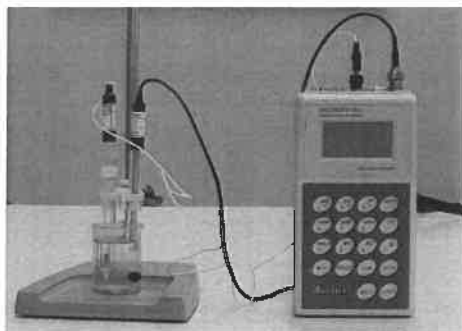


Рисунок 1 – Исследование образца цементно-песчаной фракции анализатором жидкости «ЭКСПЕРТ-001-1»

2.3 Реактивы и материалы.

Вода дистиллированная по ГОСТ 6709.

Стандарт-титры для приготовления образцовых буферных растворов 2-го разряда ГОСТ 8 135–2004 (типы 3, 4, 5).

3 Испытания.

3.1 Условия испытаний.

При проведении испытаний внешние воздействующие факторы не должны превышать значений:

- температура воздуха – (20 ± 10) °С;
- относительная влажность воздуха – (75 ± 10) %;
- точность поддержания в течение не менее 3 мин перед снятием отсчета – $\pm 0,2$ °С;
- напряжение питающей сети – (220 ± 22) В;
- частота питающей сети – $(50 \pm 0,5)$ Гц.

3.2 Требования безопасности при проведении испытаний.

Лабораторные помещения, в которых выполняются испытания бетона, должны быть оборудованы вентиляционными системами по ГОСТ 12.4.021. При эксплуатации электроприборов, используемых в процессе анализа, должны выполняться требования электробезопасности согласно ГОСТ 12.1.019.

При применении в качестве реактивов токсичных (вредных) веществ следует руководствоваться требованиями безопасности, изложенными в нормативных документах на эти реактивы. Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать гигиеническим регламентам, установленным ГОСТ 12.1.005 и СанПиН № 11-19.

Периодичность контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливается в зависимости от их класса опасности в соответствии с п. 3.2.6 СанПиН № 11-19.

Определение концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны выполняют по методикам, входящим в Перечень методик, утвержденный Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь и согласованный Госстандартом Республики Беларусь 10 сентября 2002 г.

При работе с вредными веществами должны быть соблюдены правила безопасности, действующие в химических лабораториях. При этом следует применять индивидуальные средства защиты (респираторы) по ГОСТ 12.4.011 или ГОСТ 12.4.028, резиновые перчатки по ГОСТ 12.4.103, одежду по ГОСТ 27652, ГОСТ 27654, ГОСТ 29057 и ГОСТ 29058.

3.3 Подготовка к испытаниям.

3.3.1 Приготовление реактивов.

Буферные растворы приготавливаются из реактивов квалификации для pH-метрии.

Для приготовления буферных растворов применяется дистиллированная вода, прокипяченная в течение 30–40 мин для удаления растворенной углекислоты.

Буферный раствор готовят из стандарт-титра в следующем порядке:

- в стандарт-титре, выполненном в виде запаянной стеклянной колбочки и содержащем требуемое количество соответствующего буфера (0,01–0,1 моль/кг), пробивается отверстие с помощью специального ударника;
- содержимое выливается в мерную колбу на 1000 мл и доводится до метки дистиллированной водой.

Тип буфера и его количество выбирается в зависимости от требуемого для настройки прибора значения pH и температуры по ГОСТ 8.134–98.

3.3.2 Подготовка электродов к работе.

Подготовка электродов к работе производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в паспортах на соответствующие электроды.

Во избежание образования кристаллов KCl в полости (вспомогательных) электродов при работе и хранении необходимо следить, чтобы электролитический ключ находился в растворе и уровень раствора KCl в полости электрода был выше уровня контрольного раствора.

3.3.3 Настройка pH-метров по буферным растворам.

Настройку pH-метра для работы в растворах с постоянной температурой производится по буферным растворам ГОСТ 8.134–98, имеющим эту же температуру.

Рекомендуется следующий порядок настройки pH-метра по двум буферным растворам с температурой, близкой к температуре анализируемой среды:

- 1) выбирается род температурной компенсации:
 - при ручной термокомпенсации устанавливается значение температуры буферного раствора; измеренной стеклянным термометром с ценой деления не более 0,5 °С,
 - при автоматической термокомпенсации температура раствора должна измеряться с точностью до 1 °С,
- 2) электроды погружаются в первый буферный раствор с температурой t (величина pH этого буферного раствора при 20 °С равна 4,001 pH ГОСТ 4.134–98) и вращая ручку резистора «БУФЕР» устанавливается на индикаторе значение, равное значению pH при температуре t ,
 - электрод промывается дистиллированной водой, осушивается фильтровальной бумагой и погружается во второй буферный раствор с температурой t (величина pH этого буферного раствора при 20 °С должна быть близка к началу (концу) диапазона измерения анализируемых растворов);
 - при вращении ручки резистора S устанавливается на индикаторе значение, равное значению pH буферного раствора при данной температуре t .

3.3.4 Отбор образцов бетона и подготовка пробы.

Для определения показателя pH водной вытяжки цементного камня бетона используют среднюю аналити-

ческую пробу бетона, приготовленную из образцов-керна, отобранных по ГОСТ 28570 из эксплуатируемых бетонных и железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК) образцов-сколов, образующихся при определении прочности бетона на сжатие конструкций по ГОСТ 22690, а также образцов, отобранных другими способами.

Для анализа отбирают пробы защитного слоя бетона в зоне расположения арматуры, а также порошки, получаемые выбуриванием по сечению ЖБЭ и ЖБК до глубины 100 мм и кубов сеч. 100×100×100 мм до глубины 50 мм. Отбор образцов производят при проведении обследований ЖБЭ и ЖБК. Предварительно бетонная поверхность должна быть тщательно очищена от всякого рода загрязнений, штукатурного слоя, краски и, при наличии, слоя ремонтного материала.

В отобранных образцах отделяют слой бетона толщиной ≈10 мм. Отделенные фрагменты защитного слоя объединяют в единичную пробу. Количество отбираемых единичных проб определяют в зависимости от вида и эксплуатационного состояния элементов и конструкций.

Перед проведением испытания единичную пробу бетона измельчают в фарфоровой ступке ударами, не растирая, и отделяют крупный заполнитель. Из измельченной единичной пробы бетона формируют смешанную пробу, которую квартованием сокращают до лабораторной пробы массой (10±2) г.

Лабораторную пробу высушивают при температуре (105±5) °С до влажности (1,5±0,5) %, дополнительно измельчают в фарфоровой или агатовой ступке для отделения цементного камня от заполнителя и формируют из нее для анализа среднюю аналитическую пробу массой 0,5±0,005 г путем просеивания через сито с сеткой № 01 по ГОСТ 6613.

Подготовленную среднюю аналитическую пробу хранят в стеклянном стакане для взвешивания с притертой крышкой – для защиты от воздействия окружающей среды.

3.4 Проведение испытаний.

Перед отбором навески подготовленную среднюю аналитическую пробу бетона, помещенную в стеклянный стакан для взвешивания, гомогенизируют и высушивают в сушильном шкафу при температуре (105±±5) °С до постоянной массы, после чего охлаждают в эксикаторе над хлоридом кальция.

Постоянство массы считается достигнутым, если разница между двумя последовательными взвешиваниями не превышает 0,0004 г. Если при повторном взвешивании масса навески увеличивается, то для расчета применяют массу, предшествующую ее увеличению. При этом первое взвешивание осуществляют через 1,5–2 ч.

Допускается проводить анализ из воздушно-сухой навески с последующим пересчетом на навеску, высушенную до постоянной массы (сухую). Массу сухой навески m , г, вычисляют по формуле

$$m = m_0(100 - W) / 100, \quad (1)$$

где m_0 – масса навески в воздушно-сухом состоянии, г; W – массовая доля влаги в навеске, определенная по ГОСТ 5382.

Из высушенной до постоянной массы (воздушно-сухой) средней аналитической пробы бетона отбирают навеску массой 0,5±0,005 г.

Собирают прибор для определения показателя рН цементно-песчаной фракции (см. рисунок 1).

В мерную колбу вместимостью 50 см³ засыпается навеска исследуемого порошка массой 2,5 г и заливается дистиллированной водой до метки.

Полученная суспензия выстаивается в течение 1 ч при постоянном перемешивании через 10–15 мин.

В стеклянный стакан вместимостью 50 см³ заливается 30 см³ исследуемого раствора водной вытяжки.

В контролируемый раствор погружаются электроды. Перед погружением электроды промываются дистиллированной водой, остатки воды с электрода удаляются фильтровальной бумагой.

Значения показателя рН фиксируются после 3 мин выдержки индикаторного электрода в растворе.

Замеры производятся на неотфильтрованных растворах.

За результат анализа принимают среднее арифметическое значение двух определений, выраженное в процентах с точностью до ±1 %.

Допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 2 %. При большем расхождении проводят повторное определение.

Настоящая методика определения показателя рН водной вытяжки цементного камня обеспечивает получение результатов испытаний с точностью ±1 %, что является достаточным, так как при отборе для анализа образцов в порошкообразном состоянии ошибка может достигать 3 % за счет вероятностного характера распределения карбонизированного цементного камня в смеси с песком.

Преимущество методики – в скорости проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

Граничные критерии полученных результатов и использование экспресс-метода приведены в [4].

Заключение. Экспресс-метод определения показателя рН водной вытяжки цементного камня цементно-песчаной фракции бетона позволяет исследовать карбонизацию, практически не разрушая бетон ЖБЭ и ЖБК. Преимущество предлагаемого метода – быстрота проведения анализа при достаточной для практических целей точности.

На основании предлагаемого экспресс-метода определения показателя рН водной вытяжки цементного камня цементно-песчаной фракции бетона, а также экспресс-метода определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона [10] необходимо создавать нормативный документ либо вводить экспресс-методы в существующие нормативные документы, связанные с обследованием ЖБЭ (ЖБК) и диагностикой их технического состояния.

Список литературы

- 1 Васильев, А. А. Техническое обследование строительных объектов (с электронным приложением) : учеб. / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2020. – 429 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).
- 2 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
- 3 Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.

4 Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

5 Неразрушающие методы оценки и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в воздушных средах : практ. пособие / Т. М. Пецольт [и др.]; под ред. А. А. Васильева. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 146 с.

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

7 Васильев, А. А. Физический анализ бетона (рН-метрия) – основа оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре / А. А. Васильев, Л. В. Пликус //

Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2014. – № 1 (28). – С. 73–76.

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

9 Васильев, А. А. Исследование различными методами распределения физико-химических показателей бетона по сечению железобетонных элементов / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2020. – № 1 (40). – С. 51–53.

10 Васильев, А. А. Экспресс-метод определения карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона / А. А. Васильев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, 2021. – № 1 (42). – С. 94–97.

Получено 23.09.2021

A. A. Vasilyev. Express method of determination of cement stone water drawing index (pH index) of cement-sand fraction of concrete.

The necessity of determining and estimating the pH of concrete cement stone water drawing is justified. Based on the results of long-term studies of concrete carbonation, both immediately after manufacture and in operation, various terms in atmospheric conditions of reinforced concrete elements, an express method was proposed to determine the pH of water drawing of cement stone of cement and sand fraction of concrete. The main definitions and general provisions of the express method, preparation for tests and the test procedure are given.

УДК 656.025.2

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. А. ЦАРИКОВ, магистр технических наук, Белорусская железная дорога, г. Могилев

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Путевое хозяйство – важнейшая отрасль железнодорожного транспорта республики, от состояния которой зависит работоспособность всей железной дороги. Нормальное функционирование путевого хозяйства невозможно без применения современных ресурсосберегающих технологий, высокопроизводительной и современной техники, без регулярного обеспечения материалами для ремонта и содержания пути. Безопасность движения в путевом хозяйстве – залог отличной работы всей Белорусской железной дороги в целом.

Введение. Белорусская железная дорога является одним из основных звеньев транспортного и экономического комплекса страны и занимает важное место в жизнеобеспечении Республики Беларусь и ее многоотраслевой экономики. Путевое хозяйство – важнейшая отрасль железнодорожного транспорта республики, от состояния которой зависит работоспособность всей железной дороги. Нормальное функционирование путевого хозяйства невозможно без применения современных ресурсосберегающих технологий, высокопроизводительной и современной техники, без регулярного обеспечения материалами для ремонта и содержания пути. От состояния путевого хозяйства и его обустройств в огромной степени зависят работоспособность железной дороги, скорость движения поездов, пропускная способность участков и безопасность движения.

Целью статьи является анализ состояния пути, его основных элементов и соответствие их требованиям, в том числе по обеспечению безопасности движения поездов.

Основная часть. На сегодняшний день роль и значение путевого хозяйства продолжает превалировать среди основных служб, так как на него приходится более 50 % средств всей Белорусской железной дороги. По состоянию на 01.01.2021 путевого хозяйства дороги – это 11 729,7 км развернутой длины железнодорожных путей, из которых 7 231,7 км – главные, 3 621,2 км – станционные и 876,8 км – необщего пользования, более 12 тысяч стрелочных переводов, 1744 переезда, 4426 искусственных сооружений, в том числе 1913 мостов, 2467 труб, 46 пешеходных мостов.

Как известно, мощность верхнего строения пути в значительной степени определяется состоянием рельсового хозяйства. В 2020 году по рельсовому хозяйству выполнено (рисунок 1):

- восстановительного ремонта пути на новых материалах – 167,0 км, или 100,7 %, на старогодных материалах – 99,7 км, или 108,3 %;
- среднего ремонта – 29,1 км, или 145,5 %;
- уложено плетей бесстыкового пути – 228,9 км, или 108,2 %;
- заменено 239 комплектов стрелочных переводов, или 97,6 %, из них – 204 комплекта на железобетонных брусках.

Наряду с этим выполнены работы по усилению стрелочного хозяйства за счет переукладки 216 комплектов старогодных стрелочных переводов. Также в

2020 году выполнены работы по сохранению 15,1 км рельсовых плетей.

В настоящее время на фронтах восстановительного ремонта пути на новых материалах инвентарных рельсов не имеется, на дороге действует одно длительное предупреждение об ограничении скорости движения поездов на Минском отделении в связи со строительством второго транспортного кольца в г. Минске.

В 2020 году за счет выполнения ремонтной программы и по фактическому состоянию пути почти на 350 км повышены скорости движения поездов.

Протяженность главного пути на железобетонном основании составляет 7 077,6 км, или 98 %, станционных – 2 365,3 км, или 65 %, бесстыковой путь уложен на 4 797,8 км, или 66 %, от протяженности главных путей. В главных и прямо-отправочных путях уложено 3 480 ком-плектов стрелочных переводов на железобетонном основании, что составляет 53 % от общего числа. По состоянию на 1 января 2021 года количество километров со сверхнормативными сроками выполнения ремонтов составляет 545 км, или 7,5 %, от протяженности главных путей.

Все дистанции пути содержат путь с оценкой «отлично». В 2020 году вагонами-путеизмерителями на главных путях выявлено 30,6 неудовлетворительных километров (в 2019 году – 51,8 км). Следует отметить, что на Оршанской, Лидской, Воропаевской, Полоцкой, Витебской, Кричевской, Калинковичской и Бобруйской дистанциях пути в 2020 году неудовлетворительных километров не выявлено. В 2020 году выявлено 11 штук неудовлетворительных прямо-отправочных путей, что на 14 меньше, чем в 2019 году.

В 2020 году на закупку материалов верхнего строения пути было выделено финансирование в сумме 142,7 млн бел. руб. За 2020 год закуплено 29,04 тыс. тонн новых рельсов, или 224 километра пути (рисунок 2).

В целях дальнейшего усиления путевого хозяйства Белорусской железной дороги, обеспечения безопасности движения поездов и повышения эффективности планирования трудовых и материальных ресурсов в 2020 году разработана Программа ремонта железнодорожных путей Белорусской железной дороги на 2021–2023 годы.



Рисунок 1 – Выполнение ремонтов в 2020 году

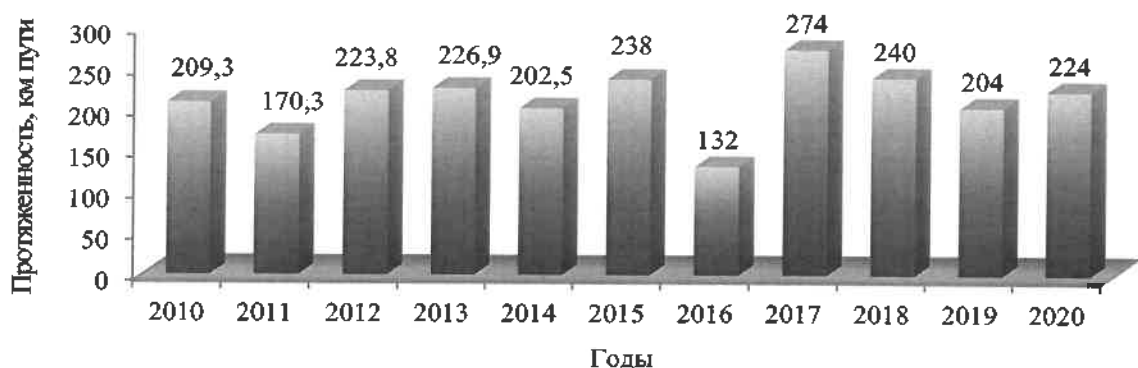


Рисунок 2 – Закупка рельсов по годам

Состояние, связанное с безопасностью движения, в 2020 году осталось на уровне 2019 года. Допущено 9 событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. За аналогичный период 2019 года допущено 1 крушение и 8 событий (рисунок 3).

Для обеспечения безопасности движения поездов необходима проработка ряда вопросов по содержанию рельсовых плетей бесстыкового пути, включая уход от бокового износа путем их перекладки, сокращение количества дефектных рельсов, в том числе за счет внедрения алюминотермитной сварки и наплавки рельсов.

С целью повышения качества ремонтных работ в 2020 году был пересмотрен порядок приемки работ по ремонту железнодорожного пути. Также совершенствуется система премирования работников государствен-

ного предприятия «Ремпуть Белорусской железной дороги» и дистанций пути с целью стимулирования качественного выполнения своих обязанностей.

Должное внимание при осуществлении текущего содержания пути уделяется кривым малого радиуса с применением технических мер по усилению верхнего строения пути.

В хозяйстве пути постоянно обращается внимание на обеспечение безопасности производства работ с использованием съемных подвижных единиц, к их ограждению с учетом имеющего штата монтеров пути. Возможно изменение подходов к ограждению съемных подвижных единиц. Также совершенствуется регламент взаимодействия руководителей работ с сигнальщиками, в том числе за счет оснащения работников переносными радиостанциями.

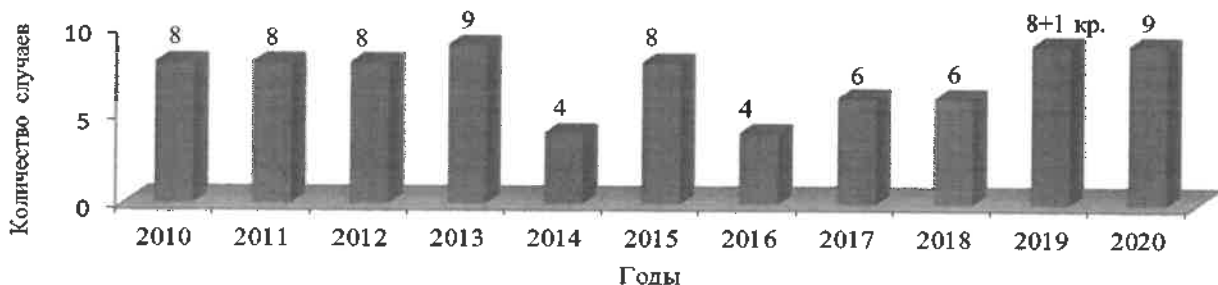


Рисунок 3 – Число событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта

В настоящее время налажена работа по видеоконтролю верхнего строения пути с применением недавно приобретенных средств диагностики. Фиксируются различные параметры – стыковые зазоры, износ рельсов, параметры устройства кривых и др. В итоге за январь текущего года выявлено 23 километра с неудовлетворительной оценкой, из которых 19 км – по дополнительным параметрам состояния пути.

Очевидно, что текущему содержанию пути необходимо уделять больше внимания. В связи с этим организация осмотров службы пути с сопричастными службами повысит качество их проведения и своевременность выявления отступлений в содержании пути.

Имеющаяся учетная и отчетная документация, которая ведется дорожным мастером, избыточна; в ряде случаев при этом присутствует формальный подход. Это отвлекает руководителей среднего звена от выполнения основных обязанностей и функций по содержанию пути. В связи с этим необходимо оптимизировать формы и методы ведения документации с целью охвата необходимых параметров железнодорожного пути, которые оказывают непосредственное влияние на безопасность движения поездов и характеризуют значения, на основании которых принимаются решения о выполнении работ по замене тех или иных элементов верхнего строения пути в рамках текущего содержания или выполнении очередного ремонта пути. Также необходимо исключить дублирование одних и тех же параметров в различных учетных формах.

На сегодняшний день наблюдается проблема угона рельсовых плетей, уложенных с рельсовым скреплением СБ-3 в его первоначальном исполнении, т. е. до проведения работ по сертификации. Для углубленного исследования этой проблемы по заказу Белорусской железной дороги Белорусским государственным университетом транспорта с целью определения имеющих деформаций после воздействия статической и динамической нагрузки были проведены испытания пружинных клемм, снятых с участков пути с различным сроком службы и пропущенным тоннажем.

На основании этой работы приказом от 04.01.2021 № 5Н «О производстве путевых работ в 2021 году» предусмотрены закупки элементов рельсового скрепления СБ-3 (прокладки и изолятор) в объеме 10 % от протяженности участков главных путей со скреплением СБ-3 для закрепления в первую очередь «дышащих» концов рельсовых плетей, уложенных до 2018 года.

В текущем году будут продолжены испытания рельсового скрепления СБ-3 для определения общего ресурса скрепления и ресурса его отдельных элементов.

В 2020 году на Белорусской железной дороге произошло 15 несчастных случаев на производстве, из них 7 с тяжелым исходом и 1 со смертельным, против 13 несчастных случаев в 2019 году, в которых пострадало 15 работников, из них 6 с тяжелым и 1 со смертельным исходом. Количество пострадавших работников по железной дороге приведено в таблице 1.

В целях сокращения затрат на содержание и ремонт специального железнодорожного подвижного состава в 2020 году произведено списание физически и морально

устаревших 10 единиц. В 2021 году данная работа продолжается, планируется к списанию еще пять единиц.

Таблица 1 – Количество пострадавших работников по железной дороге

Отделение Белорусской железнодорожной организации	Количество пострадавших работников					
	всего		в том числе с исходом			
			смертельным		тяжелым	
	2019 год	2020 год	2019 год	2020 год	2019 год	2020 год
Минское	1	2				2
Барановичское	3	5			2	1
Брестское	1	1				
Гомельское						
Могилевское	4/6	1			2	
Витебское	1	2			1	2
СПХ Рачковичи	1					
ПМС-289	2				1	
Ремпуть		1		1		
Центр механизации путевых работ		1				1
Белтрансавтоматика		1				1
БЕЛИНТЕРТРАНС – транспортно- логистический центр		1				
Всего по дороге	13/15	15	1	1	6	7

В 2020 году в сравнении с аналогичным периодом 2019 года общее количество работников, травмированных на производстве, увеличилось на Барановичском отделении (5 работников против 3); Минском и Витебском отделениях (2 работника против 1), в государственном предприятии «Центр механизации путевых работ Белорусской железной дороги», УП «БЕЛТРАНС-АВТОМАТИКА», государственное предприятие «БТЛЦ» (по работнику, против 0).

Трудопотери, к которым привели несчастные случаи на производстве, на Белорусской железной дороге увеличились с 528 человеко-дней в 2019 году до 741 человеко-дня в 2020 году.

Основными причинами несчастных случаев на производстве в 2020 году явились: невыполнение руководителями обязанностей по охране труда – 34 %, нарушение потерпевшим требований охраны труда – 20 %, личная неосторожность пострадавших – 46 % (рисунок 4). Основными видами происшествий 2020 году стали: падение с высоты (13 %), падение при передвижении (27 %), воздействие движущихся деталей, предметов и т. п. (60 %).

Характеристика производственного травматизма по месту происшествия приведена на рисунке 5.

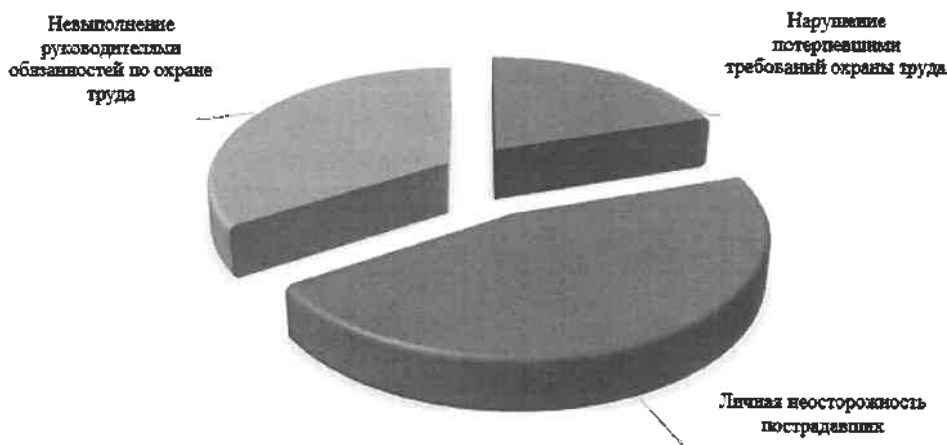


Рисунок 4 – Основные причины несчастных случаев на производстве



Рисунок 5 – Количество пострадавших работников за 2020 год

Проведенный анализ данных АС «Охрана труда» за период с января 2020 по 31 декабря 2020, показал, что руководителям организаций и обособленных структурных подразделений выдано для обязательного исполнения 597 предписаний, выявлено 2238 нарушений требований законодательства об охране труда.

Основными видами нарушений, выявленных в обособленных структурных подразделениях Белорусской железной дороги явились:

- выполнение работ без использования средств индивидуальной защиты;
- нарушение требований инструкций;
- невыполнение должностных обязанностей по охране труда и требований нормативных документов;
- недостаточный контроль состояния охраны труда.

В 2020 году на дороге выполнен ряд организационно-технических мероприятий, направленных на улучшение условий и охраны труда, что позволило привести в соответствие с требованиями гигиенических нормативов 77 рабочих мест для 148 работников, улучшить условия труда на 64 рабочих местах для 168 работников, вывести из вредных и (или) опасных условий труда 287 рабочих мест. На выполнение мероприятий по охране труда направлено 4555,3 тыс. рублей.

Во всех дистанциях пути проводится определенная работа по улучшению условий труда, предупреждению производственного травматизма. Со всеми категориями работников дистанции пути ежемесячно проводится техническая учеба с изучением вопросов по охране труда. Согласно Положению о проведении контроля за соблюдением Законодательства об охране труда осуществляется контроль за состоянием охраны труда. Для проведения «Дней охраны труда» создается комиссия под председательством главного инженера.

Ежемесячно составляется график проведения внезапных проверок состояния охраны труда, также разрабатывается график проведения ежеквартального контроля на околотках и участках дистанции пути на 2021 г. Проводятся разборы по выявленным нарушениям на совещании у начальника дистанции пути с оформлением протоколов.

За выявленные нарушения правил охраны труда, отсутствие контроля за работой подчиненных, неприменение средств индивидуальной защиты, имеющиеся нарушения в ведении технической документации по охране труда, в проведении инструктажей по охране труда, работники дистанций привлекаются к ответственности.

Таким образом, путевое хозяйство Белорусской железной дороги – это высокотехнологичный комплекс железнодорожной инфраструктуры, постоянно совершенствующийся как технически, так и организационно. При соблюдении всех требований нормативно правовых актов, инструкций и других документов путевое хозяйство способно выполнять задачи по обеспечению экономики республики в грузо- и пассажироперевозках.

Список литературы

1 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 25.10.2015. – Минск, 2016. – 190 с.

2 Об изменении постановления Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.10.2015 № 52 : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 28.05.2020. – Минск, 2020. – 28 с.

3 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта. – Введ. 15.07.2011. – М. : Росстандарт, 2011. – 66 с.

4 СНБ 3.03.01–98 Железные дороги колеи 1520 мм. – Взамен СНиП II-39–76, СНиП III-38-75 и СН 468-74 ; введ. 01.08.1998. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 39 с.

5 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ. – Введ. 29.06.2006. – Минск : Белорусская железная дорога, 2005. – 284 с.

Получено 01.07.2021

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, V. A. Tsarikov. Analysis of the state and prospects for the development of the track economy belarusian railway.

The track economy is the most important branch of the railway transport of the republic, on the condition of which the operation of the entire railway depends. The normal functioning of the track economy is impossible without the use of modern resource-saving technologies, high-performance and modern equipment, without regular provision of materials for the repair and maintenance of the track. The safety of the track facilities is the key to the excellent work of the entire Belarusian Railway as a whole.

УДК 656.025.2

П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, А. И. СТРИЖАК, магистрант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

МОНИТОРИНГ ПУТЕЙСКИХ РЕШЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В результате исследований были разработаны основные этапы повышения скоростей движения поездов в путевом хозяйстве на Белорусской железной дороге. Рассмотрены возможные варианты повышения скоростей движения поездов на существующих линиях.

В настоящее время скоростные железные дороги обеспечивают не только высокую скорость передвижения, но и достаточный уровень надежности и безопасности, комфорта, экономичности. Новые поезда, построенные на основе инновационных технологий, формируют скорость в 300–350 км/ч, благополучно соперничают абсолютно со всеми типами транспорта. Высокоскоростной наземный транспорт в современном представлении – это железнодорожный транспорт, гарантирующий движение поездов со скоростью более 200 км/ч. Его движение осуществляется либо колесным подвижным составом по рельсовому пути, либо подвижным составом на магнитной подушке.

Проблема повышения скоростей движения поездов является важной задачей, стоящей перед Белорусской железной дорогой. Реконструктивные мероприятия для повышения скоростей движения на железной дороге должны проектироваться так, чтобы были гарантированы безопасность и бесперебойность движения поездов, сократилось время пассажиров в пути при обеспечении потребных размеров перевозок и наименьших строительно-эксплуатационных затратах.

При скоростном движении для обеспечения комфортабельности езды пассажиров предъявляются более жесткие требования к плану линии: кривые малых радиусов, длины прямых вставок и переходных кривых увеличиваются для стабилизации подвижного состава на концах круговых кривых; пересечения с автодорогами осуществляются в разных уровнях; заменяются стрелочные переводы, переустраиваются пассажирские платформы. Кроме того, модернизируются устройства системы блокировки и связи, усиливаются контактная сеть и тяговые подстанции, принимаются меры по защите окружающей среды.

При проходе подвижного состава по кривым возникают центробежные силы, стремящиеся опрокинуть экипаж наружу кривой. Центробежная сила неблагоприятно действует на пассажиров, вызывает боковое воздействие на путь, перераспределение вертикальных давлений на рельсы обеих нитей и перегруз наружной нити, что приводит к усиленному боковому износу рельсов и гребней колес. Кроме того, возможны раскантировка рельсов, уширение колес или поперечный сдвиг рельсошпальной решетки, т. е. расстройство положения пути в плане.

Введение более мощных локомотивов значительно повышает пропускную способность. Однако переход к новым средствам тяги требует больших капиталовло-

жений как на приобретение самих локомотивов, так и на переустройство депоовского хозяйства, экипировочных устройств, удлинение станционных путей, усиление пути и искусственных сооружений. Таким образом, внедрение более мощных локомотивов должно быть обосновано технико-экономическими расчетами путем сопоставления требуемых затрат с ожидаемым эффектом.

Железные дороги идеально подходят для организации относительно дешевых, быстрых, удобных и минимально воздействующих на окружающую среду массовых перевозок. Многие железнодорожные предприятия и компании-операторы уже используют предоставляемые в этом отношении возможности.

Стратегия развития железнодорожного транспорта обеспечивает увеличение перевозок и качественное их изменение, чтобы не только сохранить, но и расширить позиции железных дорог на рынке транспортных услуг.

На Белорусской железной дороге внедрение скоростного движения пассажирских поездов на существующих железных дорогах возможно в следующих вариантах:

- строительство новых линий;
- реконструкция существующих линий, в том числе изменение геометрических параметров линии (план и продольный профиль), что потребует значительных капитальных вложений;
- введение усовершенствованного подвижного состава с возможностью реализации непогашенного поперечного ускорения $a_{\text{пн}} = 0,9 \text{ м/с}^2$ при безусловном обеспечении уровня комфортабельности езды пассажиров (включая изменение вида тяги).

В настоящее время в Республике Беларусь доля строительства новых линий очень незначительная. Строятся в основном только пути необщего пользования с примыканием к существующим станциям и узлам (пути необщего пользования ОАО «Нафтан», Петриковского ГОКа ОАО «Беларуськалий» и другие). На всех магистральных и дорогах общего пользования назначается реконструкция. Тем не менее на железных дорогах стран мира есть примеры строительства отдельных линий для грузового и пассажирского движения с различными скоростями.

Реконструкция железнодорожного пути ведется в соответствии с действующей нормативно-технической документацией, регламентирующей общие принципы, технические характеристики, нормативы и запросы по производству реконструкции железнодорожного пути, включающие аспекты предназначения, подготовку проектов с проведением обследовательских и изыскатель-

ских работ, организацию и технологию выполнения работ, приемку и сдачу в эксплуатацию пути вследствие его реконструкции.

Реконструкция железнодорожного пути ориентирована на увеличение несущей способности, прочности, долговечности и иных характеристик надежности как железнодорожного пути в целом, так и его составных частей, обеспечивающих продление продолжительности жизненного цикла, уменьшение трудозатратности и цены технического обслуживания пути и получение экономического эффекта при его эксплуатации, в т. ч. за счет повышения скоростей движения поездов.

К реконструкции железнодорожного пути относятся работы, приводящие к изменению категории пути, а также к увеличению грузоподъемности искусственных сооружений, возможности пути и искусственных сооружений нести повышенные осевые и погонные нагрузки, изменению пространственных характеристик (плана и профиля пути, геометрии балластной призмы, земляного полотна, негабаритных мест), изменению конструкции пути с устройством новых водоотводных,

защитных и укрепительных сооружений. В результате реконструкции путь может переводиться в более высокий класс в зависимости от эксплуатационных критериев.

Реконструкция верхнего строения пути и улучшение его динамических характеристик тесно связаны с используемым подвижным составом на дороге. Такой подвижной состав, как «Ласточка» или «Стриж», способны реализовывать большие скорости на существующем пути только за счет своих динамических характеристик и допуска на них отдельных нормативных требований (например, величина непогашенного ускорения в кривых разрешена до 1 м/с^2 против допускаемой величины $0,7 \text{ м/с}^2$ в обычных подвижных составах).

Реконструкция плана и профиля под высокие скорости движения заключается в увеличении радиусов криволинейных участков и уменьшении разности переломов Δi соседних элементов продольного профиля, при этом разность элементов должна быть $\Delta i \leq 6 \text{ ‰}$.

На рисунке 1 представлены схематично основные технические решения по повышению скорости движения поездов.



Рисунок 1 – Основные технические решения по повышению скорости движения

Эффективность повышения скоростей движения поездов на территории Республики Беларусь вполне обоснована, так как расстояния и характер перевозок соответствуют факторам, определяющим сферу рационального его применения, в частности:

- протяженность направлений, на которых наблюдается наибольшая интенсивность перевозок, соответствует равновеликим затратам времени в сравнении с воздушным транспортом;

- обслуживание скоростными поездами ряда относительно близко расположенных один от другого круп-

ных населенных пунктов, обеспечивающих достаточно большое число пассажиров;

- перевозка больших масс пассажиров, совершающих деловые поездки и др.

- перевод грузовых поездов на параллельный путь.

На сегодняшний день на Белорусской железной дороге проводятся изыскания по повышению скоростей на направлениях (IX А) Терюха – Гомель – Витебск – Езерище – 489 км; (IX В) Гудогай – Молодечно – Минск – Жлобин – 372 км и (II) Орша – Минск – Брест транспортных коридоров.

Чтобы развивать скорость до 160 км/ч, необходим соответствующий подвижной состав. В первую очередь такие поезда запускаются между Брестом и Минском, а также между Гомелем и Минском.

В рамках реализации госпрограммы развития транспортного комплекса Республики Беларусь в 2019 г. на дорогу было поставлено три шестивагонных дизель-поезда ДП6, а в 2020 г. еще три – польского производства. Это позволило реализовывать новый современный формат пассажирских перевозок на неэлектрифицированных направлениях со скоростями до 140 км/ч.

В 2019 году между Белорусской железной дорогой и компанией ЗАО «Штадлер Минск» был подписан контракт на поставку 10 современных пятивагонных электропоездов серии ЭПМ. В настоящее время на БЖД поступило уже три электропоезда. Новый подвижной состав будет задействован на наиболее востребованном у пассажиров электрифицированных участках Белорусской железной дороги направлении Гомель – Минск. Белорусская железная дорога с 6 сентября приступила к пробной эксплуатации с пассажирами. Максимальная скорость новых пятивагонных электропоездов составляет 160 км/ч. Поставка еще семи электропоездов запланирована на октябрь 2021 – апрель 2022 года.

В настоящее время кафедрой «Проектирование, строительство и эксплуатация» Белорусского государственного университета транспорта проводятся технические изыскания на предмет установления «барьерных» мест, препятствующих повышению скоростей движения на направлении Гомель – Брест. Направление разбито на отдельные участки, так как причинами ограничения скорости является состояние объектов путевого хозяйства. К ним относятся и криволинейные участки малых радиусов (перегон Калинковичи – Лунинец), и стрелочные переводы крутых марок (участок Гомель – Калинковичи) и другие.

На направлении Могилев – Жлобин – Гомель, для того чтобы вышеуказанный маршрут был востребован у пассажиров и грузоперевозчиков, время следования должно быть минимальным. По участку предполагается повышение установленных скоростей движения грузовых поездов до 100 км/ч, а пассажирских – до 140 км/ч. По всему направлению имеются проблемные места с точки зрения плана линии. Кривые радиусами 500–600 м встречаются на подходах к раздельным пунктам (ст. Быхов, р. п. Старосельский и др.). Однако в связи с достаточно развитой инфраструктурой населенных пунктов увеличение данных радиусов является затруднительным из-за значительных сдвижек кривых и переноса инженерных коммуникаций.

Предварительный анализ технических характеристик данного участка показал, что на протяжении от станции Быхов до границы обслуживания Могилёвской дистанции пути можно увеличить скорости движения поездов до 140 км/ч и более за счёт проведения необходимых

путеремонтных мероприятий. Наличие остальных криволинейных участков и их существующие радиусы позволяют выполнить путеремонтные мероприятия без переустройства кривых за исключением «барьерного» места. Выбор возможных вариантов повышения скоростей движения поездов в любом случае является технико-экономической задачей высокого уровня сложности. Возможны как отдельные реконструктивные мероприятия, так и их различные сочетания. Решение зависит от рассматриваемых факторов в каждом конкретном случае.

Список литературы

- 1 **Ерофеев, А. А.** Проблемы повышения скорости движения поездов на существующих железнодорожных линиях / А. А. Ерофеев, П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 2(37). – С. 57–60.
- 2 **Миронов, В. С.** Анализ эффективности скоростного движения пассажирских поездов в Республике Беларусь / В. С. Миронов, Т. А. Руденко // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 300–302.
- 3 **Дубровская, Т. А.** Выбор параметров реконструкции железных дорог для скоростного движения с учетом неопределенности исходной информации / Т. А. Дубровская // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 241–242.
- 4 **Ковалёва, В. И.** Скоростной и высокоскоростной железнодорожный транспорт / В. И. Ковалёва. – СПб. : Информационный центр «Выбор», 2003. – С. 445–448.
- 5 **Ковтун, П. В.** Проблемы повышения скорости движения на существующих железнодорожных линиях / П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті : матеріали 7-й Міжнар. наук.-техн. конф. – Харьков : ДЗНУТ, 2018. – С. 43–45.
- 6 **Ахраменко, Г. В.** Введение скоростных пассажирских поездов на основных направлениях Белорусской железной дороги / Г. В. Ахраменко // Пути технического перевооружения и модернизации железнодорожного транспорта: тез. докл. 4-й науч.-техн. конф. кафедр БелГУТа и Дор НТО Белорусской ж. д. – Гомель : БелГУТ, – 1989. – С.40–41.
- 7 **Дубровская, Т. А.** Обоснование проектных решений при реконструкции железных дорог для скоростного движения пассажирских поездов в Республике Беларусь : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06 / Т. А. Дубровская. – М., 2021. – 159 с.
- 8 **Довгелюк, Н. В.** Скоростные железнодорожные магистрали / Н. В. Довгелюк, Т. А. Руденко. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 43 с.
- 9 **Курбасов, А. С.** Увеличение скоростей на железных дорогах России: возможности и преимущества / А. С. Курбасов // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 6 (37). – С. 20–23.
- 10 **Основные технические решения по повышению скоростей движения поездов на Белорусской железной дороге / П. В. Ковтун [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 1 (42). – С. 56–59.**

Получено 26.10.2021

P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, A. I. Stryzhak. Stages of increasing train speeds in the travel economy.

As a result of the research, the main stages of increasing train speeds in the track economy on the Belarusian Railway were developed. Possible options for increasing train speeds on existing lines are considered.

УДК 625.142.215

О. Н. ВЛАСЕНКО, А. А. СУЩЕНОК, Белорусская железная дорога, г. Борисов; П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, О. В. ОСИПОВА, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ОАО «БОРИСОВСКИЙ ШПАЛОПРОПИТОЧНЫЙ ЗАВОД»

В настоящее время путевое развитие железнодорожных путей необщего пользования ОАО «БШПЗ» не в полной мере соответствует потребностям предприятия. Проработана возможность осуществления собственным локомотивом БШПЗ перемещения вагонов по всем путям предприятия без выхода на пути общего пользования станции Борисов. Представлен анализ мероприятий по разработке проектных решений с целью совершенствования схемы путевого развития рассматриваемого предприятия с последующим выбором проектного варианта.

По состоянию путевого хозяйства Белорусской железной дороги на 01.01.2021 г. на деревянном основании лежит 1929,8 км пути и 3117 комплектов стрелочных переводов. Обеспечение потребности Белорусской железной дороги в деревянных шпалах, брусках для стрелочных переводов и мостовых брусках в полном объеме выполняет ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод». С 2013 года предприятие является активным экспортёром продукции, высокое качество продукции позволило предприятию стать поставщиком шпальной продукции для крупных зарубежных компаний.

Однако в настоящее время путевое развитие железнодорожных путей необщего пользования ОАО «БШПЗ» не в полной мере соответствует потребностям предприятия. В частности, при проведении маневровых операций на путях необщего пользования предприятия постоянно возникает необходимость получения разрешения для выезда на пути общего пользования станции Борисов, что значительно увеличивает время на проведение грузовой работы и пробег локомотива. В связи с этим для оптимизации условий проведения маневровой работы на путях необщего пользования целесообразно изменение путевого развития, позволяющего без выезда на пути общего пользования осуществлять маневровую и грузовую работу.

Для разработки вариантов переустройства использовались следующие исходные данные и ограничения:

- схема путевого развития предприятия с указанием на ней инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- размещение съезда между путями № 41 и 38;
- съезд должен быть с сохранением полезной длины для размещения трех грузовых вагонов общей длиной 42 метра от знака «Граница пути необщего пользования», относящегося к пути № 41 (рисунок 1);
- использование стрелочных переводов следующих типов – марок : P50 – 1/9, P50 – 1/11, P65 – 1/9, P65 – 1/11 на деревянных переводных брусках.

При разработке вариантов переустройства предприятия нужно в первую очередь проверить возможность сохранения полезной длины пути № 41 для размещения трех грузовых вагонов общей длиной 42 метра. Это необходимо для обеспечения возможности осуществления собственным локомотивом БШПЗ перемещения двух вагонов по всем путям предприятия без выхода на пути общего пользования

станции Борисов. С целью максимально возможного использования территории предприятия – первый стрелочный перевод съезда проектируется под углом к существующему пути № 41, что позволит увеличить угол пересечения осей прямого пути проектируемого стрелочного перевода и пути № 38. Кроме того, это позволит уменьшить длину проектируемого съезда, так как ось бокового пути будет вписываться по касательной к существующей кривой, что не потребует дальнейшего переустройства пути № 41. Второй стрелочный перевод съезда вписывается по касательной к существующему стрелочному переводу № 200. На основании проведенных расчетов можно сделать вывод о невозможности устройства съезда при сохранении полезной длины пути для размещения трех вагонов, т. к. ось прямого пути второго стрелочного перевода пересекается под углом с осью пути стрелочного перевода № 200 в точке начала острия острия, что обуславливает невозможность вписывания кривой для корректного сопряжения проектируемого и существующего стрелочных переводов.



Рисунок 1 – Схема путевого развития рассматриваемого участка пути с предполагаемым размещением съезда

В целях увеличения расстояния для устройства съезда необходимо уменьшить полезную длину пути № 41 до величины, позволяющей разместить два грузовых вагона (ориентировочно 28 м). Дополнительно для увеличения углов пересечения осей путей в съезде используются симметричные стрелочные переводы марки 1/6. В результате разработки данного варианта все полученные параметры съезда и железнодорожных путей предприятия удовлетворяют нормам проектирования. Однако такая схема

предполагает дорогостоящую закупку двух новых симметричных стрелочных переводов М 1/6 и устройство дополнительных S-образных кривых. Поэтому был рассмотрен вариант размещения съезда с использованием стрелочных переводов разных марок: М 1/9 и М 1/6. В результате разработки данного варианта все полученные параметры съезда и железнодорожных путей предприятия удовлетворяют нормам проектирования, следовательно, данный вариант может быть принят к дальнейшему рассмотрению.

Устройство съезда при использовании двух стрелочных переводов марок 1/9 возможно только от знака «Граница пути необщего пользования», т. е. без возможности размещения вагонов. Однако съезд, запроектированный таким образом, не выполняет свою изначальную функцию, а именно перевод единиц подвижного состава с пути № 41 на путь № 38 без выезда на пути общего пользования. Следовательно, дальнейшая разработка вариантов в данном направлении не рассматривалась.

Для реализации возможности размещения трех вагонов разработаны два варианта устройства съезда с переносом границы пути необщего пользования (ГПП). Первый вариант предполагает применение двух стрелочных переводов одной марки М 1/6, второй – двух стрелочных переводов разных марок М 1/9 и М 1/6. Данные варианты технически осуществимы и соответствуют нормам проектирования.

Аналогично устройство съезда с использованием двух стрелочных переводов марок 1/9 возможно при условии переноса границы пути необщего пользования (ГПП) и размещении двух вагонов. Тогда все полученные параметры съезда и железнодорожных путей предприятия удовлетворяют нормам проектирования,

следовательно, данный вариант может быть принят к дальнейшему рассмотрению.

Также в процессе проектирования была рассмотрена возможность демонтажа стрелочного перевода № 200 и укладки одного стрелочного перевода на пути № 41, что позволяет увязать данный стрелочный перевод со всеми путями предприятия, кроме пути № 37. При соединении пути № 41 с остальными путями предприятия в случае использования стрелочного перевода марки 1/6 все параметры съезда и железнодорожных путей предприятия удовлетворяют нормам проектирования, следовательно, данный вариант может быть принят к дальнейшему рассмотрению. Однако данные проекты потребуют больших переустройств путевого развития предприятия, а также путей общего пользования, что потребует значительных ресурсов и вызовет затруднения.

Таким образом, при разработке вариантов переустройства путевого развития рассматривались два принципиально разных подхода:

- устройство съезда между путями № 41 и 38;
- переустройство с демонтажем стрелочного перевода № 200 и врезкой нового стрелочного перевода на пути № 41.

Блок-схема всех вариантов совершенствования путевого развития предприятия представлена на рисунке 2. Из всех вышеперечисленных вариантов технически осуществимы 8 схем, однако с учетом экономической и технологической целесообразности к окончательному рассмотрению на предприятии предлагаются три варианта.

Схема 2 – предполагает устройство съезда со стрелочными переводами М 1/6 и М 1/9 и размещение двух вагонов от ГПП;

ВАРИАНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ

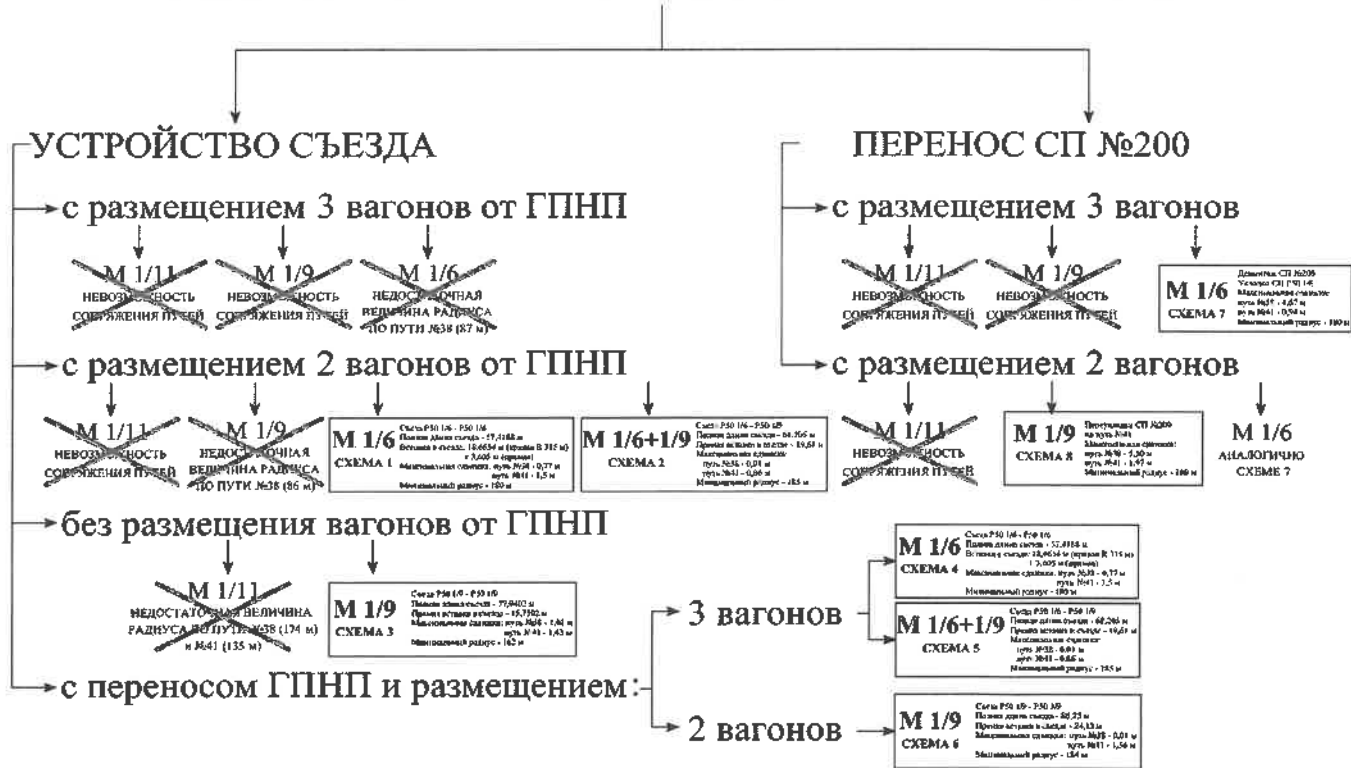


Рисунок 2 – Блок-схема вариантов совершенствования путевого развития предприятия

Схема 5 – предполагает устройство съезда со стрелочными переводами М 1/6 и М 1/9, перенос ГППП и размещение трех вагонов;

Схема 6 – предполагает устройство съезда М 1/9, перенос ГППП и размещение двух вагонов. В результате анализа характеристик и схем сравниваемых трех вариантов ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» для реализации принят вариант согласно схеме № 2. Принятый вариант представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Схема 2 устройства съезда со стрелочными переводами М 1/6 и М 1/9 и размещением двух вагонов от ГППП

Для данного варианта проработаны альтернативные технологические процессы как с использованием самой современной техники, применяемой на Белорусской железной дороге, так и с использованием автотракторной техники.

Более оперативный и экономичный вариант укладки съезда – укладка съезда P50 М 1/6 – P50 М 1/9 автомобильным краном предполагает следующий порядок работ.

1 Первый стрелочный перевод монтируется в полосе отвода пути № 38 в предполагаемом месте укладки стрелочного перевода.

2 Второй стрелочный перевод монтируется в полосе отвода пути № 41 также в предполагаемом месте укладки стрелочного перевода.

3 В междупутье путей № 38 и 41 монтируется звено проектируемого съезда.

Автомобильный кран производит работы по демонтажу рельсошпальной решетки и монтажу стрелочных переводов с трех стоянок автомобильного крана.

С первой стоянки автомобильного крана производится укладка на пути № 38 взамен звена длиной

ке 3 и характеризуется следующими параметрами:

- съезд P50 1/6 – P50 1/9;
- полная длина съезда – 68,205 м;
- прямая вставка в съезде – 19,61 м;
- максимальная сдвигка существующих железнодорожных путей предприятия: путь № 38 – 0,01 м; путь № 41 – 0,86 м;
- минимальный радиус криволинейного участка пути – 185 м.

31,057 м стрелочного перевода P50 1/9 тремя блоками. Со второй стоянки автокрана выполняется:

- укладка на пути № 41 взамен звена длиной 17,54 м симметричного стрелочного перевода P50 1/6;
- укладка звена рельсошпальной решетки съезда длиной 19,61 м.

С третьей стоянки автомобильного крана выполняется переукладка двух звеньев рельсошпальной решетки длиной 25 метров пути № 41 на проектную ось.

Таким образом, реконструкция путевого развития ОАО «БШПЗ» позволит оптимизировать маневровую работу, что повлечет за собой экономический эффект от уменьшения пробега и простоя локомотива, а следовательно, значительную экономию топлива и эксплуатационных затрат.

Список литературы

- 1 СНБ 3.03.01-98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Взамен СНиП II-39-76, СНиП III-38-75, СН 468-74 : утв. приказом Минстройархитектуры Респ. Беларусь от 07.04.1998 № 141. – Минск, 1998. – 30 с.
- 2 Каталог стрелочной продукции. Магистральный транспорт / Днепронетровский стрелочный завод. – 2011.

Получено 15.08.2021

O. N. Vlasenko, A. A. Suschenok, P. V. Kovtun, O. V. Osipova. Improving track development OJSC "Borisov Treating Plant".

Currently, the track development of non-public railway tracks of OJSC "Borisov Treating Plant" does not fully meet the needs of the enterprise. The possibility of moving cars along all the tracks of the enterprise without entering the public tracks of the Borisov station has been worked out by the BShPZ's own locomotive. The analysis of measures for the development of design solutions in order to improve the scheme of track development of the enterprise under consideration with the subsequent choice of a project option is presented.

УДК 625.173.6

Н. Н. РАДКОВИЧ, главный инженер РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги», аг. Ждановичи, Минская обл.; А. Т. БУСЬКО, заместитель начальника структурного подразделения ПМС Гомель РУП «Ремпуть Белорусской железной дороги»; В. Л. МОЙСЕЕНКО, кандидат технических наук, К. В. МАКСИМЧИК, магистр, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕТЯЖКИ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ ЛОКОМОТИВОМ

Рассмотрены вопросы транспортирования рельсовых плетей на предприятиях Белорусской железной дороги. Приведено описание устройства для перетяжки рельсовых плетей и информация по его использованию. Выполнены расчеты, подтверждающие работоспособность устройства, а также проанализирована информация по его натурным испытаниям.

Введение. Система ведения путевого хозяйства Белорусской железной дороги основана на классификации железнодорожных путей в зависимости от грузонапряженности, скорости движения поездов, интенсивности пассажиропотока, значимости конкретного участка в международном железнодорожном сообщении [1] – главных факторов, непосредственно влияющих на перевозочный процесс и работу всех элементов пути.

Параметрами железнодорожного пути, нормативами и техническими условиями на применение новых и старогодных материалов верхнего строения пути предусмотрена ступенчатая перекладка рельсов, стрелочных переводов, других элементов с путей более высокого класса на пути более низкого, вплоть до полного исчерпания ими ресурса.

Для обеспечения безопасности движения поездов производят, в том числе, восстановительные ремонты пути. При этих видах ремонта сохраняют старогодные рельсовые плети или укладывают новые плети бесстыкового пути.

Методы транспортирования рельсовых плетей. Рельсовые плети на Белорусской железной дороге перевозят, как правило, на специально оборудованных платформах. Закрепление всех плетей на составе после погрузки производят в голове последнего, чтобы удерживать плети от продольных и поперечных перемещений при торможениях, маневрах на станциях, изменениях температуры, при этом их концы имеют возможность свободного перемещения при движении поезда в кривых.

При производстве работ в «окно» по замене старогодных плетей инвентарными рельсами или укладке новых выгруженные плети сдвигают внутрь колеи и пришивают к деревянным полушпалкам.

В отдельных случаях рельсовые плети перемещают при помощи локомотива.

Устройство для перетяжки рельсовых плетей. Для перетяжки рельсовых плетей при помощи локомотива (2М62, М62, 2ТЭ10У и др.) работниками Республиканского унитарного предприятия «Ремпуть Белорусской железной дороги» совместно с коллегами из Белорусского государственного университета транспорта было разработано и изготовлено специальное устройство, которое представляет собой строп тягово-сцепной (рисунок 1) и зацеп (рисунок 2), а при перетяжке обеих плетей дополнительно предусмотрено приспособление для предотвращения кантования плетей «Скрепка»

(рисунок 3), которое выполнено согласно [2] с некоторыми конструктивными изменениями.

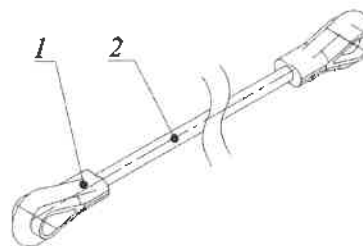


Рисунок 1 – Устройство для перетяжки рельсовых плетей: строп тягово-сцепной:
1 – петля; 2 – канатная ветвь

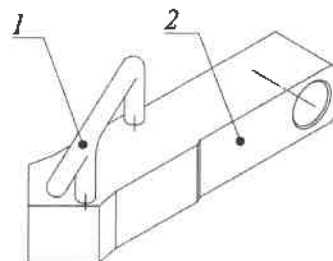


Рисунок 2 – Зацеп:
1 – ручка; 2 – корпус зацепа

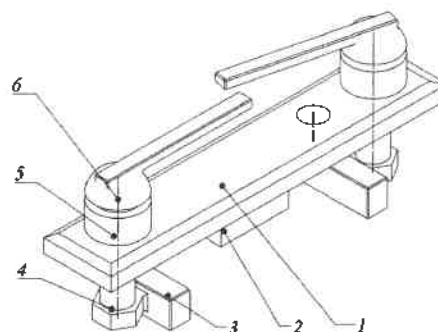


Рисунок 3 – Устройство для скрепления и предотвращения кантования рельсовых плетей «Скрепка»:
1 – траверса; 2 – упор; 3 – пластина; 4 – стяжная гайка;
5 – втулка; 6 – ручка

К выполнению работ с применением упомянутым оборудованием допускают монтеров пути не моложе 18 лет, лиц, прошедших обучение по профессии и видам работ, медицинский осмотр, инструктаж по охране труда, стажировку, проверку знаний по вопросам охраны труда и пожарной безопасности, в соответствии с тре-

бованиями [3], ознакомленных с технологическим процессом и допущенных к выполнению стропальных работ на предприятии в качестве стропальщика.

Технология производства работ. Работы по перетяжке плетей включают подготовительный и основной периоды. Все маневровые передвижения локомотива по фронту производства работ осуществляют посредством переносной радиостанции руководителем работ (дорожным мастером) и машинистом. Во избежание травмирования при нахождении на железнодорожных путях работники обязаны соблюдать требования [1].

В подготовительный период с фронта работ убирают все препятствия: валы балласта, контррельсы мостов, пешеходные переходы и т. п. Перед переездными настилами и стрелочными переводами укладывают деревянные полушпалки. Также расшивают костыли на полушпалах в местах закрепления плети.

В основной период, после закрытия перегона и ограждения места производства работ, локомотив выезжает на участок работ.

При работе с устройством по перетяжке плетей бесстыкового пути бригада из трех монтеров пути вручную подготавливает оборудование.

Как было упомянуто выше, при перетяжке обеих плетей имеет смысл применение дополнительного приспособления для предотвращения кантования плетей «Скрепка» (см. рисунок 3), которое представляет собой конструкцию, состоящую из траверсы 1, упора 2, пластин 3, стяжных гаек 4, втулок 5 и ручек 6. После подготовки их устанавливают в трех местах: на расстоянии 50 м от начала плети, посередине и за 100 м от конца плети следующим образом: разворачивают приспособление вдоль рельсовых плетей, после чего вводят в зацепление между головками рельсов и болтами плотно, прижимают пластины к головке рельсов.

Затем монтеры пути раскрепляют плеть, расшивают костыли на полушпалках и снимают охранные башмаки.

После этого на болтовое отверстие надевают пластины. Их соединяют с такелажной омегаобразной скобой, на которую устанавливают строп тягово-сцепной (см. рисунок 1). На свободные петли 1 канатных ветвей 2 стропа надевают такелажные омегаобразные скобы 1, к которым через ось присоединяют зацеп (см. рисунок 2), состоящий из ручки 1 и корпуса зацепа 2. Его в сборе устанавливают на автосцепку локомотива три монтера пути, два из них поддерживают зацеп, а третий закрепляет. Очевидно, что подготовку плетей бесстыкового пути к перетяжке выполняют при заторможенном локомотиве и исключении его самопроизвольного движения.

После того как пара рельсовых плетей подготовлена к перетяжке, монтеры пути отходят на безопасное расстояние (не менее 10 метров от троса). Дорожный мастер дает команду машинисту локомотива по радиостанции о натяжении троса. Данную операцию начинают плавно, без рывков, при предварительном неполном натяжении канатной ветви (стропа).

После натяжения троса мастер дорожный дает команду о перетяжке плети до заданного километра и пикета. Скорость движения тепловоза при перетяжке плетей должна быть не менее 20,9 км/ч и не более 25 км/ч (для тепловозов серии 2М62).

После того как плеть перетянута на заданный участок, два монтера пути остроконечными ломом сдвигают

концы плети, укладывают торцевые охранные башмаки, снимают приспособления «Скрепка». Торцы плети с охранными башмаками обвязывают проволокой для предотвращения расхождения плети.

На электрифицированных участках переменного тока находящиеся внутри рельсовой колеи рельсовые плети длиной 400 м и более должны быть заземлены. Для этого обе накоротко замкнутые в средней точке рельсовые плети присоединяют к одному из путевых рельсов поперечной перемычкой из медного провода. Следующая пара плетей заземляется таким же образом, но к рельсу другой нити. Концы соседних плетей располагают так, чтобы исключить возможность их соприкосновения.

Определение разрывных усилий в автосцепном устройстве. Разрывное усилие определяют по формуле

$$F = G\alpha k,$$

где G – вес плети, кН; α – коэффициент трения металла о бетон, $\alpha = 0,5$ [4]; k – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления движению в кривых участках пути, на подъеме, сопротивление от искусственных препятствий при перетяжке рельсовых плетей через автомобильные переезды, стрелочные переводы и др., $k = 1,05 \dots 1,25$.

Вес плети [5]

$$G = \frac{9,81m l_{\text{плети}}}{1000},$$

где m – масса 1 м плети, для Р65 [6] $m = 64,72$ кг; $l_{\text{плети}}$ – длина плети.

Результаты расчета приведены в виде графика, изображенного на рисунке 4.

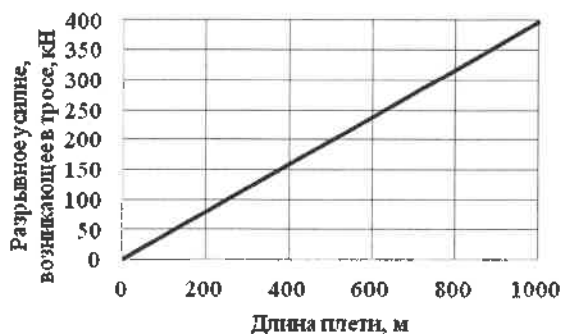


Рисунок 4 – График зависимости разрывного усилия, возникающего в тросе от длины плети

Исходя из полученных значений: при выбранных длинах плети разрывного усилия в автосцепке не возникает, при этом тяговое усилие для тепловозов серии 2М62 соблюдается вплоть до 950 м плети (при расчетно-минимальной скорости движения 20,9 км/ч составляет 392,0 кН). Соответственно допускается перетягивать одновременно две плети с длинами до 450 м, при этом необходимо применять устройство, представленное на рисунке 3.

В подтверждение теоретических значений дорожной лабораторией тяговых и тормозных испытаний (измерений) были проведены испытания по определению допустимых норм и параметров динамического воздействия на автосцепку тепловоза 2М62 при перетяжке рельсовых плетей с применением тягово-сцепного стропа [7]. Так, при перетяжке одной рельсовой плети

длиной 800 м на автосцепное устройство передавались продольные усилия от 530 до 600 кН (предельное усилие для автосцепки СА-3 950 кН). При попытке одновременной перетяжки двух рельсовых плетей длиной 800 м возникли сверхдопустимые предельные продольные усилия свыше 950 кН.

Требования безопасности при выполнении работ. Помимо требований, описанных выше, необходимо упомянуть о рисках производственного травматизма при производстве работ:

- падение материалов, изделий, деталей, груза и других предметов с рабочей поверхности, из рук;
- разлетающиеся частицы, осколки рабочих частей;
- падения на неровной, скользкой поверхности;
- повышенное содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны при работе подвижного состава;
- пониженная или повышенная температура поверхностей оборудования, инвентаря, инструмента и металлических частей верхнего строения пути;
- повышенные уровни шума на рабочем месте при работе с подвижным составом;
- опасность действий для себя и окружающих, при нахождении работника в состоянии алкогольного опьянения;
- неблагоприятные погодные условия (пониженная или повышенная температура воздуха, сильный дождь, гроза, ветер, гололед, туман);
- движущийся подвижной состав;
- воздействие ядовитых пресмыкающихся, насекомых, животных;
- физические перегрузки при выполнении работ вручную;
- недостаточная или излишняя освещенность рабочих мест;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях инструментов и оборудования;
- расположение рабочего места на высоте относительно поверхности земли;
- нервно-психические перегрузки при выполнении работ на железнодорожном пути.

При этом несчастные случаи наиболее часто происходят:

- при работе с ненадежно заторможенным подвижным составом;
- нахождении работника между локомотивом и перетягиваемой плетью, в непосредственной близости от передвигаемой плети;
- несогласованных действиях монтера пути и дорожного мастера (руководителя работ);
- использовании случайных предметов в качестве тормозных башмаков, болтов, крепящих зацеп и такелажные омегаобразные скобы, а также стропов тягово-сцепных.

Перед началом работ с использованием стропа тягово-сцепного в обязательном порядке проверяют его исправность, а также осматривают канаты, грузозахватные устройства и убеждаются:

- в отсутствии трещин и износа в грузозахватных приспособлениях и обрывах нитей, сплюсчиваний и перегибов в канате;
- отсутствии трещин и надрывов на зеве крюка зацепа, а также в том, что его крепление предотвращает самоотвинчивание;
- соответствии применяемых грузозахватных приспособлений массе и размерам поднимаемых или перемещаемых плетей, отсутствии трещин и износа захватных частей омегаобразных скоб.

При работе со стропом тягово-сцепным запрещено:

- находиться ближе 20 м от стропа при транспортировании плети, а также внутри колеи по фронту передвижения плети, между перетягиваемой плетью и локомотивом;
- работать с неисправным или не прошедшим техническое освидетельствование стропом;
- использовать строп не по назначению, в том числе применять его как грузоподъемный строп;
- работать с некомплектным стропом, в том числе при отсутствии шплинтов на гайках;
- работать со стропом при наличии видимых деформаций в элементах металлоконструкций, трещин по основному металлу, в сварных швах и околошовных зонах.

Вывод. Анализируя полученные результаты, можно утверждать: для наименьшего износа подвижного состава оптимальна перетяжка рельсовых плетей по одной штуке длиной до 950 м или по две плети длиной до 400 м (для тепловозов серии 2М62) – в этом случае на автосцепное устройство не действуют предельные продольные усилия, а также соблюдается тяговое усилие тепловоза.

Список литературы

- 1 СТП БЧ 56.232-2012. Безопасность движения поездов при производстве путевых работ : утв. приказом зам. начальника Бел. ж. д. от 06.11.2012 № 1098НЗ. – Минск, 2012. – 107 с.
- 2 Устройство скрепления (соединения) рельсовых плетей «Скрепка» : пат. RU 2513339 / С. В. Магальяс, А. Л. Бобров, Р. Г. Пуничев. – Оpubл. 20.04.2014.
- 3 Правила по охране труда при содержании и ремонте железнодорожного пути и сооружений в государственном объединении «Белорусская железная дорога» : утв. приказом начальника Бел. ж. д. от 01.08.2016 № 248Н. – Минск, 2016. – 230 с.
- 4 СТП 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. – Минск, 2013. – 50 с.
- 5 Правила тяговых расчетов для поездной работы / П. Т. Гребенюк [и др.]. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 6 Махонько, П. Ф. Предупреждение и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте : учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 1 / П. Ф. Махонько, В. М. Подшивалов, И. И. Шейнин. – СПб. : ПГУПС, 2003. – 185 с.
- 7 Акт по определению допустимых норм и параметров динамического воздействия на автосцепку тепловоза при перетяжке рельсовых плетей на перегоне Свольно – Верхнедвинск 689–690 км.

Получено 10.11.2021

N. N. Radkovich, A. T. Busko, V. L. Moiseenko, K. V. Maksimchyk. Some features of rail whips stretching by a locomotive. The issues of transportation of rail lashes on the Belarusian railway are considered. The description of the device for tightening rail lashes and information on its use is given. Calculations confirming the operability of the device were performed, as well as information on field tests of the device was analyzed.

УДК 625.1

*В. В. РОМАНЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;
И. В. РУДКОВСКИЙ, Осиповичская дистанция пути; Л. Н. АРОДЬ, Минская дистанция пути, Белорусская железная дорога*

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ ПАСПОРТИЗАЦИИ КРИВЫХ НА БЕЛОРУССКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

Существующие условия эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта путевого хозяйства связаны с применением автоматизированной системы комплексной диагностики объектов инфраструктуры АСКД-И «ЭКСПЕРТ». Диагностические средства, данные которых являются основной базой АСКД-И, проводят систематические обследования, контролируют состояние и формируют комплексную оценку качества содержания и ремонта объектов инфраструктуры с разработкой рекомендаций и мероприятий по обеспечению их эксплуатационной надежности. Анализ полученных диагностических данных за определенный период дает возможность осуществлять контроль за устранением дефектов и неисправностей, выявленных при обследовании объектов. Для оценки и мониторинга существующего геометрического положения криволинейных участков на Белорусской железной дороге с 06.11.2020 года введена в действие Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации.

Введение. Основным объектом инфраструктуры является железнодорожный путь, который характеризуется рядом показателей, обеспечивающих его геометрическое положение в плане, по уровню и в продольном профиле. В плане железнодорожный путь состоит из прямолинейных и криволинейных участков. Прямолинейные – обеспечивают прямолинейную траекторию движения подвижного состава, поэтому их содержание должно быть без отклонений, называемых «углами». Криволинейные участки имеют параметры, характеризующие их кривизну (ρ), радиус круговой кривой ($R_{\text{кр}}$) и стрелы изгиба (f), позволяющие оценить отклонения кривизны.

Однорядусные кривые, эксплуатируемые в главных путях, состоят из трех частей: первая переходная, круговая и вторая переходная кривые. Согласно [1] устройство кривой не должно допускать уменьшение установленных скоростей движения поездов, при этом длины переходных кривых должны обеспечивать:

- необходимый отвод кривизны от прямого участка ($R = \infty$) до круговой кривой ($R = R_{\text{кр}}$);
- необходимый уклон отвода возвышения наружного рельса;
- величину непогашенного ускорения $a_{\text{нп}} \leq 0,7 \text{ м/с}^2$;
- скорость изменения непогашенного ускорения $\psi \leq 0,6 \text{ м/с}^3$.

Методика оценки геометрического положения рельсовой колени. Согласно реализуемой на Белорусской железной дороге (БЖД) программе повышения скоростей движения поездов, одной из приоритетных задач, решаемых путевым хозяйством, является недопущение снижения скоростей движения поездов, исходя из чего геометрическое положение кривых должно соответствовать требованиям [1] и обеспечивать безопасный пропуск подвижного состава с установленными на участке скоростями.

Согласно Методике по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации (Методика) [2] определяются:

- количественная оценка, характеризующая величины показателей степени расстройств кривой в плане, продольном профиле и по уровню;

- качественная оценка, с присвоением статуса «не паспортизован», «паспортизован» и «не соответствует установленной скорости», показывающая, насколько фактические (существующие на момент диагностики) параметры кривой соответствуют или не соответствуют установленным на БЖД нормативным требованиям по содержанию и эксплуатации кривых.

Для определения статуса кривой необходимо установить:

- участки с превышением непогашенного ускорения для пассажирских поездов с установленной скоростью $a_{\text{нп}}$ более чем $0,7 \text{ м/с}^2$;

- наличие длинных неровностей в плане, приводящих к изменению кривизны в пределах круговой кривой и вызывающих отклонение среднего радиуса ($R_{\text{ср}}$) от проектного ($R_{\text{пр}}$) более чем на 10 %;

- отклонение средней величины возвышения наружного рельса ($h_{\text{ср}}$) от проектной ($h_{\text{пр}}$), требующее ограничение установленной скорости более чем на 15 мм;

- несовпадение точек начала переходных кривых (НПК) и конца переходных кривых (КПК) по отводам возвышения наружного рельса и кривизны (ΔL) более чем на 20 м.

Анализ состояния кривых на БЖД с выявленными отклонениями. Внедрение АСКД-И «Эксперт» позволяет ежегодно формировать приказы, определяющие перечень криволинейных участков, не соответствующих проектному положению по одному либо по нескольким параметрам их геометрического положения.

Так, согласно приказу «Об утверждении Перечня кривых участков пути, подлежащих приведению в соответствие с проектной документацией» на БЖД выявлены криволинейные участки, имеющие отклонения по уровню (У), рихтовке (Р) и несовпадению точек НПК и КПК в одной или обеих переходных кривых (ΔL_1 или ΔL_2). По состоянию на март 2020 г. число таких кривых составило 437 шт., на февраль 2021 г. – 248 шт. (рисунок 1).

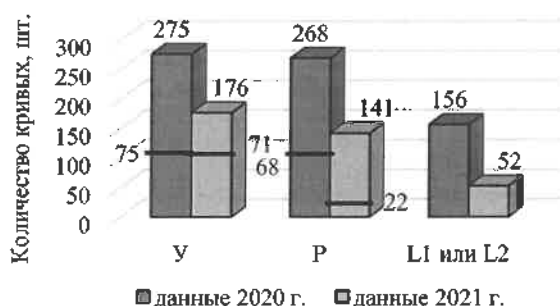


Рисунок 1 – Распределение кривых по выявленным отклонениям в 2020 и 2021 годах

При этом из 275 (2020 г.) и 176 (2021 г.) кривых отклонение только У отмечено лишь для 75 и 71 шт., соответственно для 200 и 105 кривых выявлено сочетание У с Р либо с ΔL , а также У, Р и ΔL на одной кривой.

Отклонение Р в одиночном виде – только у 68 шт. (2020 г.) и 22 шт. (2021 г.), в остальных кривых зафиксировано сочетание Р с другими отклонениями.

Нарушения по всем трем показателям (У, Р, ΔL_1 или ΔL_2) зафиксированы у 68 и 52 кривых.

Таким образом, требованиям к содержанию по кривизне удовлетворяет 25 % (2020 г.) и 15 % (2021 г.) кривых из общего числа кривых, имеющих Р, или 88 % (2020 г.) и 52 % (2021 г.) из общего количества кривых с выявленными отклонениями, по У соответственно 25 и 55 % (2020 г.) и 16 и 52 % (2021 г.).

Согласно [2] кривая относится к «расстроеным»:

- при превышении непогашенного ускорения $0,7 \text{ м/с}^2$, скорости его изменения $0,6 \text{ м/с}^3$ и уклона отвода возвышения наружного рельса в зависимости от скорости;

- наличии длинных неровностей («заводины») в плане, приводящих к изменению кривизны более чем на 10 % в пределах «круговой» кривой;

- наличии изменения возвышения наружного рельса более чем на 15 мм в пределах «круговой» кривой;

- несопадении координат НПК и КПК по кривизне и возвышению более 20 м.

Выявление расстроенных кривых. Анализ состояния геометрии рельсовой колеи в криволинейных участках выполнен на примере Осиповичской дистанции пути, который показал, что в настоящее время в дистанции эксплуатируются кривые, у которых радиус существующей круговой кривой $R_{сум}$ отличается от проектного $R_{пр}$, в достаточно большом количестве. Отличия наблюдаются как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения.

В соответствии с данными, приведенными на рисунке 2, можно сделать вывод, что наибольшее отступление по кривизне, как в сторону увеличения (28 шт.), так и в сторону понижения (16 шт.) составляют кривые с несоответствием $R_{сум}$ и $R_{пр}$ в пределах от 5 до 10 %, что равно 44 % от общего количества кривых, обслуживаемых Осиповичской дистанцией пути.

Аналогично выполнен анализ величин возвышения наружного рельса в кривых ($h_{сум} < h_{пр}$ и $h_{сум} > h_{пр}$) и длин существующих и проектных переходных кривых по их величине ($l_{сум} < l_{пр}$ и $l_{сум} > l_{пр}$).

В дистанции эксплуатируется ряд кривых, у которых величина существующего возвышения меньше проектного $h_{сум} < h_{пр}$ на 5–10 % – 27 шт. и на 10–20 % – 18 шт., ряд кривых, у которых $h_{сум} > h_{пр}$ на 5–10 % – 32 шт. и на 10–20 % – 24 шт. Существующая длина переходной

кривой превышает проектную, а именно $l_{сум} > l_{пр}$ на 10–20 % у 54 кривых, на 20–30 % – 29 шт., а также у 22 кривых разница в длине составляет более 50 %.

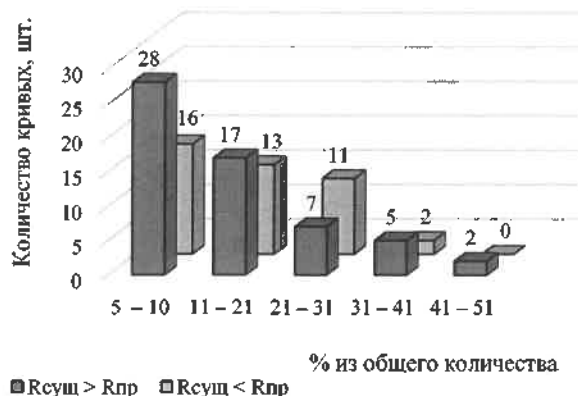


Рисунок 2 – Распределение количества кривых участков с несопадением существующего и проектного радиусов

Значительное количество кривых имеют отклонения от проектного положения, что трактуется согласно [2] как разного рода расстройство, а следовательно, требует проведения выправочных работ с определением параметров «правильного» геометрического положения.

Так как паспортными данными кривой являются координаты положения, длины переходных кривых, количество радиусов и их величины, а также величина возвышения наружного рельса, то для паспортизации кривой необходимо исправить все отступления и предложить иное геометрическое положение, которое не допускает снижения установленной скорости движения поездов.

Порядок паспортизации кривых. Для реализации алгоритма паспортизации рассмотрим кривую, расположенную на участке Минск – Осиповичи по I главному пути, по станции Руденск (таблица 1). Участок двухпутный, электрифицированный. Максимальная скорость движения на этом участке установлена для пассажирских поездов – 110 км/ч, грузовых – 80 км/ч.

Согласно проектной документации кривая должна иметь следующее пикетажное положение: начало (начало первой переходной кривой) ПК 454 + 593, конец (начало второй переходной кривой) ПК 454 + 703. Радиус кривой – 3200 м, длины первой $L_{пк1}$ и второй $L_{пк2}$ переходных кривых должны составлять по 20 м, возвышение наружного рельса $h_{пр}$ – 10 мм, наибольшая крутизна отвода – 0,5 мм/м, угол поворота – $3,70^\circ$ ($3^\circ 42'$), кривая правая.

Таблица 1 – Параметры кривой

Параметр	Показатель	Параметр	Показатель
<i>Фактические</i>			
НПК ₁ , км+м	454+581	$R_{мин}$, м	1227
КПК ₁ , км+м	454+610	$R_{макс}$, м	1967
КПК ₂ , км+м	454+629	$R_{ср}$, м	1707
НПК ₂ , км+м	454+659	$h_{мин}$, мм	0
$v_{пр}$, км/ч	110	$h_{макс}$, мм	10
$a_{нп}$, м/с ²	0,55	$h_{ср}$, мм	5
Ψ , м/с ³	0,32	$R_{пр}$, м	3200

Окончание таблицы 1

Параметр	Показатель	Параметр	Показатель
Расчетные			
Отклонение R_{cp} от R_{np} , %	47	Несовпадение ΔL НПК ₁	0
Отклонение h_{cp} от h_{np} , мм	5	Несовпадение ΔL КПК ₁	0
Отвод i , %, 1-й ПК	0,72	Несовпадение ΔL КПК ₂	Не определен
Отвод i , %, 2-й ПК	0,69	Несовпадение ΔL НПК ₂	

Данные по геометрии рельсовой колеи кривых содержатся в ведомости характеристик устройства кривых участков пути формы ФП-3.1 и карточках кривых формы ФП 3.2, формируемых АСКД-И «ЭКСПЕРТ». Эти отчетные документы содержат полную информацию о координатах начала и конца суммированных кривых (круговая кривая с переходными кривыми) в плане и по уровню, среднем радиусе круговой кривой, длинах переходных кривых в плане и по уровню, а также о величинах среднего возвышения наружного рельса в круговой кривой, ширине колеи и боковом износе.

Ведомость ФП-3.1, наряду с вышеперечисленными данными, содержит информацию о величине несовпадения точек НПК и КПК по кривизне и возвышению наружного рельса, минимальных и максимальных величинах радиуса, величине возвышения и крутизны отвода возвышения наружного рельса, величине непогашенного ускорения и скорости изменения непогашенного ускорения, допускаемых скоростях движения в зависимости от предельных величин параметров кривых.

Согласно требованиям [2] кривая определена как «расстроенная», так как отклонение R_{cp} от R_{np} составляет 47 %, что больше допускаемого отклонения на 10 %.

Определение степени расстройства. Введены две степени расстройства, количественными показателями которых являются:

– *показатель расстройства по кривизне* $P_{пл}$ – определяется по соотношению максимального и минимального радиусов в пределах круговой кривой:

$$P_{пл} = k_{пл}(R_{max} / R_{min} - 1), \quad (1)$$

где R_{max} , R_{min} – максимальный и минимальный радиусы, м; $k_{пл}$ – коэффициент, при $R_{cp} \leq 1200$ м и $1200 > R_{cp} \leq 3000$ м независимо от скорости движения поездов, соответственно $k_{пл} = 1,0$ и $k_{пл} = 0,5$; для $R_{cp} > 3000$ м и скорости движения поездов более 140 км/ч $k_{пл} = 0,2$, при меньшей – $k_{пл} = 0$.

При $R_{max} = 1967$ м; $R_{min} = 1227$ м; $k_{пл} = 0,5$:

$$P_{пл} = 0,5(1967 / 1227 - 1) = 0,301;$$

– *показатель расстройства по возвышению* $P_{ур}$ – определяется по разности максимальной и минимальной величин возвышения наружного рельса:

$$P_{ур} = (h_{max} - h_{min}) / 10, \quad (2)$$

где h_{max} , h_{min} – максимальная и минимальная величины возвышения, мм;

При $h_{max} = 10$ мм; $h_{min} = 0$ мм

$$P_{ур} = (10 - 0) / 10 = 1;$$

– *показатель расстройства кривой по несовпадению точек начала и конца отводов возвышения и кривизны в переходных кривых*

$$P_{\Delta} = \Delta L_{пк} / 20, \quad (3)$$

где $\Delta L_{пк}$ – максимальная величина несовпадения точек начала и конца отводов кривизны и соответствующих им отводов возвышения, м.

В точках НПК₁ и КПК₁ нет расхождения отвода уровня и кривизны, следовательно, показатель P_{Δ} равен нулю. Отвод возвышения наружного рельса в пределах второй переходной кривой не выполняется. Данные для определения статуса кривой сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение статуса кривой

Отклонения фактических параметров	Наличие показателей степени		Степень расстрой-ства	Статус кривой	Примечание
	1-й	2-й			
R_{cp} от R_{np}	$P_{пл}$	–	1	«Не паспорт-тизован»	Во 2-й переходной отсутствует отвод по возвышению

Предложение по итогам паспортизации. Так как кривая относится к «расстроенным» и имеет статус «не паспортизована», необходимо определить ее параметры, которые переведут ее в статус «паспортизована»:

– ликвидировать разницу между R_{cp} от R_{np} , равную 47 %, либо определить радиус для паспортизации $R_{псп}$ в пределах допускаемого значения 10 %;

– устранить отклонения кривизны, которые образуются разницей R_{min} и R_{max} , приводящей к тому, что показатель $P_{пл}$ дает *первую степень*;

– привести уровень в пределах 2-й переходной кривой к положению, которое позволит выполнить отвод возвышения наружного рельса.

Предлагаемое геометрическое положение кривой приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика кривой для паспортизации

Кривая для паспортизации							
Наружный рельс	Начало, км + м	Конец, км + м	Радиус, м	Возвышение, м	Длина кривой, м	Длина переходной кривой, м	
						1	2
Левый	454 + 581	454 + 659	1930	10	78	30	30

Вывод. Предлагаемое положение кривой не снижает уровень безопасного движения поездов и установленную на участке скорость движения поездов, это подтверждают параметры, определенные согласно [1]: крутизна отвода наружного рельса $i = 0,33$ мм/м, что не превышает рекомендованного значения 0,9 мм/м; величина непогашенного ускорения $a_{пл} = 0,423$ м/с²; скорость изменения непогашенного ускорения $\psi = 0,430$ м/с³.

Все данные получены с помощью современных средств автоматизации и АСКД-И «ЭКСПЕРТ», что существенно снижает долю трудозатрат на паспортизацию кривой, в частности исключает ручные измерения и их последующую математическую обработку. Результат паспортизации при этом наиболее достоверный.

Список литературы

1 СТП БЧ 09150.56.010-2005. Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 283 с.

2 Методика по оценке фактических параметров устройства кривых участков пути мобильными диагностическими средствами для их паспортизации : утв. приказом от 02.11.2020 № 838 НЗ. – Введ. 06.11.2020. – Минск : Белорусская железная дорога, 2020. – 10 с.

Получено 24.05.2021

Romanenko V. V., Arod L. N., Rudkovski I. V. Application of modern automation tools for curve certification on the Belarusian railway.

The existing conditions of operation of railway transport infrastructure facilities of the track economy are associated with the use of the automated system of complex diagnostics of infrastructure facilities ASKD-I "EXPERT". Diagnostic tools, whose data is the main base of the ASKD-I, conduct systematic surveys, monitor the condition and form a comprehensive assessment of the quality of maintenance and repair of infrastructure facilities with the development of recommendations and measures to ensure their operational reliability. The analysis of the obtained diagnostic data for a certain period makes it possible to monitor the elimination of defects and malfunctions identified during the inspection of objects. In order to assess and monitor the existing geometric position of curved sections on the Belarusian railway, a methodology for evaluating the actual parameters of the device of curved sections of the track with mobile diagnostic tools for their certification has been put into effect since 06.11.2020.

УДК 539.3

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; В. А. ГОРДОН, доктор технических наук, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ДОГРУЖЕНИЙ СТЕРЖНЯ, ВЫЗВАННЫХ ВНЕЗАПНОЙ ОСАДКОЙ ЧАСТИ ОСНОВАНИЯ ПАСТЕРНАКА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ШАГАЮЩИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Рассматривается стержень, опертый на основание Пастернака, ставится задача определения величины динамических догружений, вызванных внезапной осадкой части основания. Сочетая механические и геометрические параметры поврежденной системы «стержень – основание», включая длину опертой части и условия закрепления стержня на основании, необходимо обеспечить определённые требования к частоте собственных колебаний, инициированных внезапным повреждением основания.

Введение. В настоящее время необходимо интенсивно развивать работы по исследованию и созданию шагающих роботов. Это вызвано тем, что шагающие робототехнические комплексы, по сравнению с традиционными колёсными и гусеничными машинами, имеют ряд преимуществ при движении по поверхности со сложным рельефом, таким как заболоченная и пересечённая местность, завалы, песчаные дюны, Арктика, поверхности планет и т. д. Многие страны сегодня активно ведут разработки в этой области и производят различных по назначению шагающих роботов.

Фирма Boston Dynamics разработала Big Dog при финансировании DARPA (агентство научно-исследовательских проектов, разрабатывающее новые технологии для использования в вооружённых силах) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Военный транспортный шагающий робот Big Dog (Boston Dynamics, США)

BigDog – автономный четвероногий робот, который способен двигаться по пересеченной местности лучше, чем существующие колёсные и гусеничные роботы, способен передвигаться везде, где это возможно человеку или животному, двигаться на протяжении нескольких часов и переносить полезный груз. Наделенный искусственным интеллектом, робот способен передвигаться по местности при минимальном контроле и вмешательстве человека.

Как правило, такие робототехнические комплексы имеют немало уязвимых элементов конструкции, в случае деформаций которых происходит потеря устойчиво-

сти робота, превышение углов крена и тангажа, что приводит к переворачиванию передвижной платформы.

Для того чтобы повысить живучесть шагающих роботов, необходимо еще на стадии проектирования всех элементов конструкции учитывать всевозможные самые невыгодные условия эксплуатации робототехнического комплекса.

Одной из важных проблем данного направления строительной механики является разработка теории конструкционной безопасности стержневых конструкций, взаимодействующих с основаниями, учитывающей воздействия, не предусмотренные условиями нормальной эксплуатации, возникающих, в частности, при чрезвычайных ситуациях, включая огневые поражения, в результате износа и накопления повреждений, при непродуманных и некачественных реконструкционных мероприятиях и т. п.

Анализ современной технической литературы показывает, что имеющиеся постановки и методы решения задач прочности и живучести, которые учитывали бы фактор внезапности изменения конструктивной и (или) расчетной схем сооружений и их элементов, пока малочисленны и несовершенны. В работах [1, 2] проанализированы специфика и характеристики динамических процессов, инициируемых внезапными повреждениями, определены частоты и формы собственных и вынужденных колебаний, приращения деформаций и внутренних силовых факторов, получены зависимости динамических факторов от обобщенной жесткости системы «стержень – основание» и от размеров и локализации дефектов. Во всех работах используется метод начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояния произвольного сечения стержня. Применение начальных параметров и специальных функций (Крылова) упрощает решение, снижает порядок матриц и определителей. Кроме того, производные функций выражаются через исходные функции, что приводит к существенным упрощениям решений.

Постановка задачи.

1 Статический изгиб балки. Изгиб балки (рисунок 2), заземлённой по концам, нагруженной равномерно распределённой нагрузкой интенсивности q , взаимодействующей по всей длине с упругим двухпараметрическим основанием Пастернака, описывается дифференциальным уравнением (1).

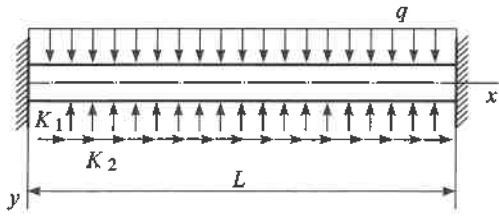


Рисунок 2 – Изгиб балки с заделкой на концах, лежащей на основе Пастернака

$$\frac{d^4 w_{\text{ст}}}{d\xi^4} - 4\beta^2 \frac{d^2 w_{\text{ст}}}{d\xi^2} + 4\alpha^4 w_{\text{ст}} = \bar{q}, \quad (1)$$

где $\xi = \frac{x}{L}$; $w = \frac{v}{L}$ – прогиб; $\beta^2 = \frac{K_2 L^2}{4EI}$; $\alpha^4 = \frac{K_1 L^4}{4EI}$; $\bar{q} = \frac{qL^3}{EI}$; $K_1 = \bar{K}_1 B$; $K_2 = \bar{K}_2 B$ – коэффициенты постели основания; B – ширина прямоугольного поперечного сечения балки.

Общее решение уравнения (1) является суммой общего решения, соответствующего (1) однородного уравнения

$$\frac{d^4 w_{0\text{ст}}}{d\xi^4} - 4\beta^2 \frac{d^2 w_{0\text{ст}}}{d\xi^2} + 4\alpha^4 w_{0\text{ст}} = 0 \quad (2)$$

и частного решения, соответствующего правой части уравнения (1)

$$w_{\text{ст}} = \frac{\bar{q}}{4\alpha^4}. \quad (3)$$

Решение уравнения (2) ищем стандартной подстановкой Эйлера

$$w_{0\text{ст}} = Ae^{n\xi}, \quad (4)$$

где A, n – константы, подлежащие определению.

Подставляя представление (4) в уравнение (2), получим характеристическое уравнение

$$n^4 - 4\beta^2 n^2 + 4\alpha^4 = 0, \quad (5)$$

все корни которого – комплексные, если $\alpha > \beta$,

$$n_{1,4} = \pm a \pm ib, \quad (6)$$

где $a = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$; $b = \sqrt{\alpha^2 - \beta^2}$,

или действительные, если $\alpha < \beta$,

$$n_{1,2} = \pm c, \quad n_{3,4} = \pm d,$$

где $c = \sqrt{2(\beta^2 + \sqrt{\beta^4 - \alpha^4})}$; $d = \sqrt{2(\beta^2 - \sqrt{\beta^4 - \alpha^4})}$.

Рассматривается случай (6) как более реальный для грунтовых оснований. Тогда общее решение уравнения (1) принимает вид

$$w_{\text{ст}} = A_1 \text{cha}\xi \cos b\xi + A_2 \text{sha}\xi \cos b\xi + A_3 \text{cha}\xi \sin b\xi + A_4 \text{sha}\xi \sin b\xi + \frac{\bar{q}}{4\alpha^4}, \quad (7)$$

где $A_i (i = 1 \dots 4)$ – постоянные интегрирования.

Граничные условия при защемлении концов балки

$$\begin{aligned} w_{\text{ст}}(0) = w'_{\text{ст}}(0) = 0, \\ w_{\text{ст}}(1) = w'_{\text{ст}}(1) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

В близких по тематике работах [3] показана эффективность применения метода начальных параметров в сочетании с векторно-матричным представлением состояния произвольного сечения для анализа напряженно-деформированного состояния балки при взаимодействии её с упругим основанием. Аналогичный подход используется ниже.

Заменяя постоянные интегрирования начальными параметрами

$$w_0 = w_{\text{ст}}(0); \quad w'_0 = w'_{\text{ст}}(0); \quad w''_0 = w''_{\text{ст}}(0); \quad w'''_0 = w'''_{\text{ст}}(0),$$

приводим функцию (7) к виду

$$w_{\text{ст}} = F_4(\xi)w_0 + F_3(\xi)w'_0 + F_2(\xi)w''_0 + F_1(\xi)w'''_0 + F_5(\xi), \quad (9)$$

где $F_1(\xi) = \frac{1}{2(a^2 + b^2)} \left(\frac{\text{cha}\xi \sin b\xi}{b} - \frac{\text{sha}\xi \cos b\xi}{a} \right)$;

$$F_2(\xi) = \frac{1}{2ab} \text{sha}\xi \sin b\xi; \quad F_3(\xi) = \frac{1}{2(a^2 + b^2)} \times$$

$$\times \left(\frac{3a^2 - b^2}{a} \text{sha}\xi \cos b\xi - \frac{a^2 - 3b^2}{b} \text{cha}\xi \sin b\xi \right);$$

$$F_4(\xi) = \text{sha}\xi \cos b\xi - \frac{a^2 - b^2}{2ab} \text{sha}\xi \sin b\xi;$$

$$F_5(\xi) = \frac{\bar{q}}{4\alpha^4} (1 - F_4(\xi)).$$

С учётом первой пары граничных условий (8) функция (9) несколько упрощается:

$$w_{\text{ст}} = F_2(\xi)w''_0 + F_1(\xi)w'''_0 + \frac{\bar{q}}{4\alpha^4} (1 - F_4(\xi)). \quad (10)$$

После определения начальных параметров и из системы алгебраических уравнений

$$w_{\text{ст}}(1) = F_2(1)w''_0 + F_1(1)w'''_0 + \frac{\bar{q}}{4\alpha^4} (1 - F_4(1)) = 0,$$

$$w'_{\text{ст}}(1) = F_2'(1)w''_0 + F_1'(1)w'''_0 + \frac{\bar{q}}{4\alpha^4} F_4'(1) = 0,$$

полученных из второй пары граничных условий (8), решение статической задачи заканчивается.

2 Динамическое догружение балки в результате внезапной частичной осадки основания. В некоторый момент $t = 0$ произошла внезапная осадка части основания длиной L_1 (рисунок 3).

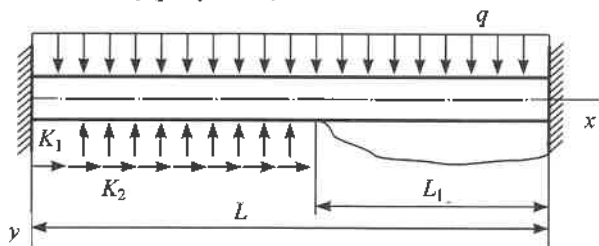


Рисунок 3 – Изгиб балки с заделкой на концах, частично лежащей на основе Пастернака

В результате внезапного нарушения статического равновесия высвобождается упругая энергия, которая приводит балку в движение.

2.1 Собственные поперечные колебания балки, частично поддерживаемой основанием Пастернака.

Собственные колебания двух частей балки: опертой на основание ($0 \leq \xi_1 \leq \nu$) и свободной ($0 \leq \xi_2 \leq 1 - \nu$),

где $\xi_1 = \frac{x_i}{L}$ ($i=1,2$), $\nu = \frac{L_1}{L}$ – относительная длина

опертой части балки, рассматриваются отдельно. Постоянные интегрирования дифференциальных уравнений колебаний участков определяются из общих граничных условий и условий сопряжения участков.

2.1.1 Собственные поперечные колебания опертого участка ($0 \leq \xi_1 \leq \nu$).

Уравнение собственных поперечных колебаний этого участка [9]

$$\frac{\partial^4 w_1}{\partial \xi_1^4} - 4\beta^2 \frac{\partial^2 w_1}{\partial \xi_1^2} + 4\alpha^4 \left(w_1 + \frac{\partial^2 w_1}{\partial \tau^2} \right) = 0. \quad (11)$$

Введем три параметра, имеющие размерность частоты $\left[\frac{1}{c} \right]$:

$$\text{«условные» частоты } \omega_{01} = \sqrt{\frac{K_1}{\rho A}}, \quad \omega_{02} = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{K_2}{\rho A}} \text{ и}$$

$$\text{«эталонная» частота } \omega_3 = \frac{1}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}},$$

где ρ – плотность материала; A – площадь поперечного сечения; E – модуль Юнга; I – осевой момент инерции сечения.

Преобразуем уравнение к виду

$$\frac{\partial^4 w_1}{\partial \xi_1^4} - 4\bar{\omega}_{02}^2 \frac{\partial^2 w_1}{\partial \xi_1^2} + \bar{\omega}_{01}^2 \left(w_1 + \frac{\partial^2 w_1}{\partial \tau^2} \right) = 0, \quad (12)$$

где $\bar{\omega}_{0i} = \frac{\omega_{0i}}{\omega_3}$ ($i=1,2$) – относительные «условные»

частоты; $\bar{\omega}_{01} = \frac{\omega_{01}}{\omega_3} = 2\alpha^2$; $\bar{\omega}_{02} = \frac{\omega_{02}}{\omega_3} = \beta$, $\tau = \omega_{01} t$ –

безразмерное время.

Полагая колебания гармоническими, разделяя переменные в уравнении (2.2) представлением

$$w_1(\xi_1, \tau) = W_1(\xi_1) \sin \bar{\omega} \tau, \quad (13)$$

где $\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_{01}}$ – безразмерная искомая частота, получаем

уравнение форм собственных колебаний участка

$$W_1^{IV} - 4\bar{\omega}_{02}^2 W_1'' + (\bar{\omega}_{01}^2 - \bar{\omega}^2) W_1 = 0, \quad (14)$$

где $\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_3}$ – другое представление безразмерной иско-

мой частоты.

Структура уравнения показывает (14), что формы собственных колебаний балки будут различными в зависимости от наличия в спектре частот значений, меньших, равных или больших значения одного из параметров системы «балка – основание» «условной» частоты $\bar{\omega}_{01}$.

Теперь возникает вопрос: возможно ли сочетание механических и геометрических параметров балки и основания, включая длину опертой части балки и условия закрепления балки на основании, такое, чтобы собственная частота балки равнялась параметру $\bar{\omega}_{01}$, то есть выполнялось бы равенство $\bar{\omega} = \bar{\omega}_{01}$.

2.1.2 Собственные поперечные колебания опертого участка при условии $\bar{\omega} = \bar{\omega}_{01}$.

Предположив возможность $\bar{\omega} = \bar{\omega}_{01}$, приведём уравнение (14) к виду

$$W_1^{IV} - 4\bar{\omega}_{02}^2 W_1'' = 0. \quad (15)$$

Интегрируя уравнение (2.5) с помощью подстановки Эйлера, получим функцию прогибов

$$W_1(\xi) = A_1 + A_2 \xi_1 + A_3 \text{ch} 2\beta \xi_1 + A_4 \text{sh} 2\beta \xi_1, \quad (16)$$

или, заменяя константы A_i ($i=1..4$) начальными параметрами $W_{01} = W_1(0)$, $W'_{01} = W'_1(0)$, $W''_{01} = W''_1(0)$,

$W'''_{01} = W'''_1(0)$, получим функцию

$$W_1 = g_2(\xi_1) W''_{01} + g_1(\xi_1) W'''_{01}, \quad (17)$$

где $g_1(\xi_1) = \frac{\text{sh} 2\beta \xi_1 - 2\beta \xi_1}{8\beta^3}$; $g_2(\xi_1) = \frac{\text{ch} 2\beta \xi_1 - 1}{4\beta^2}$.

Дифференцируя функцию (17) трижды по ξ_1 , получим последовательно угол поворота поперечного сечения ξ_1

$$W'_1 = g_3(\xi_1) W''_{01} + g_2(\xi_1) W'''_{01},$$

изгибающий момент

$$W''_1 = g_4(\xi_1) W''_{01} + g_3(\xi_1) W'''_{01}$$

и поперечную силу

$$W'''_1 = g_5(\xi_1) W''_{01} + g_4(\xi_1) W'''_{01},$$

где $g_3 = g'_2 = \frac{\text{sh} 2\beta \xi_1}{2\beta}$; $g_4 = g'_3 = \text{ch} 2\beta \xi_1$;

$$g_5 = g'_4 = 2\beta \text{sh} 2\beta \xi_1.$$

Теперь состояние произвольного сечения ξ_1 опертого участка можно представить матричным уравнением

$$\bar{W}_1(\xi_1) = V_{11}(\xi_1) \bar{W}_{01}, \quad (18)$$

где $\bar{W}_{01} = \{0, 0, W''_{01}, W'''_{01}\}$ – вектор начальных параметров опертого участка;

$$\bar{W}_1(\xi_1) = \{W_1(\xi_1), W'_1(\xi_1), W''_1(\xi_1), W'''_1(\xi_1)\} –$$

вектор состояния произвольного сечения ξ_1 ;

$$V_{11}(\xi_1) = \begin{pmatrix} 1 & \xi_1 & g_2 & g_1 \\ 0 & 1 & g_3 & g_2 \\ 0 & 0 & g_4 & g_3 \\ 0 & 0 & g_5 & g_4 \end{pmatrix} – \text{функциональная матрица}$$

влияния начальных параметров этого участка на состояние произвольного сечения ξ_1 .

2.1.3 Собственные поперечные колебания свободного участка ($0 \leq \xi_2 \leq 1 - \nu$).

Собственные поперечные колебания свободного участка описываются уравнением

$$\frac{\partial^4 w_2}{\partial \xi_2^4} - 4\alpha^4 \frac{\partial^2 w_2}{\partial \tau^2} = 0. \quad (19)$$

Разделяя переменные подстановкой

$$w_2(\xi_2, \tau) = W_2(\xi_2) \sin \bar{\omega} \tau,$$

получим уравнение форм колебаний

$$W_2^{IV} - \bar{\omega}^2 W_2 = 0, \quad (20)$$

откуда, полагая $W_2(\xi_2) = Ae^{s\xi_2}$,

получим характеристическое уравнение

$$s^4 - \bar{\omega}^2 = 0, \quad (21)$$

корни которого

$$s_{1,2} = \pm \beta_3; \quad s_{3,4} = \pm i\beta_3; \quad \beta_3 = \sqrt{\bar{\omega}}, \quad (22)$$

и функцию прогибов

$$W_2(\xi_2) = A_1 \operatorname{ch} \beta_3 \xi_2 + A_2 \operatorname{sh} \beta_3 \xi_2 + A_3 \cos \beta_3 \xi_2 + A_4 \sin \beta_3 \xi_2$$

или, в начальных параметрах этого участка

$$W_{02} = W_2(0), \quad W'_{02} = W'_2(0), \quad W''_{02} = W''_2(0), \quad W'''_{02} = W'''_2(0).$$

$$W_2(\xi_2) = R_4(\xi_2)W_{02} + R_3(\xi_2)W'_{02} + R_2(\xi_2)W''_{02} + R_1(\xi_2)W'''_{02}, \quad (23)$$

где $R_i = (R_i(\xi_2))$ ($i=1...4$) – функции Крылова вида

$$R_1(\xi_2) = \frac{\operatorname{sh} \beta_3 \xi_2 - \sin \beta_3 \xi_2}{2\beta_3^3}; \quad R_2(\xi_2) = \frac{\operatorname{ch} \beta_3 \xi_2 - \cos \beta_3 \xi_2}{2\beta_3^2};$$

$$R_3(\xi_2) = \frac{\operatorname{sh} \beta_3 \xi_2 + \sin \beta_3 \xi_2}{2\beta_3}; \quad R_4(\xi_2) = \frac{\operatorname{ch} \beta_3 \xi_2 + \cos \beta_3 \xi_2}{2}.$$

Состояние произвольного сечения ξ_2 свободного участка можно представить матричным уравнением

$$\bar{W}_2(\xi_2) = V_2(\xi_2) \bar{W}_{02}, \quad (24)$$

где $\bar{W}_{02} = \{W_{02}, W'_{02}, W''_{02}, W'''_{02}\}$ – вектор начальных параметров свободного участка;

$\bar{W}_2(\xi_2) = \{W_2(\xi_2)\}$,

$\{W'_2(\xi_2), W''_2(\xi_2), W'''_2(\xi_2)\}$ – вектор состояния произвольного сечения ξ_2 ;

$$V_2(\xi_2) = \begin{pmatrix} R_4(\xi_2) & R_3(\xi_2) & R_2(\xi_2) & R_1(\xi_2) \\ \beta_3^4 R_1(\xi_2) & R_4(\xi_2) & R_3(\xi_2) & R_2(\xi_2) \\ \beta_3^4 R_2(\xi_2) & \beta_3^4 R_1(\xi_2) & R_4(\xi_2) & R_3(\xi_2) \\ \beta_3^4 R_3(\xi_2) & \beta_3^4 R_2(\xi_2) & \beta_3^4 R_1(\xi_2) & R_4(\xi_2) \end{pmatrix} -$$

Получено 10.11.2021

A. A. Poddubny, V. A. Gordon. Determination of dynamic reloading of the rod caused by sudden settlement of a part of the Pasternak base when moving walking robotic systems.

A rod, supported on the base of Pasternak, is considered, the task is to determine the value of dynamic reloading caused by a sudden settlement of a part of the base. Combining the mechanical and geometrical parameters of the damaged "rod – base" system, including the length of the supported part and the conditions for fixing the rod on the base, it is necessary to ensure certain requirements for the frequency of natural vibrations initiated by sudden damage to the base.

функциональная матрица влияния начальных параметров свободного участка на состояние произвольного сечения ξ_2 этого участка.

Из условия сопряжения участков следует

$$\bar{W}_1(v) = \bar{W}_2(0)$$

или

$$\bar{W}_{02} = \bar{W}_2(0) = \bar{W}_1(v) = V_{11}(v) \bar{W}_{01},$$

так как матрица $V_2(0)$ – единичная.

Теперь состояние произвольного сечения ξ_2 свободного участка можно выразить через начальные параметры опертого участка

$$\bar{W}_2(\xi_2) = V_2(\xi_2) V_{11}(v) \bar{W}_{01}. \quad (25)$$

Далее были определены частота и формы собственных колебаний балки, частично опертой на основание и получены численные результаты.

Вывод. Таким образом, в работе решена частная обратная задача – определены сочетания механических и геометрических параметров системы «балка – двухпараметрическое основание», включая размеры и локализацию повреждения основания, при которых собственная частота изгибных колебаний балки, инициированной внезапной осадкой части основания, будет единственной и равной известной «условной» частоте. Последняя может быть выражена в долях аналогичной свободной либо полностью опертой балки. Данный подход и методику решения комплекса, различных типовых задач необходимо использовать при расчете элементов конструкций шагающих робототехнических комплексов в случае внезапной деформаций которых происходит потеря устойчивости робота, превышение углов крена и тангажа, что приводит к переворачиванию передвижной платформы.

Список литературы

1 **Гордон, В. А.** Собственные изгибные колебания балки, частично опертой на основание Пастернака / В. А. Гордон, Г. А. Семенова // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии.* – 2020. – № 1(339). – С. 34–42.

2 **Поддубный, А. А.** Методика расчёта критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // *Вестник БелГУТа: Наука и транспорт.* – 2019. – № 1 (38). – С. 49–52.

3 **Poddubny, A. A.** Dynamic Loading of the Rod at a Sudden Change of Elastic Foundation Structure / A. A. Poddubny, V. B. Gordon // *IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering.* – 2021. – Vol. 1079. – Paper 042076.

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 656.22

О. С. ЧАГАНОВА, кандидат технических наук, Ю. И. КУЛАЖЕНКО, доктор физико-математических наук, М. Ю. СТРАДОМСКИЙ, младший научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ СДВИГА ВАГОНОВ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ ТОРМОЗНЫМИ БАШМАКАМИ

В течение периода с августа 2017 по ноябрь 2019 года на станции Орша-Центральная был проведен ряд экспериментов по определению сил, необходимых для сдвига вагонов, закрепленных тормозными башмаками. Для оценки параметров, влияющих на способность тормозных башмаков удерживать состав, была построена многофакторная регрессионная модель. Получено, что максимальные величины сил, способствующих уходу вагонов, определяются массой поезда и продольным профилем железнодорожного пути, на котором размещен состав поезда. Выполненный анализ позволил установить пути возможного совершенствования правил крепления составов поездов тормозными башмаками.

Одним из важнейших вопросов, связанных с безопасностью движения поездов на железнодорожном транспорте, является обеспечение надежного закрепления подвижного состава для предотвращения его самопроизвольного ухода со станционных путей. В настоящее время закрепление вагонов в сортировочном парке и торможение вагонов на горках малой мощности осуществляется с помощью тормозных башмаков, которые обеспечивают торможение за счет замены трения качения колеса по рельсу трением скольжения полоза башмака и другого неподбашмаченного колеса по рельсам.

Исследования в области применения тормозных башмаков производятся в различных направлениях. В работе [1] описаны основные причины самопроизвольного ухода вагонов со станции и сделан вывод о том, что значимой причиной ухода вагонов является продольный профиль станционных путей. Авторы работ [2–4] рассматривали движение подбашмаченной колесной пары по рельсам как совокупность подсистем на уровне узлов трения: полоз тормозного башмака – рельс, полоз башмака – колесо, колодка башмака – колесо и колесо – рельс. Ими была получена модель процесса движения колесной пары на башмаке в зависимости от внешних и внутренних факторов. Также были проведены исследования влияния размера ползуна на характер разрушения кругов катания колес, имеющих на поверхности катания характерные повреждения в виде ползуна. Результаты исследования позволили скорректировать классификацию ползунков по геометрическим размерам, дающую представление о степени их влияния на срок службы колесных пар. Авторы статьи [5] провели анализ технических средств регулирования скорости продвижения вагонов вдоль сортировочных путей и закрепления подвижного состава от самопроизвольного движения на наклонных участках пути и указали направления их совершенствования. Результаты взаимодействия вагона и башмака, характеризующего сложным колебательным процессом башмака, который содержит как низкочастотную, так и высокочастотную составляющие изменения осевых усилий, были представлены в работе [6]. В работах ученых ВНИИЖТа [7–10] анализируются результаты испытаний железнодорожных горочных башмаков повышенной прочности и облегченной конструкции в сравнении с серийными башмаками.

Числов О. Н. и Ильин А. М. в работах [11, 12] развивают методику расчета норм закрепления подвижного состава с целью учета влияния различных факторов и разработки методики расчета закрепления составов поездов, состоящих из разнородного подвижного состава, на неко-

торых продольных профилях станционных путей. Методика позволяет производить расчет количества тормозных башмаков в зависимости от выбора вариантов их укладки под определенные вагоны. Также проведено сравнение норм закрепления, определенных на основании действующей и предлагаемой к рассмотрению методики. Предложено решение проблемы отсутствия четких норм закрепления подвижного состава, состоящего из вагонов различной длины. Сформулированы направления повышения надежности и эффективности закрепления на станционных путях поездов и отдельно стоящих вагонов с минимизацией человеческого фактора и регламентацией расчета норм закрепления.

Анализ современных исследований по креплению железнодорожных составов на станционных путях выявил, что данный вопрос актуален из-за несовершенства существующих нормативных документов. Цель представленной работы – анализ факторов, определяющих количество башмаков, которое необходимо для крепления состава.

С августа 2017 по ноябрь 2019 года на станции Орша-Центральная НИЛ УПП БелГУТа был проведен ряд экспериментов по определению влияния различных факторов на усилия, возникающие при закреплении подвижного состава тормозными башмаками, предназначенными для предотвращения самопроизвольного ухода вагонов. Были рассмотрены варианты с различным числом вагонов в составах поездов, их осевой нагрузкой, состояниями рельсов при разном числе используемых башмаков.

Для построения многофакторной регрессионной модели на основании экспериментальных данных о значениях сил, возникающих при креплении железнодорожных составов с помощью тормозных башмаков на станционных путях, и методики, описанной в [13], был выбран предварительный перечень параметров, потенциально влияющих на способность тормозных башмаков удерживать состав. В их число вошли: время года (T), в течение которого проводилось данное испытание; скорость ветра ($v_{вет}$, м/с); наличие атмосферных осадков и замасленность рельсов (O_c); температура воздуха ($t_{возд}$); общая масса поезда ($Q_{брутто}$, т); отношение массы груза к массе поезда ($Q_{нетто} / Q_{брутто}$); длина поезда ($m_{усл}$); количество вагонов в поезде (m); количество тормозных башмаков ($n_{баш}$); сила сжатия поезда (P , кН). В качестве выходного параметра на начальном этапе статистической обработки принято отношение сжатия поезда к числу тормозных башмаков ($P / n_{баш}$), использованных для удержания состава на пути.

Рассмотрена взаимная связь входящих в модель факторов для исключения искажения результатов моделирования в результате дублирования их влияния на функцию отклика. Были определены факторы, имеющие высокую степень взаимной корреляции между собой (с коэффициентом корреляции $r > 0,75$) [13, 14]. Анализ результатов расчета показал, что в рассматриваемом перечне факторов наибольшую степень корреляции с принятой функцией отклика $P/n_{\text{баш}}$ (отношение сжатия поезда к числу башмаков) имеют следующие факторы: сила сжатия поезда (P , кН), время года (T), в течение которого проводилось данное испытание, температура воздуха ($t_{\text{возд}}$), а наименьшее – скорость ветра ($v_{\text{ветр}}$, м/с). Между собой в наибольшей степени коррелируют факторы: количество вагонов поезда и длина поезда ($r(m; m_{\text{учл}}) = 0,929522$), время года и температура воздуха ($r(T; t_{\text{возд}}) = 0,881978$). В соответствии с описанными выше рекомендациями из числа факторов исключены $m_{\text{учл}}$ и T , так как они обладают меньшим коэффициентом корреляции с функцией отклика $P/n_{\text{баш}}$, чем факторы m и $t_{\text{возд}}$ соответственно.

В дальнейших исследованиях были использованы следующие параметры: P ($r = 0,585979$), $t_{\text{возд}}$ ($r = 0,205268$), O_c ($r = -0,068329$), $Q_{\text{брутто}}$ ($r = -0,046866$), m ($r = -0,027913$), $n_{\text{баш}}$ ($r = 0,017992$), $Q_{\text{нетто}}/Q_{\text{брутто}}$ ($r = -0,015978$), $v_{\text{ветер}}$ ($r = -0,013049$), для большинства которых коэффициент корреляции по сравнению с зависимой переменной оказался значительно меньше 0,75. При построении многофакторной регрессионной модели сочетание параметров и их влияние друг на друга могут дать улучшение коэффициента корреляции.

Далее были построены однофакторные модели, которые позволили оценить рассматриваемые параметры по степени их влияния на отношение силы сжатия поезда к числу тормозных башмаков. Значимость однофакторных моделей определялась на основании полученных зависимостей и коэффициента множественной корреляции [15]

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}, \quad (1)$$

где SSR – сумма квадратов, соответствующая уравнению регрессии; SST – полная сумма квадратов.

Для оценки доли общего разброса, которая объясняется построенной регрессией, используется коэффициент детерминации

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-q-1} (1 - R^2). \quad (2)$$

Для оценки адекватности регрессионной модели используется F -критерий, который определяет отношение дисперсии оценки модели к дисперсии остатка [15]

$$F = \frac{SSR/q}{SSE/(n-q-1)}, \quad (3)$$

где SSE – сумма квадратов остатков, равная разности между числом различных опытов и числом констант, найденных по этим опытам независимо друг от друга.

Результаты расчета указанных выше параметров при определении удерживающей силы, приходящейся на один башмак, показали, что полученная степень взаимной корреляции между усредненным отношением силы сжатия поезда к числу башмаков, является недостаточной при учете всех влияющих параметров многофакторной модели. Значения коэффициента детерминации при добавле-

нии влияющих параметров изменяются от $R^2 = 0,329$ до $R^2 = 0,484$, а величина отношения дисперсии оценки модели к дисперсии остатка – от $F = 166,9872$ до $F = 39,031$. В связи с этим сделан вывод о нецелесообразности использования данного показателя в качестве функции отклика при построении многофакторной модели.

Расчеты сдвигающей силы, в соответствии с методикой, описанной в [16], показали, что при разработке норм крепления следует отталкиваться от значения равнодействующей сил тяжести и сил сопротивления движению поезда. Проведен расчетно-статистический анализ экспериментальных результатов по креплению составов различной длины и массы на станционных путях.

Для дальнейших исследований при построении многофакторной модели в качестве функции отклика была выбрана сдвигающая сила, действующая на состав поезда, стоящего на пути (рисунок 1).

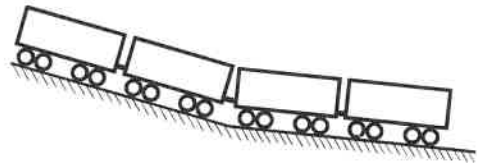


Рисунок 1 – Схема установки состава поезда на пути станции

Сдвигающая сила [17] определяется разницей проекции силы тяжести поезда на ось пути и силой сопротивления

$$P_{\text{сдвиг}} = Q_{\text{брутто}} g \sin \alpha - W, \quad (4)$$

где $\sin \alpha$ равен среднему уклону рассматриваемого пути в промилле; W – сила сопротивления движению состава, Н, которая в соответствии с Правилами тяговых расчетов [18] определяется выражением

$$W = \sum_{j=1}^k W_j = \sum_{j=1}^k W_{\text{of}}^n Q_{\text{ваг}} g, \quad (5)$$

$Q_{\text{ваг}}$ – масса одного вагона; W_{of}^n – основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов.

Для построения многофакторной регрессионной модели были предварительно выбраны параметры, потенциально влияющие на способность башмаков удерживать состав: скорость ветра ($v_{\text{ветер}}$, м/с); наличие атмосферных осадков и замасленность рельсов (O_c); температура воздуха ($t_{\text{возд}}$); общая масса поезда ($Q_{\text{брутто}}$, Т); отношение массы груза к массе поезда ($Q_{\text{нетто}}/Q_{\text{брутто}}$); количество вагонов в поезде (m); количество тормозных башмаков ($n_{\text{баш}}$); сила сжатия поезда (P , кН). В качестве выходного параметра была принята сдвигающая сила ($P_{\text{сдвиг}}$, Н).

В соответствии с описанными выше рекомендациями из числа факторов было исключено количество вагонов в поезде m , так как он обладает меньшим ($r = 0,621148$) коэффициентом корреляции с функцией отклика $P_{\text{сдвиг}}$, чем фактор $Q_{\text{брутто}}$ ($r = 0,978834$). Далее были рассмотрены параметры: $Q_{\text{брутто}}$ ($r = 0,978834$), $Q_{\text{нетто}}/Q_{\text{брутто}}$ ($r = 0,436238$), $t_{\text{возд}}$ ($r = -0,246298$), $n_{\text{баш}}$ ($r = 0,190006$), O_c ($r = -0,170138$), $v_{\text{ветер}}$ ($r = -0,141084$), P ($r = 0,139181$), для большинства которых коэффициент корреляции по сравнению с зависимой переменной (сдвигающая сила) оказался значительно меньше 0,75. Значения коэффициента детерминации при добавлении влияющих параметров изменяются от $R^2 = 0,959$ до $R^2 = 0,988$, а величина отношения дисперсии оценки модели к дисперсии остатка от $F = 8321,699$ до $F = 4115,440$.

На рисунке 2 представлен нормальный вероятностный график распределения остатков для оценки адекватности модели. Отметим, что наибольшие остатки соответствуют случаям, при которых башмаки были размещены на замасленных и мокрых рельсах.

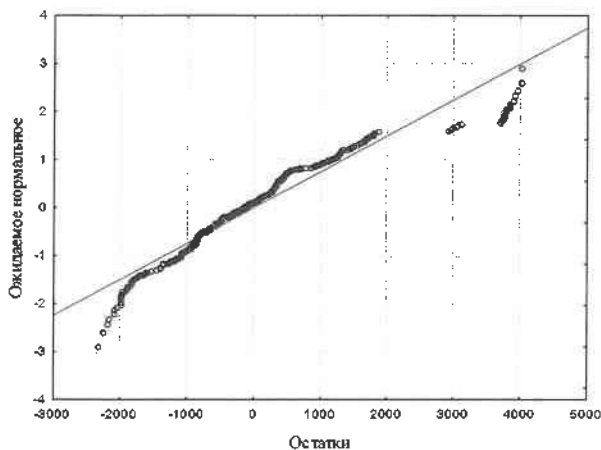


Рисунок 2 – Нормальный вероятностный график остатков

Использование многофакторных регрессионных моделей оценки влияния различных параметров на сдвигающую силу, действующую на группу вагонов, позволяет оптимизировать нормирование закрепления состава тормозными башмаками, причем следует отталкиваться от значения равнодействующей сил тяжести и сил сопротивления движению поезда.

Таким образом, подтверждено, что максимальные величины сил, способствующих уходу вагонов, которые могут возникнуть на путях размещения составов, определяются главным образом массой удерживаемого поезда и продольным профилем железнодорожного пути, на котором размещен состав поезда. Выполненный анализ позволил установить пути возможного совершенствования правил крепления составов поездов тормозными башмаками.

Список литературы

- 1 Ташлыкова, А. И. Основные проблемы обеспечения надежного закрепления подвижного состава на станционных путях / А. И. Ташлыкова, Е. А. Несветова // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2016. – Т. 1. – С. 226–229.
- 2 Демьянов, Ал. Ал. Аналитическое описание системы колесо – рельс при башмачном торможении / Ал. Ал. Демьянов, Ал. Ан. Демьянов // Качество в производственных и социально-экономических системах : сб. науч. тр. 7-й Междунар. науч.-технич. конф. – 2019. – С. 132–135.
- 3 Демьянов, Ал. Ал. Исследование влияния размера одно-стороннего ползуна, образуемого при движении козлом, на характер разрушения кругов катания колесных пар / Ал. Ал. Демьянов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2003. – № 2. – С. 13–19.
- 4 Демьянов, Ал. Ал. Исследование характера поврежденной поверхности катания колесных пар / Ал. Ал. Демьянов,

Ал. Ан. Демьянов // Наука XXI века: вызовы и перспективы : материалы межрегиональной науч.-практ. конф. – 2019. – С. 394–398.

5 Берент, В. Я. Снижение повреждаемости колес вагонов на сортировочных горках / В. Я. Берент, А. В. Николаев, И. П. Старшов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2009. – № 2. – С. 34–39.

6 Водяников, Ю. Я. Исследования динамической нагруженности горочного башмака при взаимодействии с подвижным составом / Ю. Я. Водяников, Л. С. Ольгард, А. В. Гречко // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна. – 2006. – № 11. – С. 141–147.

7 Железнодорожные тормозные горочные башмаки: история и перспективы / С. А. Сапожников [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2014. – № 5. – С. 38–43.

8 Расширенные эксплуатационные испытания железнодорожных тормозных горочных башмаков новой конструкции / М. В. Забавина [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2015. – № 4. – С. 33–38.

9 Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания / Д. П. Марков [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75. – № 5. – С. 308–317.

10 Стояночные тормозные башмаки. Эксплуатационные испытания / Марков Д. П. [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76. – № 3. – С. 153–158.

11 Ильин, А. М. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций / А. М. Ильин, О. Н. Числов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3. – С. 115–123.

12 Числов, О. Н. Расчет норм закрепления составов поездов на станционных приемоотправочных путях в условиях переменных параметров подвижного состава и продольного профиля / О. Н. Числов, А. М. Ильин, О. И. Веревкина // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. ; под общ. ред. А. К. Головинича. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 129–136.

13 Френкель, С. Я. Многофакторная модель расхода энергоресурсов в пассажирском движении / С. Я. Френкель, А. П. Дединкин, Р. К. Гизатуллин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 103–106.

14 Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.

15 Стукач, О. В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством : учеб. пособие / О. В. Стукач. – Томск : Томск. политехн. ун-т, 2011. – 163 с.

16 Shimanovsky, A. O. Investigation of the longitudinal track profile influence on the forces acting in the train inter-car connections using the MSC.ADAMS software / A. O. Shimanovsky, P. Sakharau // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2353. – P. 555–569.

17 Chaganova, O. S. Fastenings parameters determination for highly deformative cargo, taking into account its durability during transportation in cars and trains / O. S. Chaganova, I. A. Varazhun // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2018. – Vol. 7, no. 3. – P. 218–222.

18 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.

Получено 20.10.2021

O. S. Chaganova, Yu. I. Kulazhenko, M. Yu. Stradomsky. Test's results analysis for determining forces needed to displace cars fixed with skids.

During the period from August 2017 to November 2019, the experiments were carried out at the Orsha-Central station to determine the required forces needed to displace cars fixed with rail skids. A multifactorial regression model was constructed to assess the parameters that affect the rail skid ability to hold a train. It was found that the maximum forces values that cause the cars displacement are determined by the train mass and the railway track longitudinal profile where the train is located. The completed analysis made it possible to establish ways of the rules improvement for securing trains with rail skids.

УДК 681.518.54:629.4.067

В. В. БУРЧЕНКОВ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель;
В. Д. ШАНТУР, Белорусская железная дорога, г. Минск

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ДВИЖЕНИИ

Разработана методика расширения функциональных возможностей периферийных устройств диагностирования подвижного состава на ходу поезда путем установки дополнительных камер для организации контроля поездов в двух направлениях вместо одного. Рассмотрены топологические схемы размещения комплексов технических средств многофункциональных КТСМ-02 для контроля подвижного состава на однопутных участках железнодорожных линий, а также дооснащение существующих комплексов автоматического контроля подвижного состава КТСМ-02 устройствами для лазерного триангуляционного контроля сдви-га буксовых узлов с шейки вагонной оси, что позволит повысить безопасность и надежность эксплуатации подвижного состава.

Введение. На Белорусской железной дороге эксплуатируется 136 комплексов КТСМ-02 для автоматического контроля технического состояния подвижного состава, которые могут включать в себя в зависимости от конкретных условий применения одну или несколько подсистем контроля различных узлов подвижного состава (буксовых узлов вагонов (Б) и заторможенных колесных пар или тележек (Т), а по отдельному заказу доукомплектовываться подсистемой контроля дефектов колес по поверхности катания (К), подсистемой для обнаружения волочащихся деталей (В) или (СКВП-2) и др. [1]. Структурная схема комплекса КТСМ-02 приведена на рисунке 1. Основное назначение комплекса заключается в координации работы подключенных к нему подсистем, а также в обеспечении информационного взаимодействия системы в целом через систему передачи данных с централизованными средствами сигнализации, регистрации, отображения и накопления результатов контроля. Централизация данных осуществляется автоматизированной системой контроля подвижного состава АСК ПС от всех установок КТСМ-02.

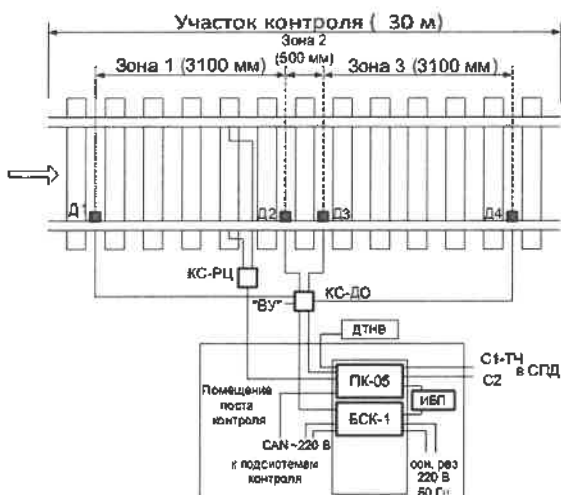


Рисунок 1 – Структурная схема комплекса КТСМ-02

Аппаратура КТСМ-02 комплектуется малогабаритными напольными камерами КНМ-05 с креплением на рельс. Конструкция этой камеры обеспечивает измерение величины инфракрасного (ИК) излучения при «осмотре» нижней и частично задней стенок корпуса буксового узла. Программное обеспечение КТСМ-02 и

периферийная CAN – сеть осуществляют подключение до 15 дополнительных микроконтроллерных измерительных систем, в том числе и подсоединение дополнительных напольных камер [1–3]. Если движение поезда осуществляется в направлении от датчика Д1 к датчику Д4, то такое направление движения считается правильным. Для двухпутных участков это направление является основным направлением движения при контроле подвижного состава. При движении поезда в противоположном направлении осуществляется только счет осей. Этот недостаток снижает эффективность использования КТСМ-02.

Постановка задачи. ИК оптика напольных камер аппаратуры КТСМ-02 сканирует нижний сектор корпусов букс под углом 55° к горизонту параллельно оси пути. Эта зона контроля корпуса буксы информативнее в части теплового состояния подшипников, чем смотровая и крепежная крышки букс, особенно в буксах с подшипниками кассетного типа в различном конструктивном исполнении. Благодаря этому напольные камеры КТСМ-02 могут контролировать буксы поездов, движущихся в лобом направлении.

При контроле вагонов в неправильном направлении движения приемники ИК излучения сканируют передние стенки корпуса буксового узла, которые подвержены более интенсивному охлаждению встречным воздухом, чем задние. Статистический анализ показывает, что для четных осей тележек грузовых вагонов температура передней стенки буксы ниже задней в среднем на 4 %, а для нечетных осей – на 16 % (рисунок 2).



Рисунок 2 – Статистический анализ нагрева осей

У тележек пассажирских вагонов производства Тверского вагоностроительного завода разница в уровнях нагрева буксовых узлов и тепловых сигналов нечетных и четных осей может достигать значений от 50 до 75 % [4].

На разницу температур нагрева букс влияют скорость движения поезда и осевые (рамные) нагрузки – буксы нечетных (направляющих) осей подвержены большей нагрузке, и соответственно, их уровни нагрева выше. Занижение показаний при встречном движении может оказаться критическим и привести к несвоевременному обнаружению буксы с неисправными подшипниками. По этой причине использование штатных камер аппаратуры КТСМ-02 при движении поезда в неправильном направлении рекомендуется только для малодейственных однопутных участков, таких как временная мера [5].

Основная часть. Для обеспечения полноценного контроля температуры корпусов букс при движении поездов в двух направлениях предложено оснащать базовый комплект КТСМ-02 дополнительными напольными камерами, устанавливаемыми навстречу основным. На рисунке 3 показано размещение двух напольных камер КНМ-05 для контроля буксовых узлов при движении поездов в разных направлениях по одному пути.

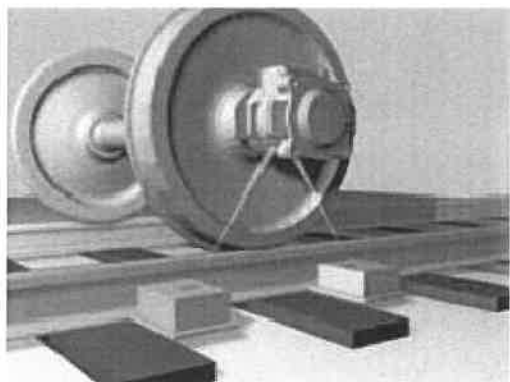


Рисунок 3 – Размещение камер КНМ-05 для контроля поездов, движущихся в двух направлениях

Таким образом, при дополнении напольного оборудования комплекса КТСМ-02 двумя камерами КНМ-05 можно обеспечить контроль подвижного состава при движении в двух направлениях. Это позволит вдвое сократить количество периферийных комплексов на однопутных участках железных дорог, с последующим значительным сокращением эксплуатационных расходов.

Для учета этих изменений необходим анализ топологических схем. Схема железнодорожных линий Белорусской железной дороги является достаточно разветвленной, с большим количеством узловых станций. К наиболее крупным из них относятся шесть станций отделений дороги: Минск, Барановичи, Брест, Гомель, Могилев и Витебск, а также узловые станции Жлобин, Осиповичи, Калинковичи, Орша, Лунинец, Молодечно, Полоцк.

При выборе конкретного типа сети передачи данных СПД важно учитывать ее топологию. Основными сетевыми топологиями являются линейная (шинная), звездообразная и «ячеистая». Но чаще всего встречаются смешанные топологии.

В СПД с «ячеистой» топологией концентраторы информации КИ – БМ представляют собой узлы сети, соединяющиеся выделенными каналами связи и производящие информационный обмен между собой и с подключенным оконечным оборудованием данных (ООД) по протоколу «точка – точка».

Структуры СПД с «ячеистой топологией» различаются организацией каналов информационной связи. Таким образом, различают линейную, радиальную и кольцевую ячеистые структуры.

Концентраторы информации в СПД с ячеистой топологией должны соединяться между собой одинаковыми каналами, т. е. окончание канала связи соединяющего два концентратора должны подключаться к разъемам «Каналы», имеющим одинаковые номера: 1-1, 2-2 и т. д. Нарушение этого принципа приводит к неправильной работе маршрутизации в СПД.

«Ячеистая» топология позволяет строить СПД с разнообразной организацией каналов информационной связи. Примеры структур СПД с «ячеистой» топологией приведены в таблице 1 [3].

Устройства оконечного оборудования данных (ООД) могут подключаться к любым разъемам «КАНАЛЫ» концентратора КИ.

Передача пакетов информации через СПД с «ячеистой» топологией осуществляется по эстафетному принципу, т. е. последовательно от узла к узлу.

Таблица 1 – Структурные схемы СПД с «ячеистой» топологией

Тип топологии	Варианты структурных схем СПД
Линейная	
Радиальная	
Кольцевая	

Преимуществом «ячеистой» топологии является ее высокая адаптивность под различные существующие схемы организации каналов связи, а в случае применения кольцевых структур – высокая устойчивость к отказам отдельных узлов или каналов связи, т. к. информационные потоки автоматически перенаправляются по действующей части СПД.

Недостатком «ячейковой» топологии является необходимость организации двухточечных каналов связи между узлами на линейных участках железной дороги. Наиболее предпочтительным для данной топологии является организация линейных связей между узлами по физической паре магистрального связывающего кабеля с обходным каналом связи тональной частоты от границ участка.

Топология СПД типа «шина» ориентирована на линейную структуру участков железной дороги, протяженностью более 150 км и оборудованных многоканальной аппаратурой уплотнения типа К-24Т. Передача информационных кадров в СПД с шинной топологией осуществляется в процессе циклического опроса сервером СПД узлов (концентраторов информации) по групповому каналу аппаратуры К-24Т. Основным недостатком СПД с топологией типа «шина» является то, что отказ группового канала приводит к полному отказу СПД. Вследствие этого применение «шинной» топологии на Белорусской железной дороге не рекомендовано.

Напольные камеры, установленные в противоположном направлении относительно движения поезда, могут использоваться в качестве дублирующих, повышая тем самым общую надежность КТСМ. Информация о проконтролированных поездах может передаваться на АРМ ЛПК одной из двух станций прибытия в зависимости от направления движения поезда. Поскольку для таких технических решений требуется одно помещение (или модуль) на перегоне и один комплект устройств энергоснабжения, то затраты на дооборудование КТСМ-02 дополнительными камерами, монтаж и техническое обслуживание в процессе эксплуатации будут минимальны.

Для двухпутных участков железнодорожных линий целесообразно размещение в одном пункте контроля двух комплектов аппаратуры КТСМ-02 четного и нечетного направлений. Реконструкция двухпутных линий Белорусской железной дороги путем совмещения двух комплектов КТСМ-02 и размещения их в одном металлическом модуле контейнерного типа (выпуск которых освоен на Минском электротехническом заводе им. В. И. Козлова) является актуальной задачей для уменьшения эксплуатационных расходов на обслуживание устройств и расходование электроэнергии.

В зависимости от применяемого вида топологии СПД в модули микропроцессорного контроллера ММК концентратора информации КИ должны быть установлены микросхемы памяти, содержащие соответствующие рабочие программы, поставляемые в составе системы [9]. Для участка железной дороги Витебск – Полоцк рекомендована линейная структура СПД с «ячейковой» технологией, так как данная структура позволяет уменьшить время доставки сообщений при уменьшении числа концентраторов (рисунок 4). Установка комплектов аппаратуры КТСМ-02 с удвоенным числом напольных камер по станциям Ловша и Шумилино позволяет сократить общее число комплектов для этого участка до двух. Одна установка КТСМ потребляет электроэнергию, в среднем, от 700 до 900 кВт·ч в год. В масштабах дороги расходы значительны. И это без учета эксплуатационных расходов,

связанных с оплатой труда электромехаников, транспортными расходами и т. д. При оптимизации размещения новой аппаратуры следует учитывать рост стоимости комплексов КТСМ. Если комплект аппаратуры КТСМ-01Д приобретался за 6 тыс. дол., комплект КТСМ-02 – за 72 тыс. дол., то вновь разработанные и выпускаемые российской фирмой «Инфотекс» комплексы КТСМ-03 стоят 103 тыс. дол. Очевидно, что рассмотренные в статье предложения принесут дороге существенную экономию средств.

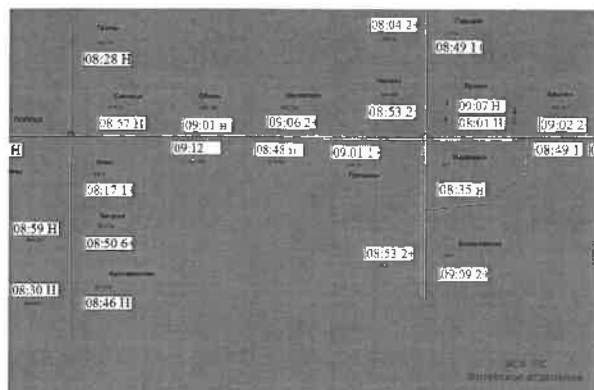


Рисунок 4 – Схема расстановки комплексов КТСМ-02 на железнодорожных линиях Витебского отделения дороги

За последнее время на сети дорог участились случаи разрушения торцевого крепления букс – от 25 до 35 % общего количества браков по буксовому узлу. Опасность такого дефекта заключается в том, что в начальной стадии (до полного разрушения переднего подшипника) сигнал нагрева корпуса буксы и смотровой крышки ниже порога срабатывания тревожной сигнализации средств контроля. Комплекс КТСМ-01Д с ориентацией ИК оптики на крышки букс обнаруживает смещение корпуса буксы в начальной стадии, когда торцевая гайка трется о смотровую крышку, но при креплении подшипников тарельчатой шайбой этого не происходит. В таком случае возможен пропуск опасного дефекта. По температуре корпуса буксы КТСМ-02 выявляют нарушения торцевого крепления подшипников на более ранней стадии, чем КТСМ-01Д. Для обнаружения сползания корпусов «холодных» букс КТСМ-02 предлагается оснастить лазерной подсистемой контроля сдвига букс «Комплекс Б» (рисунок 5).

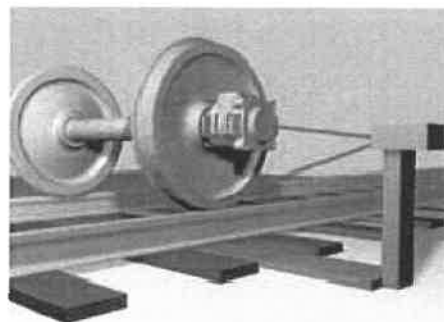


Рисунок 5 – Лазерная подсистема контроля сдвига букс «Комплекс Б»

Прототип этой подсистемы функционирует на подходах к основным пунктам технического обслуживания (ПТО) ряда железных дорог в составе автоматизированной диагностической системы контроля

параметров колесных пар вагонов «Комплекс Б». Сползание (сдвиг) буксового узла в этом устройстве определяется бесконтактным измерением расстояния от смотровой крышки буксового узла до наружной поверхности обода колеса двухканальным высокоскоростным лазерным триангуляционным датчиком положения ЛД [8, 10].

Заключение. В отличие от КТСМ-01Д аппаратуру КТСМ-02 изначально разрабатывали с учетом дооснащения дополнительными подсистемами контроля различного типа и назначения. Для стыковки с КТСМ-02 подсистема «Комплекс Б» оснащена интерфейсным модулем с поддержкой протокола CAN. При этом каких-либо изменений в аппаратуре КТСМ-02 не требуется. На рисунке 6 представлена структурная схема сопряжения КТСМ-02 с системой «Комплекс Б». Таким образом, лазерная подсистема контроля сдвига буксов эффективно дополняет средства теплового контроля КТСМ-02БТ для обнаружения дефектов буксового узла.

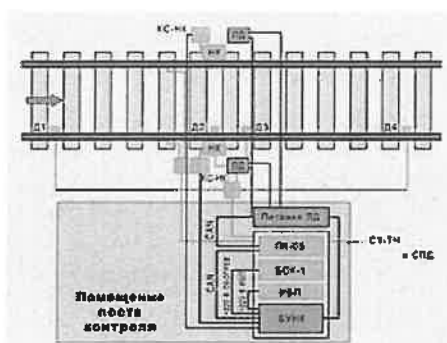


Рисунок 6 – Структурная схема сопряжения аппаратуры КТСМ-02 с подсистемой «Комплекс Б»

После завершения работ по установке дополнительных камер усовершенствованный комплекс функционирует автоматически без участия обслуживающего персонала. Данные контроля подвижного состава, а также результаты автоматической диагностики комплекса через систему передачи данных СПД передаются в программно-аппаратные комплексы АРМ операторов станционных АРМ ЛПК и центральных АРМ ЦПК постов контроля для обработки, регистрации, накопления и отображения информации [9].

Выводы. Дополнение существующих систем диагностики подвижного состава вспомогательными устройствами выявления дефектов деталей и узлов

Получено 24.05.2021

V. V. Burchenkov, V. D. Shantour. Improving the technology of non-contact technical control of rolling stock in motion.

A technique has been developed to expand the functionality of peripheral devices for diagnosing rolling stock while the train is in motion by installing additional cameras for organizing train monitoring in two directions instead of one. Topological layouts of the KTCM-02 equipment for monitoring rolling stock on single-track sections of railway lines, as well as retrofitting the existing automatic control systems for rolling stock KTCM-02 with devices for laser triangulation control of the shift of axle boxes from the neck of the car axle are considered. This will improve the safety and reliability of rolling stock operation.

грузовых вагонов позволит существенно повысить безопасность перевозочного процесса. В первую очередь это относится к однопутным участкам железнодорожных линий, где экономия средств формируется из трех составляющих: а) сокращения вдвое количества эксплуатируемых периферийных комплексов; б) уменьшения потребления электроэнергии; в) сокращения эксплуатационных расходов по обслуживанию устройств на перегонах. На двухпутных линиях также ожидаемо сокращение эксплуатационных расходов.

Список литературы

- 1 **Миронов, А. А.** Перспективные направления совершенствования средств контроля КТСМ-02 и АСК ПС / А. А. Миронов // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 1. – С. 38–41.
- 2 **Бурченков, В. В.** Автоматизация технического контроля и диагностики подвижного состава железных дорог : [монография] / В. В. Бурченков. – Гомель: БелГУТ, 2020. – 254 с.
- 3 Автоматизированная система контроля подвижного состава АСК ПС. Автоматизированное рабочее место оператора Центрального пункта контроля АСК ПС. Программное обеспечение ПО АРМ ЦПК. Руководство пользователя. – Екатеринбург : Инфотекс, 2006. – 48 с.
- 4 **Гондоров, В. А.** Новый этап развития аппаратуры КТСМ / В. А. Гондоров // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 30–31.
- 5 **Поборцев, П. Н.** Порядок пользования автоматизированной системой контроля подвижного состава (АСК ПС) от устройств ДИСК, КТСМ Белорусской железной дороги / П. Н. Поборцев, З. А. Стаховская. – Минск : Белорусская ж. д., 2008. – 76 с.
- 6 **Панкратов, Л. В.** Мониторинг нагрева букс / Л. В. Панкратов, С. Н. Чистяков // Автоматика, телемеханика, связь. – 2008. – № 6. – С. 19–21.
- 7 **Наговицын, В. С.** Системы диагностики железнодорожного подвижного состава на основе информационных технологий / В. С. Наговицын. – М. : ВИНТИ РАН, 2004. – 248 с.
- 8 **Хатламаджиян, А. Е.** Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях / А. Е. Хатламаджиян, А. И. Лебедев // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2019. – № 2 (58). – С. 9–13.
- 9 **Шобель, А.** Дистанционный мониторинг технического состояния подвижного состава / А. Шобель // Железные дороги мира. – 2012. – № 6. – С. 54–59.
- 10 **Рогозин, А. Ф.** Повышать надежность работы буксового узла / А. Ф. Рогозин // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2018. – № 2(54). – С. 30–31.

УДК 656.212

О. В. ДЕМЬЯНЧУК, инженер, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СОСТАВОВ СТАЦИОННЫМИ ТОРМОЗНЫМИ БАШМАКАМИ

Выполнен анализ зависимости силы ветра, действующей на неподвижный железнодорожный состав, от вида вагонов, температуры наружного воздуха и направления ветра. Показано, что наибольшая сила соответствует вагону-хопперу, а наименьшие – полувагону и крытому вагону. Получены значения эквивалентного уклона, при котором движущая сила, соответствующая действию ветра, равна проекции силы тяжести. Показано, что для груженых до полной грузоподъемности вагонов, размещенных на горизонтальном пути, одного дополнительного тормозного башмака достаточно при скорости ветра до 15 м/с. В то же время при размещении на таком пути порожних вагонов тормозные башмаки могут потребоваться, при скорости ветра от 7 м/с.

В настоящее время при закреплении железнодорожного подвижного состава от ухода используются Методические рекомендации по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками [1]. Однако практический опыт закрепления вагонов на станционных путях показывает, что определенное по нормам потребное количество тормозных башмаков оказывается завышенным. С другой стороны, известны случаи ухода вагонов при точном выполнении рекомендаций по закреплению составов.

Один из путей решения проблемы закрепления вагонов связан с усовершенствованием конструкций тормозных башмаков и применением новых устройств закрепления. В работах [2–4] рассматриваются результаты испытаний новых стояночных башмаков, выполнен анализ их работы по удержанию состава и рассмотрены условия, необходимые для перекатывания колеса через башмак.

Авторами работы [5] выполнен анализ методик расчета требуемого количества тормозных башмаков для закрепления подвижного состава на станционных путях, которые были приняты на железных дорогах СССР. Доказано, что учет массы грузовых поездов позволяет уменьшить нормы закрепления при условии обеспечения безопасности движения. На основе результатов расчетов предложена усовершенствованная методика определения количества тормозных башмаков.

Современный уровень информатизации позволяет более полно учитывать условия, при которых осуществляется закрепление, и обеспечивать безопасность эксплуатации подвижного состава.

Авторами работ [6, 7] рассмотрено развитие методики расчета норм закрепления подвижного состава, которая решить проблему отсутствия вариантов расчета закрепления составов поездов, состоящих из разнородного подвижного состава. Методика позволяет производить расчет количества тормозных башмаков в зависимости от выбора вариантов их укладки под определенные вагоны. Также проведено сравнение норм закрепления, определенных на основании действующей и предлагаемой к рассмотрению методики.

В статье [8] на основании анализа результатов проведенной серии испытаний по закреплению железнодорожного подвижного состава тормозными башмаками установлена необходимость пересмотра существующих норм. В качестве одного из возможных способов решения проблемы закрепления подвижного состава на путях станции предложено применение механизированных устройств закрепления.

В работах [9, 10] выполнен анализ характера влияния места расположения состава на станционных путях, состоящих из отдельных участков с разными значениями уклона продольного профиля, на силу, которую должны обеспечить тормозные башмаки для удержания состава. В статье [10] показано, что наибольшую вероятность самопроизвольного ухода имеют хопперы за счет высокого коэффициента воздушного сопротивления, причем значения силы от воздействия ветровой нагрузки сопоставимы со сдвигающей силой, связанной с уклоном железнодорожного пути.

В существующих нормах и правилах закрепления подвижного состава тормозными башмаками [1] указана необходимость укладки дополнительных тормозных башмаков при сильном (более 15 м/с) и очень сильном (штормовом) ветре. С другой стороны, в практике гидрометеорологии в качестве основных характеристик ветра также выделяют его направление и скорость. Причем в зависимости от диапазонов скоростей выделяют ветры: слабый (0–5 м/с), умеренный (6–14 м/с), сильный (15–24 м/с), очень сильный (25–32 м/с) и ураганный (33 м/с и более) [11].

В работах [12, 13] исследуется экспериментальным способом возможность опрокидывания железнодорожного подвижного состава в результате воздействия сильного бокового ветра. Авторами работы [12] установлено, что максимальное значение опрокидывающего момента соответствует величине угла, равной 50°.

В работе [13] построена имитационная модель движения высокоскоростных поездов, исследовано влияние на них бокового ветра. Авторами [14] предложен способ анализа системы взаимодействия железнодорожного подвижного состава и моста с учетом турбулентности ветра, получены формулы для расчета его силы.

Таким образом, достаточно широко исследованы общие вопросы, связанные с анализом ветровой нагрузки, действующей на железнодорожный подвижной состав, однако факторы, которые вызывают смещение составов, расположенных на станционных путях, не изучены в полной мере. В представленной работе поставлена задача по определению влияния различных факторов, связанных с ветром, на потребность в дополнительных тормозных башмаках для закрепления составов.

Сдвигающая сила, действующая на состав поезда, с учетом сопротивления среды и ветра [15]

$$P_{\text{сдвиг}} = Q_{\text{брутто}} g \sin \alpha - W \pm R_{\text{в}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{брутто}}$ – масса состава поезда, т; α – уклон рассматриваемого пути; W – сила сопротивления движению

состава, H ; R_v – сила давления ветра, H (знак «+» при попутном ветре, знак «-» – при его тормозящем действии), которая определяется по формуле [16]

$$R_v = \frac{17,8g(C_x S_1 + \sum_{i=2}^m C_{xvi} S_i)}{(273+t)} v_v^2, \quad (2)$$

C_x – коэффициент обтекаемости первого вагона в составе; S_1, S_i – соответственно площадь поперечного сечения первого и i -го вагонов в составе [16, таблица 6]; C_{xvi} – коэффициент обтекаемости остальных вагонов в составе, стоящих за первым; m – число вагонов в составе поезда; v_v – скорость ветра; t – температура наружного воздуха, °С.

Для неблагоприятных условий (зима)

$$t = t_{cp} + 0,3\tau(t_{min} - t_{cp}), \quad (3)$$

где t_{cp} – средняя месячная температура воздуха в зимний период, для Республики Беларусь $t_{cp} = -5$ °С; τ – нормированное отклонение от среднего значения, принимается $\tau = 2,0$ [16, с. 19]; t_{min} – абсолютный минимум температур для региона, $t_{min} = -42$ °С.

Для благоприятных условий (лето)

$$t = t_{cp} + 0,3\tau(t_{max} - t_{cp}), \quad (4)$$

где t_{cp} – средняя месячная температура воздуха в летний период, для Республики Беларусь $t_{cp} = +18$ °С; t_{max} – абсолютный максимум температур для региона, $t_{max} = +42$ °С.

Значения коэффициентов C_x и C_{xvi} , а также площадь поперечного сечения вагона определяются по таблице 1 [16].

На рисунке 1 представлена зависимость произведения коэффициента воздушного сопротивления и площади поперечного сечения различных типов вагонов от угла α между вектором скорости ветра и направлением движения отцепа.

Таким образом, наиболее неблагоприятный угол между результирующим вектором скорости ветра и направлением движения отцепа, при котором сила давления ветра принимает наибольшее значение, составляет примерно 30°, за исключением крытого вагона, для которого величина данного угла – 50°.

На основании приведенного графика можно сделать вывод о том, что наиболее подвержены уходу под влиянием силы давления ветра вагоны-хопперы.

Таблица 1 – Значения коэффициентов воздушного сопротивления вагонов

Род вагона	Число осей	S, m^2	Кэф-фициент	Угол α между вектором скорости ветра и направлением движения отцепа, град						
				0	10	20	30	50	70	90
Полувагон	4	8,5	C_x	1,36	1,68	1,83	1,76	1,11	0,43	0,1
			C_{xv}	0,5	0,69	0,88	0,88	0,8	0,43	0,1
Крытый	4	9,7	C_x	1,12	1,46	1,64	1,58	0,92	0,29	0,1
			C_{xv}	0,22	0,38	0,56	0,67	0,85	0,29	0,1
Полувагон	8	10,7	C_x	1,56	1,95	2,09	2,03	1,15	0,4	0,15
			C_{xv}	0,75	0,97	1,13	1,16	0,88	0,4	0,15
Платформа	4	4,1	C_x	1,51	2,02	2,30	2,23	1,3	0,40	0,1
Цистерна	4	9,8	C_x	0,59	0,82	0,96	0,96	0,56	0,19	0,05
Цистерна	8	10,3	C_x	0,81	1,08	1,22	1,10	0,65	0,19	0,05
Хоппер	4	9,9	C_x	0,92	1,18	1,38	1,46	1,21	0,68	0,25

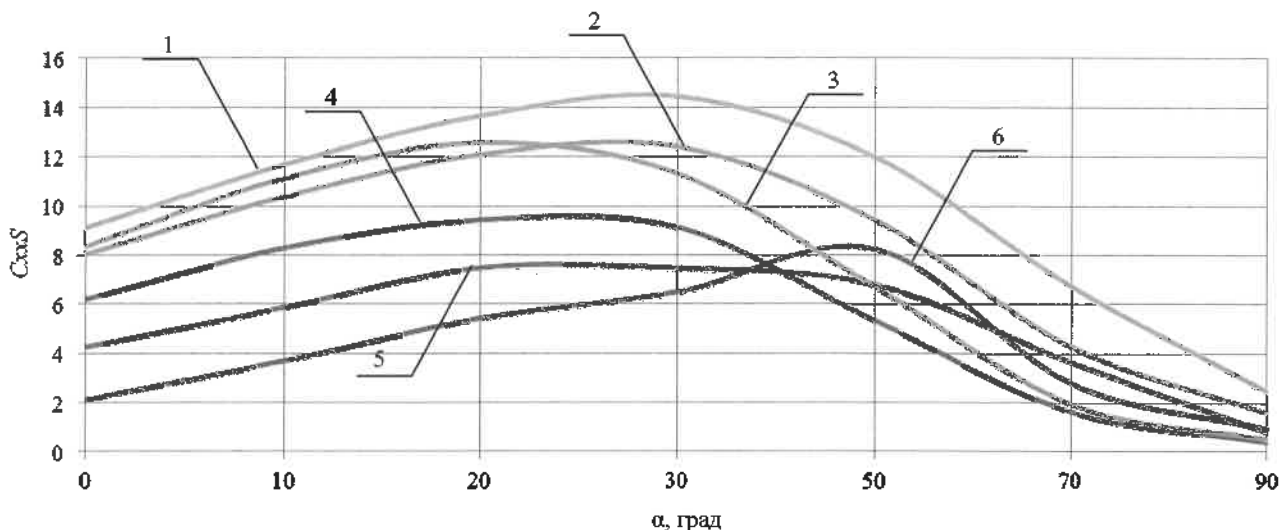


Рисунок 1 – Зависимость произведения коэффициента воздушного сопротивления и площади поперечного сечения вагонов от угла α между вектором скорости ветра и направлением возможного движения состава:

1 – хоппер; 2 – восьмиосный полувагон; 3 – восьмиосная цистерна; 4 – платформа; 5 – четырехосный полувагон; 6 – крытый вагон

На рисунке 2 приведены зависимости силы давления ветра на составы из 25 полувагонов и 25 хопперов при скоростях ветра от 1 до 30 м/с для разных температур воздуха, которые показывают, что тип вагона больше влияет на силу давления ветра, чем температура.

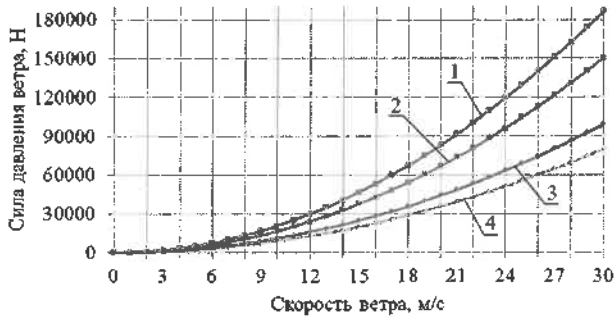


Рисунок 2 – Зависимость силы давления ветра, действующей на состав из 25 вагонов, от скорости ветра ($\alpha = 30^\circ$): 1 – хопперы при температуре воздуха -5°C ; 2 – хопперы при температуре $+18^\circ\text{C}$; 3 – полувагоны при температуре -5°C ; 4 – полувагоны при температуре $+18^\circ\text{C}$

На рисунке 3 приведены зависимости силы давления ветра от скорости ветра для различных типов вагонов при наиболее неблагоприятном направлении ветра и низкой температуре, которые показывают, что наибольшая сила соответствует вагону-хопперу, а наименьшие – полувагону и крытому вагону.

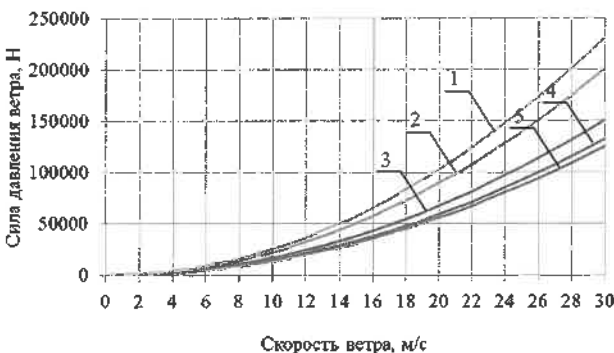


Рисунок 3 – Зависимость силы давления ветра от скорости ветра для разных типов вагонов: 1 – хоппер; 2 – восьмиосная цистерна; 3 – платформа; 4 – крытый вагон; 5 – четырехосный полувагон

Для оценки действия силы давления ветра на состав введем в рассмотрение эквивалентный уклон

$$i_3 = \frac{R_{\text{в}}}{Q_{\text{брутто}} g}, \quad (5)$$

при котором движущая сила, соответствующая действию ветра, равна проекции силы тяжести.

Зависимости эквивалентного уклона от скорости ветра для составов из 25 груженых и 25 порожних вагонов приведены на рисунке 4 (масса груженого и порожнего вагонов принята 90 и 22,5 т соответственно). Из этих зависимостей следует, что при скорости ветра, близкой к 15 м/с, вагоны, загруженные до полной грузоподъемности, испытывают такую же сдвигающую силу, которая наблюдается при установке тех же вагонов на путь с уклоном 2,5 ‰ в безветренную погоду. При расчете по существующим нормам такая ситуация требует постановки трех тормозных башмаков. С другой стороны, при скоростях ветра, близких к 15 м/с,

порожние вагоны-хопперы подвергаются таким же силам давления ветра, которые возникают при их установке на путь с уклоном 10 ‰, для которого использование тормозных башмаков запрещено, и удержание состава требуется осуществлять локомотивом, а эквивалентному уклону 2,5 ‰ соответствует скорость ветра 7,3 м/с.

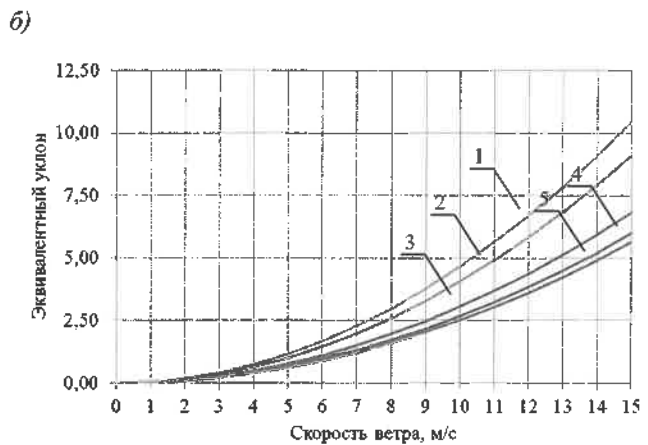
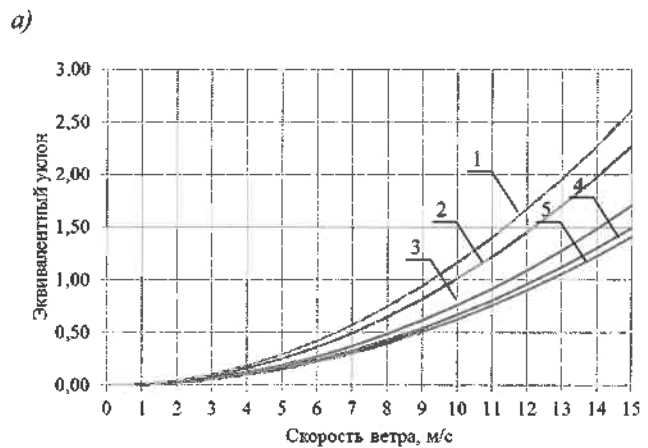


Рисунок 4 – Влияние скорости ветра на эквивалентный уклон для состава из груженых (а) и порожних (б) вагонов: 1 – хоппер; 2 – восьмиосная цистерна; 3 – платформа; 4 – крытый вагон; 5 – четырехосный полувагон

Оценим потребное количество K тормозных башмаков для предотвращения ухода порожних и груженых составов поездов от действия силы давления ветра.

При одинаковой массе всех вагонов

$$K = \frac{P_{\text{сдвиг}}}{P_{\text{уд}}}, \quad (6)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удерживающая сила, соответствующая одному башмаку,

$$P_{\text{уд}} \leq \frac{k Q_{\text{брутто}}}{n}, \quad (7)$$

на не имеющих сильных загрязнений путях и при отсутствии осадков, ухудшающих сцепление колеса с рельсом, $k = 2,5$, а в случае сильно замасленных поверхностей рельсов или при наличии атмосферных осадков, уменьшающих трение, $k = 1$ [17]; n – число осей вагона.

Округление осуществляется в большую сторону.

Сдвигающая сила, приходящаяся на 1 тормозной башмак при укладке под порожний вагон, составляет

$$P_{\text{сдвиг}} = \frac{2,5 \cdot 22,5 \cdot 10^3}{4} = 13795,3 \text{ Н};$$

при укладке под груженный вагон

$$P_{\text{двиг}} = \frac{2,5 \cdot 90 \cdot 10^3}{4} = 55181,3 \text{ Н.}$$

В таком случае предельные скорости ветра, при которых требуется постановка тормозных башмаков, определяются в соответствии с таблицами 2 и 3.

Таблица 2 – Значения предельных скоростей ветра, при которых требуется укладка дополнительных тормозных башмаков под порожний состав

Род вагона	Число <i>n</i> дополнительных тормозных башмаков			
	<i>n</i> = 1	<i>n</i> = 2	<i>n</i> = 3	<i>n</i> = 4
Четырехосный полувагон	10	14	17	20
Крытый	9	13	16	19
Восьмиосный полувагон	7	11	13	15
Платформа	9	12	15	18
Четырехосная цистерна	9	12	15	18
Восьмиосная цистерна	7	11	13	15
Хоппер	7	10	12	14

Таблица 3 – Значения предельных скоростей ветра, при которых требуется укладка дополнительных тормозных башмаков под грузеный состав

Род вагона	Число <i>n</i> дополнительных тормозных башмаков	
	<i>n</i> = 1	<i>n</i> = 2
Четырехосный полувагон	20	Более 25
Крытый	19	Более 25
Восьмиосный полувагон	15	22
Платформа	18	Более 25
Четырехосная цистерна	18	Более 25
Восьмиосная цистерна	15	22
Хоппер	14	20

Таким образом, выполненный анализ показывает, что при размещении на станционных путях порожних вагонов уже при скорости 7 м/с может потребоваться укладка дополнительных тормозных башмаков, в то время как существующими нормативами установка дополнительных тормозных башмаков предполагается при скорости ветра 15 м/с и более. Поэтому учет ветровой нагрузки при определении необходимого количества тормозных башмаков, потребного для удержания железнодорожных составов, целесообразно осуществлять с учетом более подробной классификации видов ветра, используемой в практике гидрометеорологии [11]. Такой учет, с одной стороны, позволит предотвратить уход вагонов, а с другой – уменьшить затраты средств на постановку резервных (лишних) тормозных башмаков.

Список литературы

1 Методические рекомендации по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками на станционных путях станций Белорусской железной дороги. – Минск, 2006.

Получено 02.11.2021

V. U. Dzemyanchuk. Analysis of the wind load influence on rolling stocks fixing by station brake shoes.

There is carried out the analysis of the dependence of the wind force acting a motionless rolling stock on the railway cars type, outside air temperature and wind direction. It is shown that the greatest force corresponds to a hopper-car, and the smallest – to a gondola car and a boxcar. There are obtained the equivalent slope values for the case when the acting force simulating the corresponding wind force is equal to the gravity force projection. It is shown that for cars loaded to load limit and placed on a flat track, one additional brake shoe is sufficient at a wind speed of up to 15 m/s. At the same time, if the empty cars are placed on such a track, brake shoes may be required starting from a wind speed of 7 m/s.

2 Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания / Д. П. Марков [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75, № 5. – С. 308–317.

3 Стояночные тормозные башмаки. Эксплуатационные испытания / Д. П. Марков [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76, № 3. – С. 153–158.

4 Горочные и стояночные тормозные башмаки: этапы внедрения / Д. П. Марков [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2018. – № 1 (53). – С. 33–35.

5 Козаченко, Д. М. Удосконалення норм закріплення рухомого складу на станційних коліях / Д. М. Козаченко, О. М. Пасічний, Є. В. Івашенко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2013. – № 34. – С. 119–125.

6 Ильин, А. М. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций / А. М. Ильин, О. Н. Числов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3. – С. 115–123.

7 Числов, О. Н. Развитие автоматизированной методики расчета норм закрепления подвижного состава на станционных железнодорожных путях / О. Н. Числов, А. М. Ильин // Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление : сб. науч. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д : РГУПС, 2018. – С. 247–251.

8 Козаченко, Д. М. Проблеми закріплення рухомого складу на коліях залізничних станцій / Д. М. Козаченко // Залізничний транспорт України. – 2013. – Вып. 3/4 (100/101). – С. 69–73.

9 Демьянчук, О. В. Зависимость силы, требуемой для удержания поезда от ухода, от расположения состава на станционных путях / О. В. Демьянчук // Сборник студенческих научных работ. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 26. – Ч. 1. – С. 119–123.

10 Смирнов, В. И. О равновесном угле наклона станционного профиля / В. И. Смирнов, С. А. Видюшенков // Известия Петербургского университета путей сообщения, 2020. – Вып. 4. – Т. 17. – С. 575–582.

11 ТКП 17.10-06-2008 (02120). Технический кодекс установившейся практики Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения. – Введ. 01.01.2009. – Минск : Минприроды, 2009. – 36 с.

12 Cooper, R. K. The Effect of Cross-Winds on Trains. / R. K. Cooper // Journal of Fluids Engineering. – 1981. – No. 103 (1). – P. 170–178.

13 Effect of wind speed variation on the dynamics of a high-speed train / Liu D. [et al.] // Vehicle System Dynamics. – 2019. – Vol. 57, No. 2. – С. 247–268.

14 Analysis on running safety of train on bridge with wind barriers subjected to cross wind / T. Zhang [et al.] // Wind Struct. – 2013. – Т. 17, no. 2. – С. 203–225.

15 Сахаров, П. А. Оценка влияния характеристик межвагонных связей в поезде на величину продольных сил при электрическом торможении / П. А. Сахаров, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – Вып. 12. – С. 171–181.

16 Луговцов, М. Н. Проектирование сортировочных горок / М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 170 с.

17 Экспериментальные исследования характеристик сцепления в контакте «колесо – рельс» при наличии промежуточной среды / А. И. Костокевич [и др.] // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков : НТУ «ХПИ». – 2011. – № 56. – С. 56–62.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

УДК 656.23.03

И. А. ЕЛОВОЙ, доктор экономических наук, Е. Н. ПОТЫЛКИН, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ТАРИФИКАЦИИ УСЛУГ ПО ПОДАЧЕ, УБОРКЕ ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ПУТИ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В условиях увеличения доли собственных вагонов в общем парке, а также обслуживания железнодорожных путей необщего пользования маневровыми локомотивами различной принадлежности возникает потребность учета фактического количества поданных или убранных вагонов с целью совершенствования порядка тарификации услуг при подаче, уборке вагонов с железнодорожных путей необщего пользования. Предложен новый подход к расчету тарифа за услугу по подаче-уборке, отличительной особенностью которого является начисление платы не по суткам, а по факту подачи или уборки вагонов с железнодорожных путей необщего пользования.

Введение. При транспортировке груза по Белорусской железной дороге с использованием железнодорожного транспорта взаимодействие перевозчика и грузовладельца происходит в основном на путях необщего пользования, где выполняется основная часть грузовых операций [4]. Согласно действующим в настоящее время тарифам за услуги по подаче, уборке вагонов на железнодорожные пути необщего пользования начисление платы производится:

- за подачу и уборку независимо от принадлежности пути необщего пользования за фактическое число поданных и убранных вагонов в сутки;

- пользование железнодорожным путем необщего пользования, принадлежащим перевозчику, в зависимости от развернутой длины данного пути без учета наличия или отсутствия подачи и/или уборки вагонов [3].

Как показала практика, действующий порядок тарификации услуги по подаче и уборке вагонов утрачивает свою актуальность по следующим причинам:

- 1) в основу тарифов на оказание рассматриваемой услуги положены эксплуатационные расходы, показатели работы и иные статистические данные по состоянию на 2010 год, что не отражает произошедших за последнее десятилетие изменений не только параметров экономического характера, но и иных значимых факторов, в том числе темпов развития автоматизации и информатизации;

- 2) используемый порядок тарификации характеризуется рядом недостатков, наиболее существенным из которых является сложность учета посуточного количества поданных (убранных) вагонов и фактических затрат перевозчика, связанных с подачей и уборкой [1];

- 3) существует проблема, связанная с определением величины платы за подачу и уборку вагонов на большое расстояние, поскольку размер платы при длине рейса подачи и уборки, например, равной 28 км, больше, чем при 68 км, что не логично.

В связи с этим, а также с изменениями в налоговом законодательстве (например, существенное увеличение налога на землю) необходима реализация мероприятий по совершенствованию процессного порядка тарификации рассматриваемых услуг:

- пересмотр методики установления тарифов на подачу и уборку вагонов на пути необщего пользования локомотивом перевозчика, плат за пользование путем необщего пользования, принадлежащим перевозчику;

- упрощение порядка тарификации с возможностью последующей автоматизации процесса;

- актуализация тарифов с учетом фактического уровня и структуры эксплуатационных расходов, а также технических и эксплуатационных параметров, характеризующих работу путей необщего пользования в современных условиях.

Поэтому в настоящее время целесообразно решение задачи по разработке подхода к расчету тарифа за услугу по подаче-уборке вагонов, с учетом указанных положений.

Основная часть. Среди основных позиций, которые необходимо учесть при разработке нового подхода к расчету тарифа, следует выделить:

- возможность начисления платы за подачу и уборку вагонов не по суткам, а по факту подачи или уборки вагонов;

- использование в качестве основных факторов, влияющих на размер платы, расстояния подачи (уборки) и фактическое количество вагонов в составе подачи (уборки).

Предлагаемые мероприятия предусматривают применение процессной системы тарификации, где выделены две составляющие:

- 1) плата за операцию перемещения вагонов по тарифу, установленному за 1 вагоно-километр;

- 2) плата за осуществление технологических операций по подготовке вагонов к подаче, расстановке или сборке вагонов у фронтов погрузки, выгрузки по тарифу, установленному за 1 вагон.

Вышеприведенный подход позволяет учесть интересы грузовладельцев, имеющих собственные локомотивы, поскольку появляется возможность отдельно определять непосредственно как перемещение вагонов в составе подачи (уборки) на железнодорожный путь необщего пользования, так и маневровую и подготовительную работу у фронтов погрузки-выгрузки.

Действующие тарифы за подачу или уборку вагонов на пути необщего пользования $P_{пу}$, руб./подачу, изме-

няются в зависимости от числа поданных и убранных вагонов за сутки $m_{сут}$, а также расстояния подачи и уборки вагонов в оба конца. Новый процессный подход к системе тарификации услуг по подаче, уборке вагонов на железнодорожный путь необщего пользования предполагает выделение составляющих:

- непосредственное перемещение вагонов;
- выполнение подготовительных и маневровых операций, связанных с подачей или уборкой вагонов.

Данная модель имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \Pi_{n(y)} = & T_{пер} m_{n(y)} l_{n(y)} k_m^{пер} k_i k_0 + \\ & + T_{ман} m_{n(y)} k_m^{ман}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $T_{пер}$ – тариф на перемещение вагонов на путь необщего пользования или выставочный путь, $T_{пер} = 1,11$ руб./ваг км; $T_{ман}$ – тариф на выполнение подготовительных и маневровых операций, связанных с подачей или уборкой вагонов, $T_{ман} = 11,92$ руб./ваг.; $m_{n(y)}$ – число вагонов, одновременно подаваемых на путь необщего пользования, выставочный путь или одновременно убираемых с таких путей; $l_{n(y)}$ – расстояние подачи или уборки вагонов в один конец, км; $k_m^{пер}$ – корректирующий коэффициент, применяемый к тарифу на перемещение вагонов на путь необщего пользования в зависимости от числа вагонов в подаче (уборке); k_i – корректирующий коэффициент, применяемый к тарифу на перемещение вагонов на путь необщего пользования в зависимости от расстояния подачи (уборки) в один конец; k_0 – коэффициент исходного уравнения [2]; $k_m^{ман}$ – корректирующий коэффициент, применяемый к тарифу на выполнение подготовительных и маневровых операций, связанных с подачей или уборкой вагонов на путь необщего пользования, в зависимости от числа вагонов в подаче (уборке).

Имея значения действующих тарифов, приведенных к одной подаче, следует установить $k_m^{ман} = f_1(m_{n(y)})$, $k_m^{пер} = f_2(m_{n(y)})$, $k_i = f_3(l_{n(y)})$ и k_0 , которые могут быть получены с помощью экспериментально-статистических методов составления математических моделей.

После установления функций $f_1(m_{n(y)})$, $f_2(m_{n(y)})$, согласно которым изменяются соответственно $k_m^{ман}$, $k_m^{пер}$ (рисунки 1 и 2), получен график, отражающий динамику k_i при изменении $l_{n(y)}$, приведенный на рисунке 3.

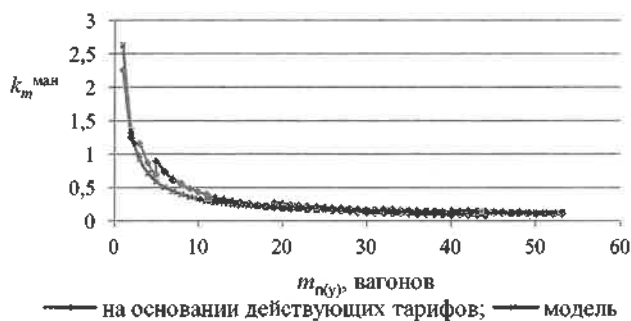


Рисунок 1 – График зависимости $k_m^{ман}$ от $m_{n(y)}$

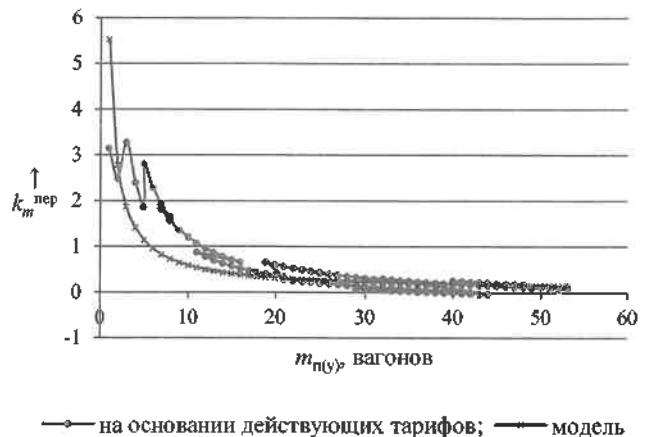


Рисунок 2 – График зависимости $k_m^{пер}$ от $m_{n(y)}$



Рисунок 3 – График зависимости k_i от $l_{n(y)}$

Как видно из рисунка 3, при подаче (уборке) вагонов на расстояние свыше 15 км значение величины k_i снижается. Поэтому предлагается описать изменение коэффициента k_i для двух участков: когда $l_{n(y)}$ изменяется в пределах от 0 до 15 км включительно, где k_i подчиняется линейной зависимости; если $l_{n(y)}$ изменяется в пределах от 15 до 38 км, то k_i подчиняется параболической зависимости. Для рассмотренных вариантов и введенных ограничений построены указанные зависимости k_i от расстояния подачи или уборки в один конец (рисунки 4 и 5).



Рисунок 4 – График зависимости k_i от $l_{n(y)}$ на участке от 0 до 15 км включительно

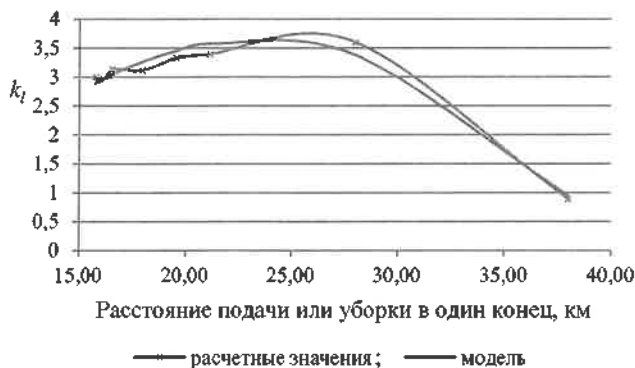


Рисунок 5 – График зависимости k_i от $l_{п(у)}$ на участке от 15 до 38 км

В результате исследования получена процессная модель системы тарификации услуг по подаче (уборке) вагонов на железнодорожный путь необщего пользования:

– при $l_{п(у)} \in (0; 15 \text{ км}]$,

$$\begin{aligned} \Pi_{п(у)} = & T_{пер} m_{п(у)} l_{п(у)} \cdot \left(0,046 + \frac{5,483}{m_{п(у)}} \right) \times \\ & \times (0,4078 l_{п(у)} - 0,3465) \cdot 1,143 + \\ & + T_{ман} m_{п(у)} \left(0,079 + \frac{2,553}{m_{п(у)}} \right), \text{ руб./подачу}; \end{aligned} \quad (2)$$

– при $l_{п(у)} \in (15 \text{ км}; 38 \text{ км}]$

$$\begin{aligned} \Pi_{п(у)} = & T_{пер} m_{п(у)} l_{п(у)} \left(0,046 + \frac{5,483}{m_{п(у)}} \right) \times \\ & \times (-0,0127 l_{п(у)}^2 + 0,5952 l_{п(у)} - 3,3291) \cdot 0,996 + \\ & + T_{ман} m_{п(у)} \left(0,079 + \frac{2,553}{m_{п(у)}} \right), \text{ руб./подачу}. \end{aligned} \quad (3)$$

Заключение. Отличительной особенностью полученной модели является выделение операций перемещения вагонов и выполнения подготовительных и маневровых операций, связанных с подачей или уборкой вагонов. Кроме того, появляется возможность учета интересов клиентов железной дороги в современных условиях работы, которые характеризуются увеличением доли собственных вагонов в общем парке, обслужи-

Получено 04.06.2021

I. A. Elovoy, E. N. Potylkin. Development of a model of tariffication of services for pulling and spotting wagons on non-public railways.

In the context of an increase in the number of own cars in the general fleet of non-public railways of shunting locomotives, the criteria arose to take into account the actual number of pulled or spotted wagons and, consequently, improve the ways of charging services for the pulling, spotting of wagons from non-public railways. A new approach to the calculation of the tariff for the service of pulling, spotting is proposed, a distinctive feature of which is the charging of fees not by day, but by the fact of pulling or spotting of wagons from non-public railways.

ванием железнодорожных путей необщего пользования маневровыми локомотивами различной принадлежности. В результате такого подхода повышается конкурентоспособность Белорусской железной дороги на рынке транспортных услуг.

Обобщая представленный материал, можно сделать следующие выводы.

1 Порядок тарификации услуги по подаче и уборке вагонов, действующий в настоящее время, утратил свою актуальность.

2 В условиях обслуживания железнодорожных путей необщего пользования маневровыми локомотивами различной принадлежности возникла потребность учета фактического количества поданных (убранных) вагонов.

3 Предложен новый процессный подход к тарификации, где четко выделены операции перемещения и подготовки, расстановки-сборки вагонов у фронтов погрузки-выгрузки.

4 Установлены ограничения, которые позволяют предлагаемой модели получать значения тарифов, наиболее приближенные к реальной действительности.

Список литературы

1 **Еловой, И. А.** Основные подходы к тарификации услуги по подаче и уборке вагонов локомотивом перевозчика на железнодорожные пути необщего пользования / И. А. Еловой, Л. В. Осипенко, Е. Н. Потылкин // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 150–154.

2 **Кафаров, В. В.** Методы кибернетики в химии и химической технологии / В. В. Кафаров. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 464 с.

3 Инструкция о порядке установления и применения тарифов на перевозку грузов по территории Республики Беларусь железнодорожным транспортом общего пользования, кроме перевозок грузов, следующих транзитом по территории стран – участниц Единого экономического пространства, а также работы (услуги), связанные с организацией и осуществлением этой перевозки [Электронный ресурс] : офиц. сайт Белорусской железной дороги. – Минск, 2021. – Режим доступа : https://www.rw.by/uploads/userfiles/files/postanovlenie_mart_4_21012021.pdf. – Дата доступа : 30.05.2021.

4 **Потылкин, Е. Н.** Анализ основных параметров железнодорожных путей необщего пользования в Республике Беларусь / Е. Н. Потылкин, Л. В. Осипенко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2019. – С. 107–113.

УДК 656.212.5:711.7

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

ПРИНЦИПЫ АДАПТИВНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГЕНЕРАЛЬНЫХ СХЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ ПЛАНЕ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

Железнодорожный узел является составной объектной и предметной частью в градостроительном плане населенного пункта. Адаптация развития железнодорожного узла определяется соответствием его генеральной схемы и градостроительного плана населенного пункта (региона) с учетом социально-экономических перспективных изменений. Рассмотрены системные требования к формированию структуры железнодорожного узла, требований развития отдельных объектов узла и их взаимосвязи для обеспечения комплексного решения задач транспортного обслуживания хозяйствующих субъектов населенного пункта (региона) и граждан. Установлены специфические условия транспортной деятельности в железнодорожных узлах и их влияние на требования при разработке генеральных схем развития. Предложены принципы адаптивности путевого развития железнодорожных узлов и размещения объектов и устройств обслуживания транспортного потока при изменении функциональных зон населенного пункта (региона), их расширении или создания новых зон. Представлены системные требования, которые отражают принципы адаптивного развития генеральных схем узлов и позволяют установить объективную оценку их согласованности градостроительному плану.

В путевой инфраструктуре железнодорожного транспорта Республики Беларусь (РБ) сформированы 17 железнодорожных узлов, которые обеспечивают транспортную деятельность как страны, так и отдельных регионов. Функциональное назначение железнодорожных узлов и соответственно их путевое и техническое развитие зависят от объема решаемых задач транспортной деятельности [1, 2]:

- перераспределение транзитных грузопотоков и пассажиропотоков с одних транспортных направлений и видов транспорта на другие;
- транспортное обслуживание хозяйствующих субъектов и граждан населенных пунктов (региона).

Железнодорожные узлы несут различную социально-экономическую нагрузку в зависимости от потребностей и экономического развития населенных пунктов региона и значимости транспортных коммуникаций: столичная агломерация; областные центры; узлы, выступающие транспортно-распределительными развязками поездопотока в сети железной дороги (таблица 1).

Два железнодорожных узла РБ по своему функциональному назначению следует рассматривать в качестве перегрузочных между железнодорожными линиями различной колеи (1520 и 1453 мм): Брестский и Гродненский.

Железнодорожные узлы обеспечивают в основном взаимодействие с автомобильным транспортом, осуществляющим завоз и вывоз груза на станции, открытые для выполнения грузовых операций.

Взаимодействие в железнодорожных узлах с иными видами транспорта незначительно. С водным транспортом имеется потенциальное взаимодействие по станциям, обслуживающим речные порты: Гомельский, Брестский, Гродненский узлы и другие. С авиационным транспортом возможно взаимодействие в Минском (аэропорт Минск-2) и Оршанском узлах (аэропорт ТЛЦ Бремино).

Инфраструктура железнодорожных узлов РБ складывалась на протяжении длительного времени в соответствии с развитием промышленности, сельского хозяйства и торговли. В настоящее время путевая инфраструктура железнодорожных узлов сформирована, и дальнейшее развитие связано с реализацией отдельных социально-экономических проектов (например, строительство третьего главного пути для организации городского движения в Минском железнодорожном узле, реконструкция контейнерного перегрузочного пункта на станции Брест-Северный для обеспечения продвижения контейнерных поездов по маршруту Запад-Восток и ряду других).

Анализ структуры и объема операций по видам транспортной деятельности показывает, что большинство узлов имеют выраженный характер распределительной работы по переработке вагонопотока в местном и транзитном сообщениях. В железнодорожных узлах Витебск, Орша, Гомель преобладает распределение вагонопотока в международном сообщении, в узлах Минск и Барановичи – распределение во внутривеспубликанском сообщении. Значительная часть узлов (Могилев, Осиповичи, Лунинец и др.) обеспечивают распределение вагонопотока в местном сообщении.

Территориально большинство железнодорожных узлов совпадает с границами городов. Однако расширение территории населенных пунктов за счет строительства жилых и промышленных зон, создания крупных торговых центров, расположенных на периферии города, и других факторов привело к тому, что очертание населенных пунктов стало выходить за пределы границ железнодорожного узла, что приводит к загрузке уличной дорожной сети автодорожным транспортом, потребностью в развитии путепроводных развязок и т. п.

Таким образом, при разработке градостроительных планов необходимо обеспечить соответствие генеральных схем развития железнодорожных узлов и объектов (зон) населенного пункта (населенных пунктов региона).

Таблица 1 – Технико-эксплуатационная характеристика железнодорожных узлов

Железнодорожный узел	Населенный пункт (регион)	Тип узла	Количество станций, опорная техническая станция	Количество перегонов в узле (а) и на подходах (б)	Главные пути на перегонах	Средства сигнализации и связи при движении поездов	Электрификация перегонов
Минский	г. Минск – столица РБ, Минский район	Крестообразный	17 станций; Минск-Сортировочный	а – 26 перегонов; б – 4 перегона	8 – однопутные; 19 – двухпутные; 3 – трехпутные	2 – ПАБ; 1 – микропроцессорная АБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	Электрифицированы
Оршанский	г. Орша и Оршанский район	Кольцеобразный	6 станций; Орша-Центральная, Орша-Западная	а – 15 перегонов; б – 6 перегонов	13 – однопутные; 7 – двухпутные; 1 – трехпутный	1 – ПАБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	9 перегонов
Молодечненский	г. Молодечно и Молодечненский район	Крестообразный	2 станции; Молодечно	а – 1 перегона; б – 4 перегона	1 – однопутный; 4 – двухпутные	1 – ПАБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	2 перегона
Барановичский	г. Барановичи, Барановичский район	Кольцеобразный	6 станций; Барановичи-Центральные	а – 12 перегонов; б – 5 перегонов	10 – однопутные; 7 – двухпутные	3 – ПАБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	7 перегонов
Лидский	г. Лида, Лидский район	Узел с одной станцией	1 станция; Лида	б – 4 перегона	4 – однопутные	2 – ПАБ; 2 – двухсторонняя АБ	Нет
Гродненский	г. Гродно – областной центр, Гродненский район	С последовательным расположением станций, тупиковый по колею 1520	5 станций; Гродно	а – 4 перегона; б – 3 перегона	7 – однопутные колей 1520; 3 – однопутные колей 1435	3 – ПАБ; 4 – двухсторонняя АБ	Нет
Лунинецкий	г. Лунинец, Лунинецкий район	Узел с одной станцией	1 станция; Лунинец	б – 4 перегона	2 – однопутные; 2 – двухпутные	Односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	Нет
Брестский	г. Брест – областной центр, Брестский и Жабинский районы	Комбинированный: тупиковый (по колею); кольцевой	5 станций; Брест-Восточный	а – 23 перегона; б – 5 перегонов	26 – однопутные колей 1520; 2 – двухпутные колей 1520; 14 – однопутные колей 1435	3 – ПАБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	6 перегонов
Гомельский	г. Гомель – областной центр, Гомельский район	Кольцевой с диаметром и обходом	10 станций; Гомель	а – 18 перегонов; б – 5 перегонов	17 – однопутные; 6 – двухпутные	2 – ПАБ; 2 – микропроцессорная АБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	9 перегонов
Жлобинский	г. Жлобин, Жлобинский район	Радиальный	5 станций; Жлобин	а – 7 перегонов; б – 4 перегона	5 – однопутные; 6 – двухпутные	1 – ПАБ; микропроцессорная односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	4 перегона
Калинковичский	г. Калинковичи, Калинковичский район	Радиальный	5 станций; Калинковичи	а – 7 перегонов; б – 4 перегона	7 – однопутные; 3 – двухпутные	Микропроцессорная односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	Нет
Могилевский	г. Брест – областной центр, Брестский район	Треугольный	5 станций; Могилев-2	а – 5 перегонов; б – 4 перегона	7 – однопутные; 2 – двухпутные	3 – ПАБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	Нет
Осиповичский	г. Осиповичи, Осиповичский район	Радиальный	5 станций; Осиповичи-1	а – 6 перегонов; б – 5 перегонов	8 – однопутные; 3 – двухпутные	6 – ПАБ; 1 – микропроцессорная двухсторонняя АБ; односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	4 перегона
Слуцкий	г. Слуцк, г. Солигорск, Слуцкий и Солигорский районы	Комбинированный: тупиковый, треугольный	5 станций; Слуцк, Калий-III	а – 8 перегонов; б – 2 перегона	10 – однопутные	9 – ПАБ; двухсторонняя АБ	Нет
Витебский	г. Витебск – областной центр, Витебский район	Радиальный	10 станций; Витебск	а – 11 перегонов; б – 4 перегона	13 – однопутные; 2 – двухпутные	Односторонняя и двухсторонняя АБ; ДЦ	Нет
Полоцкий	г. Полоцк, г. Новополоцк, Полоцкий район	Крестообразный	4 станции; Полоцк, Новополоцк	а – 9 перегонов; б – 4 перегона	12 – однопутные; 1 – двухпутный	Двухсторонняя АБ; ДЦ	Нет

Исходя из функционального назначения объекты инфраструктуры железнодорожных узлов должны обеспечивать [3–5]:

- наличие достаточной пропускной, перерабатывающей и погрузочно-выгрузочной способности для освоения потребных размеров транспортной работы узла на расчётный период с требуемой эффективностью;

- обслуживание граждан населенных пунктов (регионов), прибывающих и отправляющихся со станций

(остановочных пунктов) железнодорожного узла, а также транзитных пассажиров, осуществляющих пересадку с одного направления, вида железнодорожного сообщения или вида транспорта на другие;

- доставку вагонов и грузов в вагонах железнодорожным транспортом общего пользования непосредственно к местам общего и необщего пользования железнодорожных станций для выполнения грузовых операций, а также вывоз вагонов и груза в вагонах с этих станций;

– передачу груза с железнодорожного транспорта общего пользования на городской транспорт (или обратно) для доставки потребителям;

– передачу груза, следующего транзитом с одного из видов транспорта на железнодорожный транспорт общего пользования и обратно;

– прием, отправление и переработку вагонопотока на железнодорожных станциях узла, техническое обслуживание подвижного состава, организацию движения грузовых и пассажирских поездов;

– обеспечение безопасного обслуживания граждан, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств.

В течение жизненного цикла социально-экономические функции как железнодорожного узла, так и населенного пункта могут существенно изменяться и трансформироваться. В связи с этим на этапах разработки или корректировки генеральных схем узлов необходимо руководствоваться принципами системного подхода и обеспечивать адаптивность проектных решений к изменениям внешней среды.

При такой постановке задачи под адаптивностью железнодорожных узлов будем понимать способность развиваться в зависимости от существующих и перспективных функций железнодорожных узлов, уровней эксплуатационной нагрузки и социально-экономических потребностей населенного пункта.

Адаптивность как важнейшее системное свойство железнодорожного узла должна обеспечиваться путем реализации следующих принципов.

Адаптивность инфраструктуры железнодорожного узла определяется возможностью ее перспективного развития [6–8] в зависимости:

– от территориального размещения в населенном пункте (регионе) инфраструктуры хозяйствующих субъектов, заявляющих железнодорожные перевозки;

– примыкания мест необщего пользования к станциям железнодорожного транспорта общего пользования;

– территориального размещения зон потенциального транспортного обслуживания населения: проживания, промышленных, культурно-спортивных, торговых, медицинских и т. п.;

– устойчивости и динамики изменения объемов и структуры грузопотока, пассажиропотока;

– направлений следования поездопотока и вагонопотока через железнодорожный узел и распределения между примыкающими к узлу направлениями;

– характера взаимодействия с железнодорожным транспортом необщего пользования, городским транспортом, иными видами транспорта, используемыми для обслуживания населенного пункта (региона);

– выполнения требований безопасности движения, экологии, благоустройства населенного пункта (региона);

– других условий социально-экономического состояния населенного пункта (региона) и функционирования железнодорожного транспорта.

Техническое развитие инфраструктуры железнодорожных узлов необходимо осуществлять на основе генеральных схем развития и технико-экономических расчетов (ТЭО) исходя из принципов оптимального развития основных объектов транспортного комплекса,

обслуживающих пассажирские перевозки, транзитные и местные грузопотоки узла.

Адаптивность проектных решений по развитию железнодорожного узла в генеральной схеме градостроительства *к различным уровням эксплуатационной нагрузки* необходимо реализовывать путем обеспечения их соответствия с потребной пропускной и перерабатывающей способностью на расчетные сроки с учетом их функционального назначения в транспортном узле, значимости обслуживания населенного пункта (региона) и оптимальной этапности дальнейшего их развития в течение расчетного периода. При разработке вариантов развития учитывается назначение и характер сложившейся и проектируемой застройки, а также перспективы (возможности) нового строительства и усиления технического оснащения прилегающих участков железнодорожного транспорта общего пользования [7, 8].

Адаптивность железнодорожного узла *к социально-экономическому развитию населенного пункта* реализуется путем согласования с планами развития хозяйствующих субъектов, государственными, региональными и иными планами социально-экономического развития, предусматривающими использование железнодорожного транспорта для перевозки грузов и пассажиров. Генеральные схемы и ТЭО развития железнодорожных узлов следует разрабатывать комплексно в увязке с проектами планировки населенных пунктов, промышленных районов, развития всех видов магистрального и городского транспорта [9].

Принципы адаптивности железнодорожных узлов реализуются путем разработки и последующей корректировки (при необходимости) генеральных схем.

Генеральная схема должна определять взаимное расположение станций и подходов главных и соединительных путей, обходов.

Развитие инфраструктуры железнодорожного узла должно обеспечивать гибкость использования пропускной способности внутриузловых связей путем сооружения соединительных внутриузловых линий и путепроводных развязок. В узлах, обслуживающих крупные города РБ, в перспективе следует предусматривать или развивать существующие обходные (кольцевые) железнодорожные линии для пропуска транзитных поездов, в том числе с опасными грузами.

Развитие инфраструктуры железнодорожного узла должно предусматриваться при реализации проектов примыкания новых линий, мест необщего пользования, в том числе транспортно-логистических центров, сооружения новых объектов инфраструктуры в узле, в том числе железнодорожных станций, транспортно-пересадочных центров и т. п.

При подготовке вариантов развития инфраструктуры железнодорожного узла устанавливается сложившаяся схема узла, его классификационные признаки, особенности взаимного размещения железнодорожных станций и объектов инфраструктуры в узле, технологические связи и параметры обслуживания и взаимодействия.

При развитии существующего узла его перспективная схема и объекты, требующие развития, должны быть установлены проектом в зависимости от размеров, характера и направления грузовых, пассажирских пото-

ков, возможных их изменений на перспективу; технологичности организации перевозочного процесса; рельефа и плана местности; размещения промышленных и жилых районов и требований норм проектирования, установленных в НПА.

В проектных вариантах развития железнодорожного узла необходимо учитывать принцип взаимного соотношения эффективности транспортной деятельности и функционирования населенного пункта (населенных пунктов региона):

- обеспечение удобной связи объектов железнодорожного узла с обслуживаемыми объектами населенного пункта (региона), в том числе достижение наименьших расстояний между взаимодействующими объектами;

- расположение объектов железнодорожного узла таким образом, чтобы свести к минимуму помехи, вызываемые ими в застройке населенных пунктов, в развитии городских коммуникаций, а также коммуникаций, связывающих населенный пункт с прилегающими районами;

- обеспечение состояния объектов железнодорожного узла в соответствии с потребностями благоустройства населенного пункта, архитектурными, санитарными, экологическими и иными нормами, установленными в национальных НПА [10];

- обеспечение перспективного комплексного развития объектов всех видов транспорта в увязке с размещением и развитием населенных пунктов и их объектов (гражданских, промышленных и иных);

- осуществление мероприятий по охране окружающей воздушной, водной и наземной среды с целью сохранения природных систем, сохранения животного и растительного мира;

- осуществление мероприятий по сохранению исторических, этнографических, архитектурных и других памятников.

При разработке проектов развития железнодорожного узла или его отдельных объектов инфраструктуры необходимо соблюдать требования законодательства Республики Беларусь о градостроительной деятельности [11]. При проектировании и развитии объектов инфраструктуры железнодорожного узла, отдельных сооружений и устройств должны соблюдаться нормы межгосударственного стандарта «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений» (ГОСТ 9238–2013) [12].

Проектная документация разрабатывается на основании задания на проектирование, результатов инженерных изысканий и исходно-разрешительных документов [13]. Состав и содержание проектной документации определяются в соответствии с НПА, требованиями межгосударственных и национальных стандартов, устанавливающих общие правила выполнения и комплектования графической и текстовой документации объектов узла, и другие стандарты, входящие в систему проектной документации.

В задании на проектирование устанавливаются пропускная и провозная способности перегонов, пропускная и перерабатывающая способности железнодорожных станций и узла в целом на расчетный период [13, 14]. При этапном развитии объектов узла устанавливается последовательное достижение проектных парамет-

ров в соответствии с прогнозным изменением грузопотока и пассажиропотока.

Потребная пропускная способность железнодорожных станций и перегонов определяется с учетом параметров безопасности движения поездов и надежности эксплуатации объектов инфраструктуры [15, 16], а также коэффициента использования пропускной способности вновь строящихся и реконструируемых объектов железнодорожной инфраструктуры.

В задании на проектирование устанавливаются основные целевые параметры, которые необходимо обеспечить на реконструируемой железнодорожной станции, перегоне (полезная длина приемо-отправочных путей, вид тяги, типы подвижного состава, типы устройств связи и железнодорожной автоматики, тип верхнего строения пути и т. п.).

Задание на реконструкцию существующих и строительство новых объектов узла должно носить инновационный характер. Например, технико-экономическим расчетом может быть оценена целесообразность проектирования объектов железнодорожной инфраструктуры узла с учетом перспективной нагрузки на ось грузового вагона при реконструкции земляного полотна и искусственных сооружений на существующих железнодорожных линиях. Строительство специализированных железнодорожных линий для обращения подвижного состава с иными осевыми и погонными нагрузками необходимо осуществлять по специальным техническим условиям в соответствии с НПА.

В генеральном плане населенного пункта (региона) необходимо предусматривать рациональную очередность развития объектов инфраструктуры железнодорожного узла. При этом в плане целесообразно определять перспективы развития узла как на расчетный год, так и за пределами расчетного срока, включая принципиальные решения по территориальному развитию, функциональному зонированию, планировочной структуре, инженерно-транспортной инфраструктуре, рациональному использованию природных ресурсов и охране окружающей среды.

Расчетный срок развития железнодорожного узла в составе генерального плана населенного пункта (региона) должен быть до 20 лет, а градостроительный прогноз размещения и развития объектов железнодорожного узла до 30–40 лет.

При развитии железнодорожного узла число, размещение и использование отдельных пунктов с потребным путевым развитием устанавливаются по результатам ТЭО на расчетные сроки с учетом совокупных затрат всех транспортных организаций и потребителей услуг, обеспечения дальнейшего этапного развития узла и примыкающих линий по мере изменения прогнозных объемов перевозок, а также с учетом пропускной способности объектов узла [17].

Проектные решения по развитию железнодорожных станций в узле следует проводить на основе принципа соответствия технических параметров и технологий: соотношения скоростей, величин станционных и межпоездных интервалов, структуры грузового и пассажирского движения, коэффициентов съема пропускной способности, требуемого уровня надежности поездной работы и других условий организации движения поездов. В ТЭО проекта развития железнодорожного узла необ-

ходимо обеспечить пропускную способность по перегонным узлам и предузловым перегонам не менее прогнозного потребного числа пар поездов расчетной массы при параллельном графике и типе поездных локомотивов, указанном в задании на проектирование.

При реконструкции однопутных перегонов узла в двухпутные, а также из двухпутных в многопутные необходимо учитывать требования по специализации главных путей перегонов для отдельных категорий грузовых и пассажирских поездов (в том числе городских для обслуживания городов-спутников региона).

При реконструкции линий железнодорожного узла, на которых предусматриваются специальные технологии пропуска грузовых (контейнерных, контрейлерных, с опасными грузами и т. п.) и пассажирских поездов (скоростных, городских и т. п.), требующих развития объектов инфраструктуры и организации взаимодействия с другими видами транспорта, необходимо проводить обоснование технико-экономическими расчетами.

Решения по изменению в градостроительный план, затрагивающие транспортную инфраструктуру и оказание услуг железнодорожным транспортом, следует проводить на основе оценки перевозочного потенциала железнодорожного узла с технико-экономическим обоснованием. Изменения, внесенные в градостроительный план, не должны ухудшать оказание транспортных услуг железнодорожным транспортом и увеличивать затраты организаций железнодорожного транспорта по сравнению с текущими условиями организации перевозок грузов и пассажиров.

В проектных решениях развития объектов инфраструктуры железнодорожного узла должны выполняться требования технических регламентов в области безопасности железнодорожного транспорта, безопасности зданий и сооружений, пожарной безопасности, транспортной безопасности, законодательств Республики Беларусь в области охраны окружающей среды и санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Развитие объектов инфраструктуры железнодорожного узла предполагает применение ресурсосберегающих и инновационных решений, технических средств и технологий, которые адаптированы к местным условиям, а также позволяют экономить затраты на электроэнергию, топливо, материалы с обеспечением требований НПА [18].

Эффективность разработки генеральных схем развития железнодорожных узлов обеспечивается применением научно обоснованных подходов и принципов, которые в комплексе с перспективными градостроительными планами развития населенных пунктов (регионов), промышленных районов, иных видов транспорта как составных частей единой транспортной системы являются частью генеральных схем развития транспортных узлов. Базовыми принципами при разработке генеральных схем железнодорожных узлов являются: общая эффективность транспортной деятельности; комплексная оптимизация; концентрация и децентрализация транспортного обслуживания; специализации объектов; долгосрочная перспектива развития; сохранение равновесия и пропорциональности развития элементов и подсистем узла; эволюционный характер развития объектов населенного пункта и железнодорожного узла; конструктивной и технологической унификации и дру-

гие. Применение системных принципов развития железнодорожного узла обеспечивает высокое качество проектных решений.

Список литературы

- 1 Основы построения транспортных узлов. / С. В. Земблинов [и др.] ; под общ. ред. С. В. Земблинова. – М. : Трансжелдориздат, 1959. – 448 с.
- 2 Транспортные узлы / Ю. К. Скалов [и др.] ; под ред. К. Ю. Скалова. – М. : Транспорт, 1966. – 508 с.
- 3 Проектирование железнодорожных станций и узлов: справ. и метод. руководство / А. М. Козлов [и др.] ; под ред. А. М. Козлова и К. Г. Гусевой. – М. : Транспорт, 1981. – 592 с.
- 4 Железнодорожные станции и узлы : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. Г. Шубко [и др.] ; под ред. В. Г. Шубко, Н. В. Правдина. – М. : УМК МПС России, 2002. – 368 с.
- 5 Правдин, Н.В. Проектирование железнодорожных станций и узлов. / Н. В. Правдин, Т. С. Банек, В. Я. Негрей. – Минск : Выш. шк., 1984. – 195 с.
- 6 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) : учеб. / Н. В. Правдин [и др.] ; под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. – 1086 с.
- 7 СП 42.13330.2011. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. – Введ. 20.05.2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200084712>. – Дата доступа : 01.10.2021.
- 8 СП 237.1326000.2015 Свод правил. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Общие требования : утв. приказом М-ва транспорта РФ 06.07.2015 г. № 208. – Введ. 01.07.2015. – М., 2015. – 57 с.
- 9 Сафронов, Э. А. Транспортные системы городов и регионов. – М. : АСВ, 2005. – 272 с.
- 10 СНиП «Требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду» : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 15 мая 2014 г. № 35. – Минск. – 42 с.
- 11 Технический регламент Республики Беларусь (ТР 2009/013/ВУ) «Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность» : утв. постановлением СМ Респ. Беларусь 31.12.2009 № 1748. – Минск : Госстандарт, 2015. – 25 с.
- 12 ГОСТ 9238.–2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений. – Введ. 01.07.2014. – М. : Стандартинформ, 2014. – 172 с.
- 13 Положение о порядке подготовки технических условий на проектирование и строительство объектов Белорусской железной дороги и проведения согласований проектной документации : утв. приказом главного инженера Белорусской железной дороги от 11 ноября 2011 г. № 1177НЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.rw.by>177nz>. – Дата доступа : 01.10.2021.
- 14 Расчет пропускной способности железных дорог / Е. В. Архангельский [и др.] ; под ред. Е. В. Архангельского. – М. : Транспорт, 1977. – 310 с.
- 15 Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 003/2011) «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» : утв. решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710. – Минск : Госстандарт, БелГИСС, 2012. – 34 с.
- 16 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги : утв. приказом Начальника Белорусской железной дороги от 4 декабря 2002 г. № 292Н [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://rw.by/corporate/normative_documents/. – Дата доступа : 01.10.2021.
- 17 Правдин, Н. В. Моделирование генерального плана агрегированного комплекса промышленного узла с оптималь-

ным размещением производственно-транспортно-технологических систем / Н. В. Правдин, О. Н. Числов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 11. – С. 2–8.

18 Закон Республики Беларусь от 06 января 1999 г. «О железнодорожном транспорте» // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 1999. – № 2/12.

Получено 02.11.2021

V. G. Kuznetsov, A. A. Erofeev. Principles of adaptability in the development of general schemes railway junctions in the urban plan of the town.

The railway junction is an integral object and subject part in the urban development plan of the town. The adaptation of the development of a railway junction is determined by the correspondence of its general scheme and the urban development plan of the town (region), taking into account socio-economic perspective changes. The system requirements for the formation of the structure of the railway junction, the requirements for the development of individual facilities of the junction and their interconnection to provide a comprehensive solution to the problems of transport services for economic entities of the town (region) and citizens are considered. The specific conditions of transport activity in railway junctions and their influence on the requirements for the development of general development schemes are established. The principles of adaptability of the track development of railway junctions and the placement of objects and devices for servicing the traffic flow are proposed when the functional zones of the town (region) change, their expansion or the creation of new zones. The system requirements are presented, which reflect the principles of adaptive development of the general schemes of nodes and allow to establish an objective assessment of their consistency to the urban development plan.

УДК 656.05

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

ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ВХОДНОГО ПОТОКА ПЕЗДОВ НА РЕЗЕРВИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Приведены результаты исследований влияния неопределённости входного потока поездов на резервирование ресурсов железной дороги. Рассматривается результативность методического обоснования прогнозирования потока поездов для железной дороги и возможности эффективного применения имеющихся у железной дороги ресурсов, употребляемых при выполнении поездной работы, а также новые направления использования теории расписаний при формировании графика пропуска грузовых поездов на направлениях, включённых в международные транспортные коридоры.

Изменение внутреннего состояния транспортной системы, в частности железной дороги, в целом и структурных подразделений различного уровня определяется в большинстве случаев внешними воздействиями. В качестве внешних воздействий на железнодорожную систему следует рассматривать входной поток грузовых поездов. В зависимости от его величины определяется потребность необходимых ресурсов железнодорожных подсистем, направляемых на его освоение. Определяется зависимость управляющих воздействий, представленная в виде следующих векторов:

– состояния железнодорожной системы –

$$\vec{z}(t) = f(z_0(t), x(t)); \quad (1)$$

– выходного потока –

$$\vec{y}(t) = \varphi(z(t), x(t)); \quad (2)$$

– ресурсного обеспечения –

$$\vec{r}(t) = y(t), x(t), \quad (3)$$

где $f(z_0(t))$ – доходы железной дороги, которые могут быть получены при реализации выходного потока поездов исходя из начального состояния железнодорожных подсистем; $x(t)$ – входной поток поездов; $\varphi(z(t))$ – финансовые затраты, направляемые на освоение потока поездов; $y(t)$ – выходной поток поездов.

Динамика изменения входного потока поездов показана на рисунке 1, а.

Из рисунка 1, а видно, что входной поток грузовых поездов за отмеченный период существенно изменился в сторону понижения. В соответствие входному потоку грузовых поездов рассматривается потребление ресурсов на его освоение (рисунк 1, б).

Из диаграмм, приведенных на рисунке 1, б, видно, что обеспечение необходимыми ресурсами железных дорог на освоение потока поездов имеют тенденцию к уменьшению. При этом следует отметить неизменность постоянных расходов, которые составляют значительную долю в себестоимости перевозок. Снижение обеспеченности ресурсами транспортного процесса связано с кризисами 2008–2010 и 2013–2014 гг.

При определении уровня влияния неопределённости входного потока поездов на резервирование ресурсов железной дороги наиболее результативным является применение энтропийного метода анализа данных для процедуры определения наилучших доступных технологий [1].

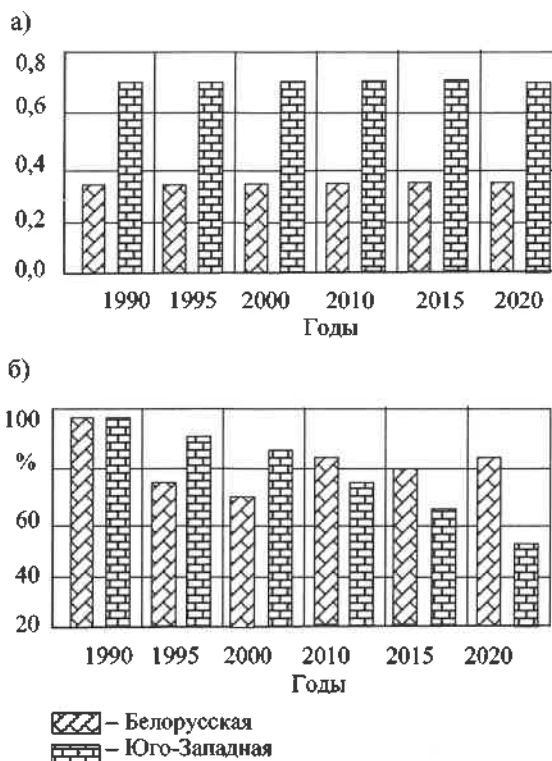


Рисунок 1 – Динамика изменения входного потока грузовых поездов на железную дорогу (а) и обеспечения ресурсами на его освоение (б)

Оценка входного потока поездов на железную дорогу наиболее приближённо описывается в векторной форме. Вектор входного потока поездов относится к управляющим переменным, для которых характерна наибольшая неопределённость. Он является определяющим при установлении в процессе оперативного планирования состояния транспортного объекта в течение планового периода $Z(T_{пл})$ и конечной результативности работы железной дороги – выходного потока поездов в течение планового периода

$$Y(T_{пл}) = \sum_{i=1}^K y_i(t), \quad (4)$$

где $y_i(t)$ – выходной поток поездов по i -му технологическому инфраструктурному каналу.

При этом устанавливается соотношение между входным и выходным потоками поездов. В условиях оперативного планирования поездной работы каждого инфраструктурного объекта важно знать величину неопределённости входного потока поездов на любой момент пе-

риода планирования ($t_i \in T_{пл}$). Уровень неопределённости входного потока поездов может быть установлен с учётом (1)–(3) с использованием для этих целей модели и методов управления сетевыми структурами в кризисных ситуациях или при прогнозировании долгосрочных программ развития транспортных систем [2].

Полное выяснение неопределённости входного потока поездов при значении его вероятностных характеристик, т. е. когда входной поток поездов может быть описан математической зависимостью.

На весь период планирования можно установить вероятность того, что за плановый период прибудет определённое количество поездов $N_{пл}$:

$$\omega(N_{пл}) = P(N_{пл}), \quad (5)$$

что приведёт к дискретности изучаемых вариантов по интервалам времени, неприемлемой для железной дороги. Проведены исследования входного потока поездов при различной продолжительности периода планирования (рисунок 2).

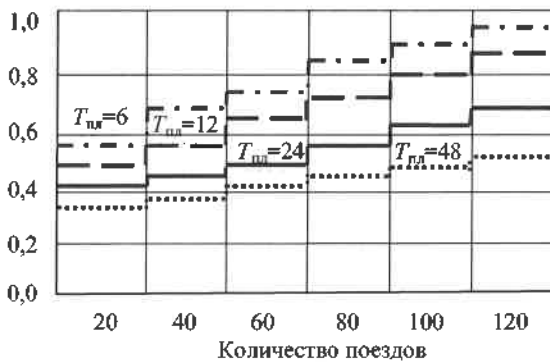


Рисунок 2 – Динамика вероятности поступления ожидаемого количества поездов по периодам планирования

Согласно диаграммам на рисунке 2 наиболее точный прогноз может быть получен на шестичасовой период и при большом входном потоке поездов. В соответствии с (1)–(3) внутреннее состояние транспортной системы объединяется известным значением входного потока поездов, ресурсов и выходного потока. Функциональная схема взаимосвязанных элементов транспортного процесса, зависящих от входного потока поездов, приведена на рисунке 3.

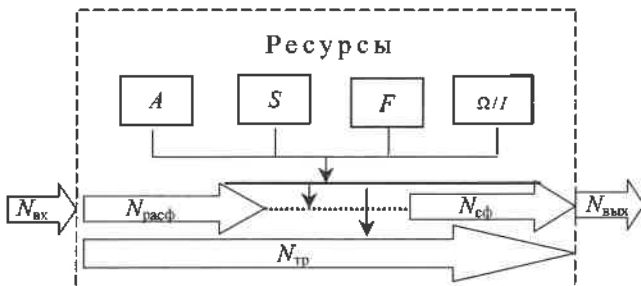


Рисунок 3 – Функциональная схема взаимосвязанных элементов транспортного процесса

В соответствии с приведенной на рисунке 3 функциональной схемой взаимодействие потока поездов и использование имеющихся в транспортной системе ресурсов описывается предикатным уравнением с рассмотрением кванторов следующего вида [3, 4]:

$$\begin{aligned} & \forall(N_{вх}) \forall(A) \forall(S) \forall(F) \forall(\Omega) [P(N_{вх}, D_k \{N_{вх}, A, S, F, \Omega\}) \\ & \text{и } N_{вых}(N_{вх}, A, S, F, \Omega) \Rightarrow \\ & \Rightarrow [P(N_{вх}, D_k \{N_{вх}, A, S, F\})] \\ & \text{и } [P(\Omega_i, D_k \{N_{вх}, A, S, F\})], \end{aligned} \quad (6)$$

где $N_{вых}(N_{вх}, A, S, F, \Omega)$ – заданный предикат, определенный для всех пар структурных связей между взаимосвязанными элементами транспортного процесса, обеспечивающие реализацию входного потока поездов, воздействий материального потока ($N_{вх}$), его трансформированного выхода ($N_{вых}$) при использовании имеющихся ресурсов железной дороги.

Они обеспечивают устойчивое функционирование железной дороги при трансформации входного потока. При этом ресурсы транспортной организации распределены на постоянные (не зависящие от объема перевозок) и переменные.

Распределение трудовых ресурсов, используемых для освоения входного потока поездов, имеет следующую формализацию:

$$A(N_{вх}) = \begin{cases} A(Z) = \text{const}; \\ A(T) = \text{variable}, \end{cases} \quad (7)$$

где $A(Z)$ – трудовые ресурсы железнодорожной организации, обеспечивающие функциональную деятельность инфраструктуры и управления; $A(T)$ – переменные трудовые ресурсы, связанные непосредственно с перевозочным процессом (персонал ремонтных работников, локомотивные бригады и др.).

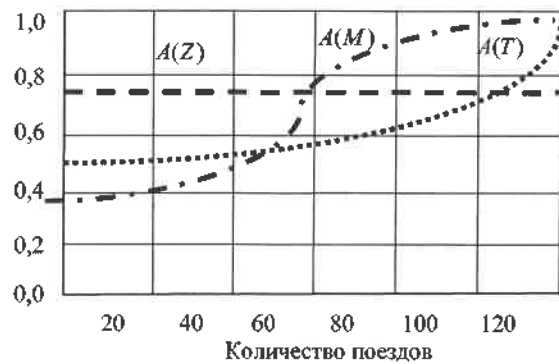


Рисунок 4 – Распределение трудовых ресурсов, направляемых на освоение входного потока поездов

В соответствии с диаграммами, приведенными на рисунке 4, можно отметить ситуацию, при которой использование трудовых ресурсов имеет следующие особенности:

- постоянный контингент административного и оперативного персонала $A(Z)$, который составляет 76,4 % (в США – 47,3 %). При входном потоке поездов, составляющем более 70 поездов, он используется полностью, при большей его величине – постоянный контингент используется более эффективно;

- переменный контингент $A(T)$ зависит от объема перевозок и составляет 23,6 % в наших условиях, при объеме перевозок 106–108 поездов используется более эффективно. Для данного контингента в ряде железнодорожных администраций используется подрядная форма организации труда, что позволяет более эффективно использовать финансовые ресурсы, направляемые на оплату труда;

– важное значение имеет использование ресурса локомотивных бригад $A(M)$. При интервале 60 поездов отмечается недостаток этого ресурса, который в данном интервале резко возрастает. Идет перерасход фонда оплаты труда.

Технологические ресурсы $S(N_{\text{вх}})$, необходимые для переработки входного потока поездов, распределяются по трём составляющим:

$$S(N_{\text{вх}}) = \begin{cases} S_r(Z) = \text{const}; \\ S(W) = \text{variable}; \\ S(E) = \text{variable}, \end{cases} \quad (8)$$

где $S_r(Z)$ – постоянная составляющая технологического ресурса железной дороги (пропускные способности участков, перерабатывающие способности станций); $S(W)$ – переменные технологические ресурсы железной дороги; $S(E)$ – энергетический ресурс для функционального поддержания технологических устройств железной дороги.

С использованием синтеза реальных опционов и метода нечетких множеств для оценки эффективности физических процессов транспортной деятельности выполняется оценка транспортных инновационных проектов [5].

С использованием данных принципов и алгоритмизации процессов принятия решений по планированию входных потоков в условиях информационной неопределенности [6] рассматривается динамика изменения технологического ресурса в зависимости от размеров входного потока поездов (рисунок 5, а).

Из диаграмм, приведенных на рисунке 5, а, видно следующее.

1 Технологический ресурс железной дороги $S_r(Z)$ при любом размере входного потока является постоянной составляющей. Однако при объеме максимального входного потока поездов, на который рассчитан данный вид ресурсов, он используется более эффективно. Наличие неопределенности входного потока снижает эффективность использования ресурса. По результатам исследований, проведенных на Белорусской и Юго-Западной железных дорогах, можно отметить следующее. При значительной неопределенности размеров входного потока поездов избыточность технологического ресурса приносит значительные убытки. Для их покрытия железнодорожной администрации приходится изыскивать кредитные ресурсы.

2 Переменная часть технологического ресурса $S(W)$ включает затраты на техническую эксплуатацию железнодорожной инфраструктуры. Значительная часть технологического ресурса относится к переменному фактору: путь, контактная сеть. Их износ и потребность в поддержании работоспособности напрямую зависят от объема пропущенных поездов.

3 Энергетический ресурс, относимый к переменной составляющей инфраструктуры, следует рассматривать по двум элементам

$$S(E) = \begin{cases} E(S) = \text{const}; \\ E(W) = \text{variable}, \end{cases} \quad (9)$$

где $E(S)$ – постоянная составляющая энергетического ресурса, направленного на электроснабжение постоянных устройств инфраструктуры железной дороги, не

зависящее от размеров движения поездов; $E(W)$ – переменная составляющая энергетического ресурса, зависящая от размеров движения поездов.

Следует учитывать, что энергетический ресурс, входящий в состав технологического ресурса, распределяется на обеспечение тяги поездов и жизнедеятельности инфраструктурных объектов.

Динамика изменения энергетического ресурса, рассматриваемого в структуре технологического ресурса, в зависимости от размеров входного потока поездов приведена на рисунке 5, б.

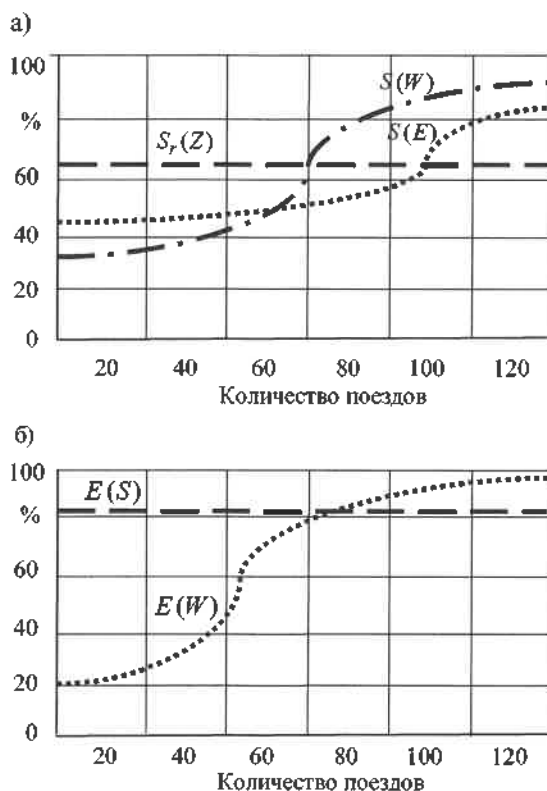


Рисунок 5 – Распределение технологических ресурсов, направляемых на освоение входного потока поездов (а) и энергетических ресурсов, направляемых на его освоение (б)

Из диаграмм, приведенных на рисунке 5, б, видно, что в зависимости от объема перевозок энергетические затраты на жизнеобеспечение практически поддерживаются на уровне 80–82 % от проектной потребности. При энергообеспечении тяги поездов практически при их поступлении до 50 поездов в сутки неопределенность дополнительного резервирования данного вида ресурсов сохраняется на уровне 40 %. При большей неопределенности входного потока поездов резерв энергетического ресурса существенно возрастает.

Энергетический ресурс может рассматриваться отдельно в предикатной зависимости, так как он оказывает активное влияние на стабильность выполнения поезда работы и тарифы.

Финансовые ресурсы, затрачиваемые при освоении входного потока поездов, рассматриваются по следующим составляющим элементам:

$$R(F) = \begin{cases} F(S) = \text{const}; \\ F(A) = \text{const}; \\ F(W) = \text{variable}, \end{cases} \quad (10)$$

где $F(S)$ – постоянная составляющая финансового ресурса, направленного на техническую эксплуатацию постоянных устройств инфраструктуры железной дороги, не зависящая от размеров движения поездов; $F(A)$, $F(W)$ – переменные составляющие финансового ресурса, зависящие от размеров входного потока поездов: административно-управленческий ресурс функциональных отраслевых хозяйств железной дороги. При этом функция $F(W)$ прямолинейно зависит от размеров входного потока поездов (расходы на эксплуатацию технических устройств, энергоснабжение).

Динамика изменения финансового ресурса в зависимости от неопределенности размеров входного потока поездов приведена на рисунке 6, а.

Из диаграмм, приведенных на рисунке 6, а, видно, что постоянные расходы при неопределенности входного потока поездов на железных дорогах СНГ составляют 68–70 %. На железных дорогах Скандинавских стран при неопределенности входного потока на уровне свыше 85 % этот вид ресурсов составляет 22–30 %. При этом финансовые ресурсы, направляемые на административные нужды обеспечения поездной работы, существенно изменяются при объеме входного потока свыше 100 поездов.

Ресурсы информационно-управленческого параметра, затрачиваемые при освоении входного потока поездов, рассматриваются по двум составляющим:

$$R(\Omega) = \begin{cases} \Omega(A) = \text{const}; \\ \Omega(I) = \text{variable}; \\ \Omega(MN) = \text{variable}, \end{cases} \quad (11)$$

где $\Omega(A)$ – постоянная составляющая финансового ресурса, направленного на информационное и управленческое обеспечение персонала; $\Omega(I)$ – переменная составляющая финансового ресурса, направленного на информационное обеспечение персонала и использование информационных технологий; $\Omega(MN)$ – переменная составляющая финансового ресурса, направленного на обеспечение ресурса по управлению перевозками.

Динамика изменения информационно-управленческого ресурса в зависимости от неопределенности входного потока поездов приведена на рисунке 6, б.

Из диаграмм, приведенных на рисунке 6, б, видно, что постоянные расходы при неопределенности входного потока поездов на железных дорогах СНГ составляют 83,2 %. Переменные ресурсы, направляемые на выполнение информационно-управленческих функций железной дороги, изменяются при неопределенности на уровне 52–70 % и объеме поступления потока поездов в размере 60–80 ед. Для переменной части ресурсов, связанных с использованием информационных технологий при организации перевозок, эти интервалы составляют соответственно 60–68 % при размерах движения 90 пар поездов.

Необходимо отметить, что распределение ресурсов в зависимости от уровня неопределенности входного потока поездов связано с изменением кванторов.

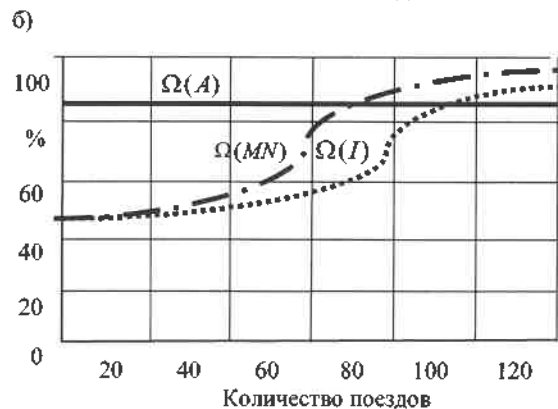
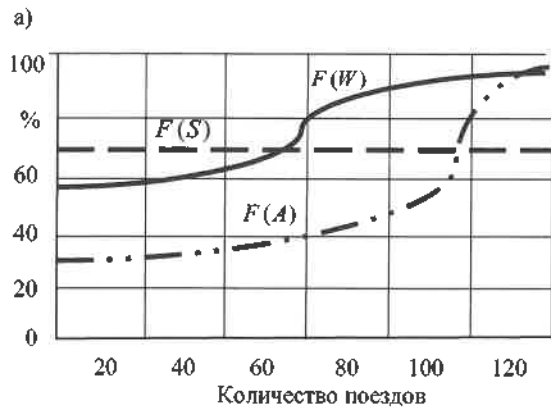


Рисунок 6 – Распределение финансовых ресурсов, направляемых на освоение входного потока поездов (а) и информационно-управленческого ресурса, направляемого на освоение входного потока поездов (б)

По результатам расчётов получаются зависимости, которые подчиняются основным положениям коммутативных законов и справедливы только для одноименных кванторов [1]. Это означает, что разноименные кванторы менять местами нельзя, так как в данном случае формируется уравнение взаимосвязи входного и выходного потоков поездов. Левое условие уравнения будет сильнее правого. Рассматривается следующее равенство:

$$\exists(N_{\text{ВХ}}) \forall(N_{\text{ВЫХ}}) P(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}) = \forall(N_{\text{ВЫХ}}) \exists(N_{\text{ВХ}}) P(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}). \quad (12)$$

Появляется несоответствие, которое может быть устранено при изменении отрицания через знак квантора, заменяемый на противоположный. С использованием закона двойного отрицания можно получить зависимости, выражающие один квантор через другой, т. е.:

$$\forall(N_{\text{ВХ}}) P(N_{\text{ВХ}}) = \exists(N_{\text{ВХ}}) P(N_{\text{ВХ}}); \quad (13)$$

$$\forall(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}) P(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}) = \exists(N_{\text{ВХ}}) \forall(N_{\text{ВЫХ}}) P(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}); \quad (14)$$

$$\forall(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}) P(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}) = \exists(N_{\text{ВЫХ}}) \forall(N_{\text{ВХ}}) P(N_{\text{ВХ}}, N_{\text{ВЫХ}}). \quad (15)$$

В целях завершения построения модели по определению уровня влияния неопределенности входного потока поездов с учётом увязки его с выходным потоком используются предикаты распознавания. Оно опреде-

ляется законами отрицания состояния элементов предикатных взаимосвязей ресурсов [4]. При этом необходимо выполнить интегрированный расчёт каждого критерия ранее рассматриваемых ресурсов железной дороги. В данной ситуации рассматривается положение, что все виды используемых при формировании модели поездной работы интегрируются относительно объёма входного потока поездов с использованием следующей формализации [7]:

$$y_{то} = \int \frac{R^n}{\sqrt[n]{R^n + n}}, \quad (16)$$

где R – сглаженное значение вида ресурсов по фактору постоянной и переменной составляющим; n – количество выделенных производственных групп ресурсов железной дороги, направляемых на освоение входного потока поездов.

Наиболее эффективным при интегральной оценке ресурсов железной дороги, направляемых на освоение входного потока, является применение декомпозиционного метода расчета сетевых моделей транспортного обслуживания с параметрической неопределенностью [8].

С учётом того, что используется четыре вида ресурсов, для всех вариантов рассматривается решение

$$R_N = \frac{1}{16} \ln(R^n). \quad (17)$$

В результате сглаживающие функции имеют вид:
– для постоянного элемента ресурсного обеспечения –

$$R_{const} = \frac{1}{16} \ln(0,08N_{вх}^2 - 0,368N_{вх} + 1,06); \quad (18)$$

– для переменного элемента ресурсного обеспечения –

$$R_{variable} = \frac{1}{16} \ln(-0,0625N_{вх}^2 + 0,3235N_{вх} + 0,2925). \quad (19)$$

С учётом (17)–(18) проводится корректировка ресурсов в зависимости от уровня неопределенности входного потока.

Для долгосрочного периода (3–5 лет) функция (19) имеет вид

$$R_{variable} = \frac{1}{16} \ln(0,0316N_{вх}^2 - 0,2315N_{вх} + 1,131). \quad (20)$$

Получено 20.09.2021

A. A. Mikhalechenka. Influence of uncertainty of input flow of trains for reserving railway resources.

The results of studies of the influence of the uncertainty of the input flow of trains on the reservation of resources of the railway are given. The article considers the effectiveness of the methodological substantiation of forecasting the flow of trains for the railway and the possibility of effective use of the resources available at the railway, which are used when performing train work. New boundaries of the use of the theory of timetables in the formation of the schedule for the passage of freight trains on the directions included in international transport corridors are considered.

Её применение позволяет прогнозировать использование ресурсов железной дороги при выполнении государственной программы её развития.

Заключение. С учетом влияющих факторов ресурсного обеспечения освоения входного потока поездов при различных уровнях неопределённости их поступления в систему транспортного обслуживания необходимо отметить следующее:

1) постоянные ресурсы железной дороги не могут быть изменены при краткосрочном изменении входного потока поездов, но с учетом модели их использования (17) они могут быть откорректированы с минимальным отклонением в сторону дополнительных затрат;

2) модель необходимых переменных ресурсов позволяет учитывать их необходимую величину при различных значениях уровня неопределённости входного потока поездов.

Список литературы

- 1 Птускин, А. С. Энтропийный метод анализа данных для процедуры определения наилучших доступных технологий / А. С. Птускин // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 203–212.
- 2 Косоруков, О. А. Модели и методы управления сетевыми структурами в кризисных ситуациях / О. А. Косоруков. – М., 2007. – 49 с.
- 3 Процай, Н. Т. Кванторная алгебра предикатных операций / Н. Т. Процай // Бионика интеллекта. – 2008. – № 1(68) – С. 69–73.
- 4 Алгебра предикатов и предикатных операций / М. Ф. Бондаренко [и др.] // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 3. – С. 15–23.
- 5 Баранов, А. О. Синтез метода реальных опционов и метода нечетких множеств для оценки эффективности инновационных проектов / А. О. Баранов, Е. И. Музыка, В. Н. Павлов // Идеи и идеалы. – 2018. – Т. 2, № 1 (35). – С. 190–209.
- 6 Фомин, С. Я. Алгоритмизация процессов принятия решений по планированию входных потоков основных материалов на предприятии в условиях информационной неопределенности / С. Я. Фомин // Известия высших учебных заведений. – 2011. – № 9. – С. 58–64.
- 7 Кулаженко, Ю. И. Неопределённый интеграл : учеб.-метод. пособие / Ю. И. Кулаженко, А. Д. Суворова. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 52 с.
- 8 Гончаренко, В. А. Декомпозиционный метод расчета сетевых моделей обслуживания с параметрической неопределенностью / В. А. Гончаренко // Труды военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. – 2017. – № 9. – С. 5–14.

УДК 338.48-44:004.9(529)

Т. А. ВЛАСЮК, кандидат технических наук, А. Н. БЕЛОУС, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; ЦЗЭН СЯНЬФЭН, аспирант, Гуанчжоуский профессионально-технический колледж железнодорожного транспорта, КНР

ОПЫТ КИТАЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ СЕРВИСОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ В ГОРОДАХ

Рассмотрена роль пришедших на смену традиционным картам на бумажных носителях приложений и веб-версий картографических сервисов, которые сегодня являются основными элементами навигации для туристов в незнакомых для них городах, что актуально для неанглоязычных стран, например, Китая, где крупнейшие города имеют численность более 10 миллионов человек и значительны по площади (Пекин, Шанхай, Чунтин, Гуанчжоу и др.), а большинство населения не владеет английским или другими романо-германскими языками. В связи с этим картографические сервисы приобретают особую актуальность и являются одним из наиболее удобных приложений для передвижений туристов, которыми активно в процессе поездки изучаются города и страны, осматриваются достопримечательности и прокладываются маршруты будущих путешествий.

Введение. Транспортные приложения сегодня востребованы в мире, так как они создают дополнительные удобства не только населению, но и туристам из разных стран. Особенно это актуально для туристов, впервые посещающими Китайскую Народную Республику, в которой сервисы Google заблокированы, так как в этой стране имеется свой Google, который называется Baidu. Эта компания предоставляет туристам поисковик, а также свои карты – Baidu Ditu, которые отличаются точностью при создании маршрута от пункта отправления до пункта назначения, а также предоставлением расчета времени в пути и примерной стоимости, включая такси. Помимо этого, карты Baidu Ditu предоставляют пользователям офлайн-режим.

В Китае транспортные приложения совмещают информацию о наземном и подземном общественном транспорте. При этом некоторые из них предоставляют возможность оплачивать проезд через мобильный телефон. Следует отметить, что в Китае можно пользоваться качественными 3D-картами с высокой степенью детализации городской инфра-структуры.

Следует отметить, что в Китае работает собственный веб-сервис, позволяющий исследовать планету в двух режимах: карта и спутник (Map World), который представляет собой альтернативу Google Earth и Google Maps. При помощи данного сервиса туристы (пользователи) смогут узнать о дорожных заторах, а также другую интересующую их информацию, необходимую для путешествия. В настоящее время в базе данных Map World находятся фотографии более 300 китайских городов, и его 80 виртуальных серверов способны обрабатывать 10 млн запросов в сутки.

Постановка задачи. В связи с вышеизложенным туристам, которые предпочитают путешествовать по городам с использованием общественного транспорта, предлагаются различные сервисы, позволяющие вызвать такси, узнать местоположение автобуса в данный момент времени, скорость его передвижения и т. п. Поэтому необходимо выявить тенденции современного Китая по развитию данного направления и его дальнейших перспектив.

Краткая характеристика картографических сервисов Китая представлена в таблице 1.

Основная часть. Анализ таблицы 1 показал, что для путешествия по городам Китая необходимо использовать приложение Baidu Maps, преимуществом которо-










го является точность, возможность расчета маршрута следования с учетом трафика, а также возможность скачивания карты города и использования ее в режиме офлайн.

Предлагаемые сегодня в мировой практике технологические и сервисные решения обеспечивают не только экономию времени на всем пути следования туриста, но и определенный комфорт через удобную навигацию по приложениям, касающимся построения маршрутов передвижения, приобретения билетов наиболее подходящим способом, безопасности и т. п. (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика картографических сервисов КНР

Картографический сервис	Краткая характеристика
Express VPN 	Обеспечение безопасности
Apple Maps 	Решение минимальных задач по поиску необходимых адресов
AutoNavi Maps 	Актуальная карта + приложение (расчет оптимального маршрута до пункта назначения, определение стоимости проезда и места расположения ближайшего автобуса)
Baidu Maps 	Актуальные карты + возможность посмотреть 3D вид улицы
MetroMan 	Карта-схема метро со сменой городов в одном приложении (представлены точные карты метро в 36 китайских городах с составлением маршрута между станциями и прогнозированием времени в пути и стоимости проезда)

Окончание таблицы 1

Картографический сервис	Краткая характеристика
Метро Шэньчжэня 	Карта-схема метро с указанием оптимального маршрута, стоимости и примерного времени в пути
Метро Гуанчжоу 	Официальное приложение метрополитена Гуанчжоу
Uber 	Китайский аналог «Убера» Вызов такси (имеется указание примерной стоимости проезда) – китайский аналог «Убера»
Didi 	
CaoCao 	
HuoLaLa 	Грузовое такси
Mobike 	Прокат велосипедов
AutoNavi Maps 	Сервис, отображающий ближайший автобус к остановке и его движение по маршруту
AutoNavi Maps 	Сервис по отображению движения автобусов по их маршруту, ожидаемому времени прибытия на ту или иную остановку
WeCha 	Мессенджер со своей экосистемой, электронными платежами, заказом билетов, скидочными картами и своей социальной сетью
Qunar 	Агрегатор билетов на самолеты и поезда с возможностью аренды автомобиля и бронирования гостиничных номеров
Ctrip 	
SF Express (ShunFeng) 	Экспресс-доставка
Air Visual 	Сервис, отображающий качество воздуха относительно метороположения

Следует отметить, что мобильное приложение Baidu Maps доступно для смартфонов на базе iOS и Android. При этом доля Baidu в нише онлайн-карт Китая составляет 70 %, включающих 500 млн активных пользователей.

Пример карты Baidu мобильного приложения Baidu Maps приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Карта Baidu мобильного приложения Baidu Maps

За последние 5 лет транспортная отрасль Китая активно развивается на основе современной технологии 5G, которая придала ей новый импульс. Так, в новом районе Шанхая Линьган открылась 8,5-километровая интеллектуальная линия общественного транспорта, пользование которой обеспечивает ряд мобильных приложений (таблица 2).

Таблица 2 – Краткая характеристика мобильных приложений для пользования общественным транспортом в Китае

Мобильное приложение	Краткая характеристика
Rainbow Bus	Информацию об автобусе, метро и такси (маршрут, время и пр.), включая количество пассажиров в автобусе
Jamper	Отражение в режиме реального времени ситуации на дорогах (наличие пробок, заторов, аварий)
Du Che Me	Оценка трафика и навигации
8684 Bus	Просмотр в офлайн-режиме маршрутов автобусов и карты метро
Di Tie Zhong Guo	Оптимизация маршрута метро
Di Di Da Che	Поиск ближайшего свободного такси
Edaijia	Поиск ближайшего свободного такси в пределах 15-минутной доступности с показом 5 свободных, ближайших к месту назначения, такси
Yongche	База такси представительского класса (лимузины)
Zhou Bian Kuai Cha	Поиск банков/банкоматов, аптек, почтовых отделений, заправок
Jiu Dian Kong	Бронирование отелей, по принципу аукциона
Veryzhun	Информация о вылете самолета с указанием (в случае наличия) задержки
Flight Manager	Информация аэропорта (табло)

Многие из мобильных приложений, представленных в таблице 2, в настоящее время в той или иной форме применяются в разных странах мира и имеют большой потенциал для дальнейшего развития в соответствии с мировыми тенденциями. При этом в Китае согласно государственной программе «Устойчивое развитие транспорта в Китае», представленной Пресс-канцелярией Госсовета КНР, к 2035 году будет создана модернизированная комплексная транспортная система, которая позволит существенно повысить уровень удовлетворенности населения транспортным обслуживанием. В документе отмечается, что данная система будет безопасной, удобной, эффективной, экологически чистой и экономичной, оснащенной оборудованием, технологиями, управлением и услугами мирового уровня. Данная система позволит скоординировать развитие транспорта в городских и сельских районах Китая.

Согласно документу страна сместит акцент со скорости и масштаба развития транспорта на его качество и эффективность, уделит больше внимания интегрированному развитию различных видов транспорта и будет в большей степени опираться на стимулирование развития за счет инноваций. Помимо этого, в программе отмечается, что к 2035 году будет сформировано всекитайское транспортное кольцо «1–2–3» и глобальное логистическое кольцо «1–2–3», которые обеспечат удобные комбинированные пассажирские перевозки. Согласно данному документу под всекитайским транспортным кольцом «1–2–3» подразумевается совершение путешествий в отдельном городе, в пределах той или иной городской агломерации, а также между любыми двумя из основных городов страны за один, два и три часа соответственно. Кроме того, к 2035 году в Китае планируется развитие интеллектуального, безопасного, экологически чистого транспорта совместного пользования, а также уменьшение транспортных заторов в городах и создание системы обслуживания безбарьерных поездок. Уже сегодня создается система научно-технических инноваций в области транспорта, разработано передовое и безопасное оборудование, подготовлены высококвалифицированные кадры и образована благоприятная рыночная среда.

Заключение. Как видно из всего вышесказанного, картографических сервисов в сети сегодня вполне достаточно и можно выбрать инструмент для любой операции. Многие из сервисов не только позволяют найти

интересующую точку на карте, но и проложить маршрут из одной точки в другую. Вместе с тем, как показывает практика, последнее для туристов осуществить не так просто, поскольку европейские сервисы обычно не поддерживаются. Конечно, мы не исключаем, что на каких-то не охваченных нами серверах, которых довольно много, эта возможность предоставляется. Но по отзывам туристов, которые посетили Китай, им чаще всего не везло – сервис соглашался сформировать маршрут, соединяющий самые разные точки, но только не европейские города. Из западных серверов такая возможность предоставляется MultiMap.com, однако следует отметить, что данный сервис, по отзывам потребителей, работает с перебоями. Что касается белорусских ресурсов, то их возможности в настоящее время активно развиваются.

Таким образом, выполненный анализ показал, что использование возможностей картографических сервисов имеет определенные преимущества и недостатки, например в виде лицензионных ограничений, недостаточной полноты исходных пространственных данных и др. Однако, несмотря на это, главным преимуществом всех мобильных приложений, является удобство применения в повседневной жизни и обеспечение высокого уровня коммуникации. Подтверждением этого является постоянное увеличение количества загрузок мобильных приложений, которое в 2020 году увеличилось на 23,8 % и достигло 143 млрд, т. е. в среднем каждый житель планеты за год скачал не менее 18 приложений, среди которых мобильные игры, социальные сети, платформы для видеобщения, бизнес-организаторы, приложения для транспорта и другое.

Список литературы

- 1 Топ 40 приложений Китая [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://paralast.ru/software/top-40-mobilnih-prilozheniy-dlya-gizni-v-kitae>. – Дата доступа : 20.09.2021.
- 2 Baidu Maps поможет китайским туристам ориентироваться в Тайланде [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://thaiportal.ru/baidu-maps-pomozhet-kitayskim-turistam-orientirovatsya-v-tailande>. – Дата доступа : 20.09.2021.
- 3 Карта Китая. Карты и схемы Китая [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.tourister.ru/world/asia/china/map>. – Дата доступа : 20.09.2021.

Получено 01.10.2021

T. A. Vlasuk, A. N. Belous, Zeng Xianfeng. China's experience on the use of cartographic services When organizing tourist routes in cities.

The role of applications and web versions of cartographic services that have replaced traditional paper maps is considered, which today are the main elements of navigation for tourists in cities unfamiliar to them, which is relevant for non-English-speaking countries, for example, China, where the largest cities have a population of more than 10 million people and are significant in area (Beijing, Shanghai, Chongqing, Guangzhou, etc.), and the majority of the population does not speak English or other Romano-Germanic languages. In this regard, cartographic services are becoming particularly relevant and are one of the most convenient applications for the movements of tourists, who actively explore cities and countries during the trip, see the sights and plot routes for future trips.

УДК 621.314

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрены методы диагностики различных дефектов трансформатора и способ их классификации с помощью сверточных нейронных сетей, применение которых позволит в режиме реального времени анализировать информацию, классифицировать различные отклонения и диагностировать дефекты. Приводится анализ информации для классификации таких повреждений, как межвитковые замыкания, междуфазные короткие замыкания, дефекты межлистовой изоляции магнитопровода, местное замыкание пластин стали и «пожар» в стали.

Одной из самых трудных и одновременно перспективной задачей в информационных технологиях является распознавание и анализ объектов или процессов на изображениях. Анализ методов распознавания объектов или процессов на изображениях предполагает при решении такой задачи использовать искусственные нейронные сети в связи с тем, что они являются слабочувствительными к искажениям, а также дают возможность классифицировать результаты, обеспечивая скорость и точность решения по сравнению с остальными методами [1].

Наиболее часто в задачах распознавания и идентификации изображений используются классические нейросетевые архитектуры (многослойный перцептрон, сети с радиально-базисной функцией и др.) [2, 3]. Результаты анализа данных работ указывают на то, что применение классических нейросетевых архитектур в данной задаче неэффективно по следующим причинам:

- изображения имеют большую размерность, что значительно увеличивает размер нейронной сети;
- большое количество параметров увеличивает вместимость сложной системы и требует большей обучающей выборки, увеличивает время и программную сложность процесса обучения;
- для повышения эффективности работы системы необходимо задействовать несколько нейронных сетей, но это увеличивает вычислительную сложность решения задачи и время выполнения;
- отсутствует инвариантность к изменениям масштаба изображения и других геометрических искажений входного сигнала.

Поэтому актуально для решения задачи выделения области расположения исследуемых графических процессов использовать сверточные нейронные сети, т. к. они обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям и прочим искажениям.

Применение нейромоделирования в диагностике систем обеспечения энергоснабжения позволит контролировать состояние трансформаторов в режиме реального времени, не выводя трансформатор из работы, что предоставляет дополнительные возможности в обеспечении низкого уровня безаварийности и соблюдения режимов бесперебойного электроснабжения, сопровождающихся, как правило, значительными экономическими и экологическими издержками или реальным ущербом для потребителей. При этом затраты на внедрение данной технологии нейромоделирования относительно невелики

(например, применение одноплатных компьютеров), а эффективность от применения будет существенной.

Диагностика трансформаторов сегодня – довольно долгое и затратное мероприятие. Часто необходимо провести целый ряд непростых испытаний, так как современные методы диагностики не всегда однозначно указывают на место и вид дефекта. Надежность электрической машины в значительной степени определяется надежностью обмоток, которая в свою очередь зависит от состояния изоляции. Изоляция работает в сложных, часто весьма неблагоприятных условиях. В процессе эксплуатации электрических машин, а также во время их хранения и транспортировки, они подвергаются разнообразным внешним воздействиям, приводящим с течением времени к прогрессирующему ухудшению свойств изоляции.

Одним из наиболее распространенных следствий ухудшения свойств изоляции являются межвитковые короткие замыкания (МКЗ). При МКЗ изоляция обмотки нарушается и происходит ее пробой между витками, что впоследствии может привести к выходу из строя трансформатора.

Основными факторами, влияющими на возникновение МКЗ в трансформаторах, являются старение изоляции (механическое, тепловое, электрическое, механическое, химическое), перенапряжения (атмосферные, внутренние, дуговые) и организация производства и эксплуатации (заводские дефекты, эксплуатационные дефекты, дефекты при капитальном ремонте).

Механизм повреждения предполагает, что повреждение изоляции образует контур, сцепленный с основным магнитным потоком и потоком рассеяния. Результирующий циркулирующий ток вызывает увеличение активного и индуктивного компонентов тока намагничивания, дополнительный рост потерь в опыте холостого хода и короткого замыкания. Данный вид повреждения приводит к изменению сопротивления отдельных фаз трехфазных трансформаторов. Также изменяются: сопротивление изоляции между обмотками и корпусом; хроматографический анализ масла; результаты анализа трансформаторного масла на электрическую прочность, пофазные измерения потери холостого хода. Внешний осмотр на места подгаров изоляции витков при вынутой активной части также актуален при анализе данного повреждения.

В качестве основных причин МКЗ выделяют: разрушение витковой изоляции из-за длительных перегру-

зок и недостаточного охлаждения, понижение уровня масла, попадание влаги или грязи внутрь, перенапряжения и деформации обмоток при МКЗ.

Признаками появления МКЗ в трансформаторе могут быть срабатывание газовой защиты на отключение, аномальный нагрев трансформаторного масла, небольшое увеличение первичного тока, различное сопротивление фаз постоянному току, срабатывание дифференциальной или максимальной токовой защиты.

МКЗ в трансформаторах, в большинстве случаев, протекают по времени медленно. Поэтому для предотвращения серьезных поломок важно уметь выявлять замыкания на ранних стадиях, а в идеале еще и прогнозировать остаточный срок службы изоляции. Подобный метод диагностики позволит повысить надежность электроснабжения и сэкономить средства на ремонте оборудования.

Помимо МКЗ распространенным видом поврежденный силовых трансформаторов являются дефекты межливной изоляции магнитопровода.

Повреждения магнитопровода связаны со следующими причинами: перегревы вихревыми токами или токами в короткозамкнутых контурах из-за повреждения изоляции, соприкосновения со стальными крепежными болтами и шпильками, нарушения схемы заземления; влага в виде водомасляной эмульсии между пластинами, вызывающая коррозию стали; наличие посторонних токопроводящих частиц, замыкающих пластины; повреждение изоляции крепежных пластин.

Признаками повреждения являются: ухудшение состояния масла (уменьшение температуры вспышки, повышение кислотности); увеличение потерь холостого хода; появление газа в газовом реле, потемнение масла вследствие крекинга-процесса, появление резкого запаха.

В качестве способов выявления повреждения магнитопровода выделяют: внешний осмотр при вынутой активной части; увеличение потерь в опыте холостого хода; измерение напряжений между крайними пластинами возбужденного магнитопровода; хроматографический анализ масла; проверка изоляции стяжных болтов, шпилек или бандажей мегаомметром.

Температура – самое универсальное отражение состояния любого оборудования. При практически любом, отличном от нормального, режиме работы трансформатора изменение температуры является самым первым показателем, указывающим на неисправное состояние.

Тепловой метод контроля позволяет, не выводя из работы трансформатор, быстро и безопасно для персонала выявить ненормальный режим работы оборудования. Однако для этого требуется наличие довольно дорогого оборудования – тепловизора или специального пирометра.

Изменение тока намагничивания, коэффициента мощности и потерь холостого хода, дополнительные потери короткого замыкания или отличие сопротивлений обмоток трансформатора свидетельствуют о возможном появлении межвиткового замыкания. Измерение этих величин предполагает отключение нагрузки трансформатора, что нежелательно с экономической точки зрения.

Наличие короткозамкнутых витков можно определить индукционным методом. Этот метод основан на

определении наличия электромагнитного поля вокруг короткозамкнутого витка, которое создается в нем индуктированным током короткого замыкания. На ряде электроремонтных предприятий применяют комплект приборов системы Порозова. Прибор обнаруживает короткозамкнутые витки в обмотках любого диаметра и позволяет точно установить наличие и место замыкания. Однако для выполнения данного вида диагностики требуется отключение и разборка трансформатора.

Таким образом, диагностика дефектов требует отключения трансформаторов, что представляется более затратным и менее оперативным. Поэтому применение датчиков, соответствующих параметрам трансформатора для нейромодели, позволит анализировать данные без отключения и указывать на ранней стадии наличие повреждений.

В силовых трансформаторах с масляным охлаждением МКЗ обнаруживается по выделению горючего газа в газовом реле и работе реле на сигнал или отключение. В сухих трансформаторах вопрос определения замыкания между витками обмоток актуален и может привести к неплановому выходу из строя трансформатора и отключению потребителей от системы электроснабжения.

Данное повреждение может быть вызвано недостаточной изоляцией переходных соединений, продавливанием изоляции витков при опрессовке или из-за заусенцев на меди витка, механическими повреждениями изоляции, естественным износом, перенапряжениями, электродинамическими усилиями при коротких замыканиях и т. д.

По замкнутым накоротко виткам проходит ток большей силы, причем ток в фазе может лишь незначительно возрасти; изоляция витков быстро сгорает, могут выгорать сами витки, причем возможно разрушение и соседних витков. При развитии замыкания между витками обмоток может перейти в междуфазное короткое замыкание (КЗ).

Если число замкнутых витков значительно, то в короткий промежуток времени обмотки и магнитопровод сильно нагреваются. Замыкание между витками также сопровождается уменьшением сопротивления фазы, где возникло замыкание.

В качестве объекта исследования использовались однофазные трансформаторы малой мощности с воздушным охлаждением. В ходе экспериментов при изменяющейся нагрузке трансформатора выполнялось межвитковое замыкание различного числа витков на одной фазе первичной и вторичной обмоток. Для измерения напряжений, токов и мощностей, на первичную и вторичную обмотки были подключены энергометры PZEM-004t-100a, которые через интерфейс USB-UART были подключены к персональному компьютеру.

Отслеживая в режиме реального времени возможные текущие сбои, можно снизить количество неплановых ремонтов и отказов указанного оборудования.

При проведении экспериментальных исследований, были предусмотрены следующие мероприятия:

- МКЗ проводились в режиме реального времени на первичной и вторичной обмотках однофазного трансформатора с воздушным охлаждением;
- МКЗ выполнялось на двух, пяти и десяти витках;
- осуществлялась регистрация с помощью приборов и датчиков.

В то же время проводился анализ информации с использованием следующих данных:

- напряжений и токов первичной и вторичной обмоток;
- активные, реактивные и полные мощности по высокой и низкой сторонам трансформатора;
- анализировался состав окружающего воздуха на наличие частиц задымления от лака и бумажной изоляции с помощью устройства «электронный нос»;
- измерялась температура в зоне КЗ и на удалении 5 см от обмоток;
- проводилось осциллографирование и разложение по гармоникам кривых тока и напряжения;
- выполнено более 500 измерений при нормальном режиме работы и при межвитковом замыкании с интервалом в 1 секунду при 7 различных активных и активно-индуктивных нагрузках;
- получаемые результаты приборного учета через аналогово-цифровой преобразователь поступали на вход в программу MATLAB в качестве исходных данных для нейромодели с целью ее обучения и анализа информации;
- с помощью RLC-метра определялись параметры обмоток трансформатора.

Более подробно полученные результаты представлены в статьях [4, 5].

Рассмотрим более подробно технологию использования сверточных нейронных сетей и анализ данных на примере идентификации межвитковых коротких замыканий в трансформаторе. Подготовка и детектирование изображений основана на реализации алгоритма, блок-схема которого представлена на рисунке 1.

Данные датчиков используются в качестве исходных данных для сверточных нейронных сетей. Самый популярный вариант их использования – это обработка и анализ изображений. В нашем случае они позволяют на основе информации, представленной в виде множества изменяющихся в реальном времени графиков (частично приведенных выше) анализировать данные. Такой вид использования данных позволяет установить множественные взаимосвязи между отдельными факторами и, применяя нормированные данные, использовать их для быстрой настройки к другим трансформаторам.

Цели данного алгоритма заключаются в следующем:

- а) формирование изображений, представляющих собой зависимости отношений напряжений, токов и мощностей от времени (рисунок 2);
- б) направление изображений на сверточные нейронные сети;
- в) обработка данных сетей и формирование заключения.

Рассмотрим более подробно основные этапы блок-схемы.

1 Поступившие от датчиков результаты измерений напряжений, активных мощностей и токов первичной и вторичной обмоток делятся друг на друга. Далее полученные отношения записываются в специальные инициализированные массивы, размер которых равен ширине изображения. Производится циклический сдвиг каждого из массивов на одну позицию влево, а затем производится запись отношения в последнюю ячейку массива. Эта операция повторяется до тех пор, пока

массивы не будут заполнены исходными данными полностью.

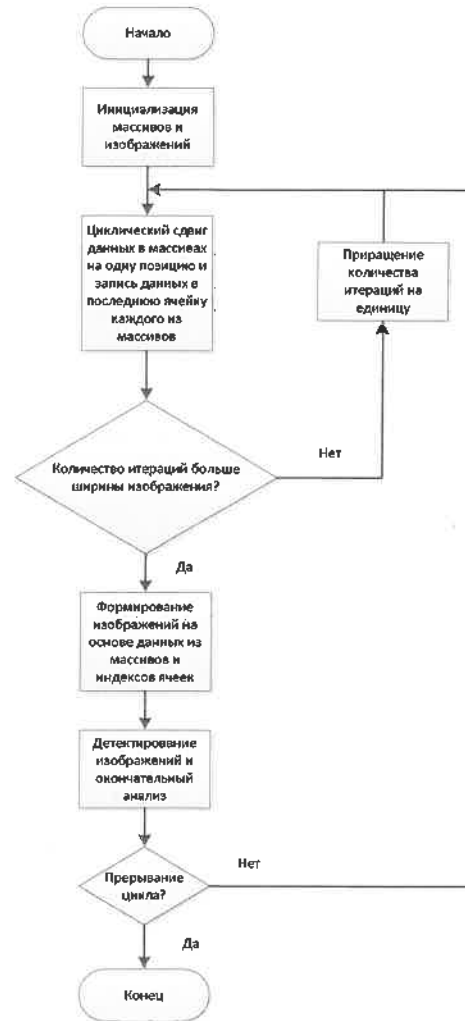


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма

2 После того как массивы полностью заполняются исходными данными, необходимо в каждом из них найти максимальное и минимальное значения для определения границ графиков зависимостей. Далее переводятся значения каждой ячейки массивов в координаты пикселей по оси абсцисс.

Координатами пикселей по оси ординат являются индексы ячеек каждого из массивов. По получившимся координатам производится изменение цвета пикселей на изображении с белого на черный.

После изменения цвета пикселей необходимо выполнить прорисовку вертикальных линий между соседними пикселями. В результате получают изображения, которые передаются на входы сверточных нейронных сетей.

В данном исследовании используются три нейронные сети. Первая нейронная сеть отвечает за идентификацию МКЗ по отношению напряжений, вторая отвечает за идентификацию по отношению токов, а третья – по отношению мощностей.

Примеры изображений, которые передаются на первую сверточную нейронную сеть, отвечающую за идентификацию по отношению напряжений, приведены на рисунке 3.

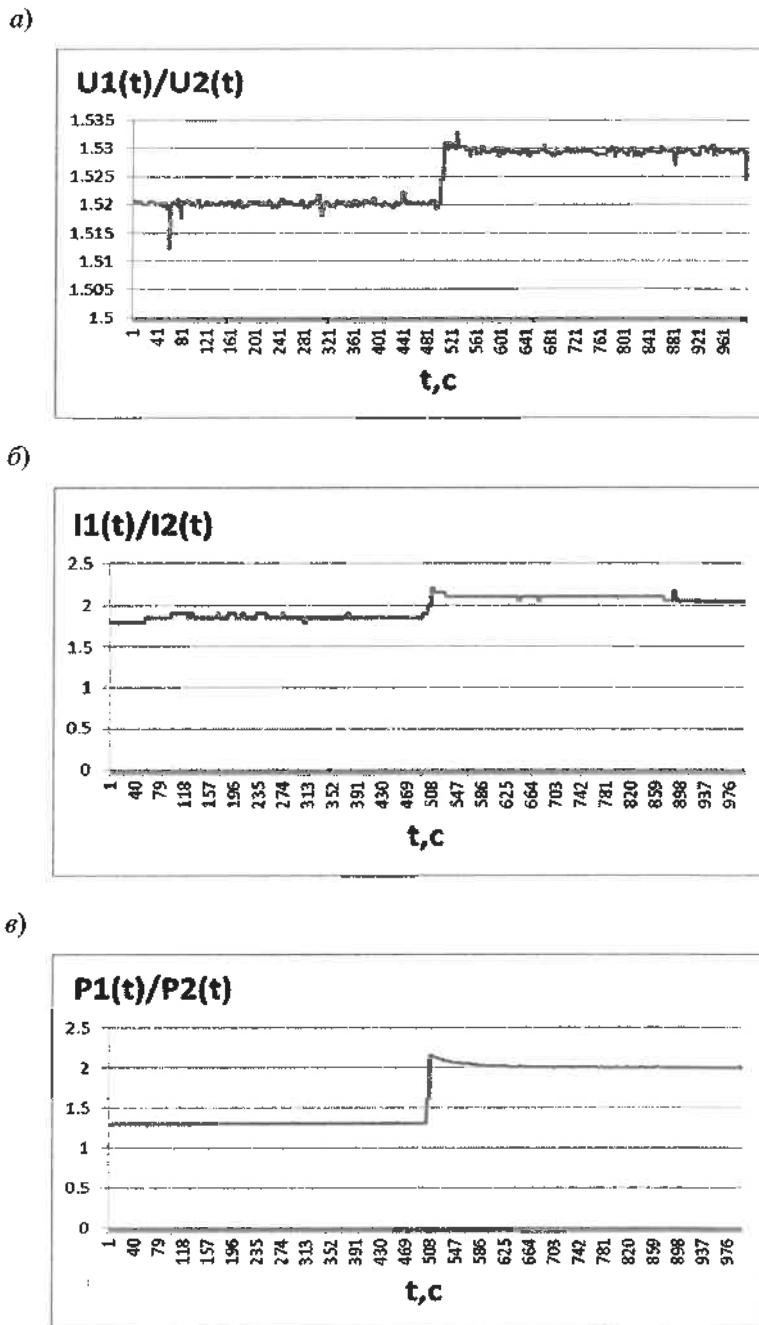


Рисунок 2 – Зависимости отношений от времени:
а – напряжений; *б* – токов; *в* – мощностей

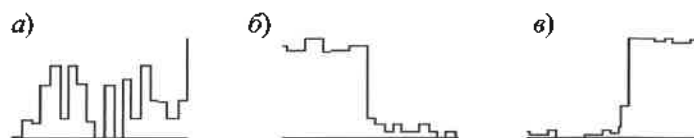


Рисунок 3 – Изображения на входе нейронной сети при нормальной работе трансформатора (*а*), при МКЗ на первичной обмотке (*б*), при МКЗ на вторичной обмотке (*в*)

Аналогично работают сверточные нейронные сети, отвечающие за идентификацию по отношению токов и по отношению активных мощностей.

Каждая нейронная сеть на выходе выдает номер класса, к которому относится неисправность трансформатора (таблица 1).

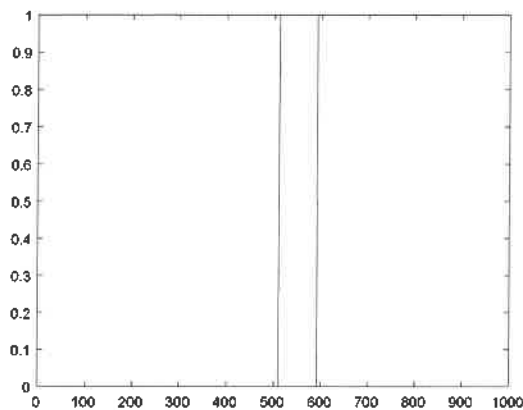
После детектирования изображений тремя нейронными

сетями производится окончательный анализ, результатом которого является одно из чисел: 0, 1 или 2. Данные числа обозначают те же неисправности, что и номера классов на выходе из первой нейронной сети. В ходе исследования были построены графики (рисунок 4), где по вертикальной оси были отложены номера неисправностей, а по горизонтальной – время, измеряющееся в секундах.

Таблица 1 – Неисправности в трансформаторе

Номер неисправности	Нейронная сеть	
	первая	вторая и третья
0	Нормальная работа	Нормальная работа
1	МКЗ на первичной обмотке трансформатора	МКЗ
2	МКЗ на вторичной обмотке трансформатора	–

а)



б)

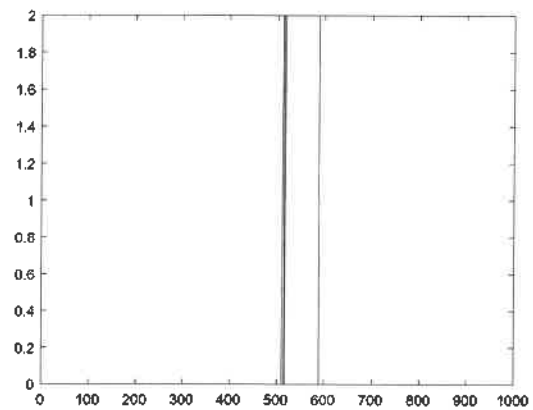


Рисунок 4 – Результаты проведения испытаний при обнаружении МКЗ на первичной (а) и на вторичной (б) обмотках

Как видно из данных графиков рисунка 4, МКЗ наступает после пятисотой секунды исследования.

Научная новизна материала статьи заключается в практическом применении сверточных нейронных сетей, которые в режиме реального времени анализируют информацию, классифицируют различные отклонения и диагностируют определенный вид дефекта. Практическая значимость – в снижении неплановых отказов, своевременном предупреждении о развитии повреждения.

Список литературы

- 1 Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М. : Техносфера, 2005. – 1072 с.
- 2 Bundzel, M. Object identification in dynamic images based on the memory-prediction theory of brain function / M. Bundzel, S. Hashimoto // Journal of Intelligent Learning Systems and Applications. – 2010. – Vol. 2, no 4. – P. 212–220.
- 3 Буй, Т. Т. Ч. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью

вейвлет-преобразования Хаара и нейронных сетей / Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, В. Г. Спицын // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319, № 5. – С. 103–106.

- 4 Пехота, А. Н. Диагностирование межкатушечных коротких замыканий трансформаторов с помощью комплексного анализа данных приборного учета / А. Н. Пехота, В. Н. Галушко, И. Л. Громыко // Энергоэффективность. – 2020. – № 2. – С. 24–28.

- 5 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.

- 6 Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учеб. пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 64 с.

- 7 Паздников, И. Л. Для проверки катушек индуктивности / И. Л. Паздников // Радио. – 1990. – № 7. – С. 68–69.

- 8 Воробьев, В. Е. Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В. Е. Воробьев, В. Я. Кучер. – СПб. : СЗТУ, 2004. – 56 с.

Получено 18.10.2021

V. N. Galushko, A. N. Evdasev, I. L. Gromyko. Improving the diagnosis of transformers using convolutional neural networks.

The methods of diagnosing various transformer defects and the method of their classification using convolutional neural networks are considered. The use of these neural networks will allow real-time mode to analyze information, classify various deviations and diagnose defects. The paper provides an analysis of information for the classification of such damage such as inter-touch closures, semi-phase short circuits, the defects of the interstic insulation of the magnetic pipeline, the local closure of the steel plates and the "fire" in the steel.

УДК 656.225.04

К. М. ШКУРИН, магистр технических наук, Белорусская железная дорога, г. Минск

ФОРМИРОВАНИЕ НОВЫХ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНПОТОКОВ

Проанализирована динамика изменения основных количественных и качественных показателей, характеризующих эксплуатационную работу Белорусской железной дороги в постсоветский период. Рассмотрены некоторые факторы, влияющие на усиление конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта в условиях рыночной экономики. На основе анализа требований, предъявляемых грузоотправителями и грузополучателями к качеству транспортных услуг, сделан вывод о необходимости формирования новых подходов к выбору системы организации вагонопотоков с использованием дополнительных параметров для оценки её эффективности.

После распада СССР одной из важнейших задач для руководства Белорусской железной дороги стало обеспечение эффективности функционирования транспортной системы с учетом изменившихся экономических условий. К числу вызовов, с которыми столкнулась железная дорога в новых условиях, можно отнести следующие.

1 Усиление конкуренции с другими видами транспорта, в первую очередь с автомобильным транспортом.

2 Возникновение на рынке транспортных услуг многочисленных компаний, являющихся собственниками или арендаторами подвижного состава.

3 Более глубокая интеграция экономики государств в региональную и мировую экономические системы, вызвавшая усиление зависимости национальной транспортной системы от изменения внешних условий.

В обзоре транспортного сектора Республики Беларусь, выполненном в 2020 году Всемирным банком в рамках проекта «InfraSAP – Беларусь», результаты работы Белорусской железной дороги в первые десятилетия после распада СССР охарактеризованы как очень хорошие [6].

Данные о грузообороте Белорусской железной дороги в 1991–2020 гг. приведены на рисунке 1.

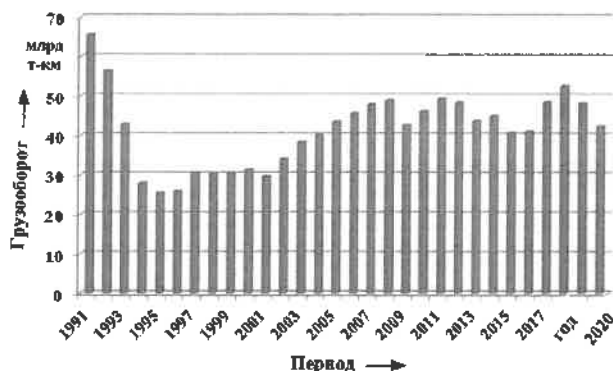


Рисунок 1 – Грузооборот Белорусской железной дороги в 1991–2020 гг.

После сложившегося в первой половине 90-х годов XX века периода резкого падения объемов перевозок, вызванного распадом СССР и разрушением существовавших логистических цепочек, на Белорусской железной дороге был достигнут стабильный рост грузооборота, продолжавшийся до 2008 года. В 2009 году объем грузовых перевозок снизился под влиянием мирового экономического кризиса, однако сравнительно быстро восстановился и уже в 2011 году превысил уровень 2008 года.

Тем не менее можно утверждать, что в 2011–2020 гг. значительного увеличения грузооборота на Белорусской железной дороге достигнуто не было, что свидетельствует об окончании периода восстановительного роста железнодорожных перевозок. В 2020 году тарифный грузооборот Белорусской железной дороги составил только 85,9 % к уровню 2011 года.

Динамика изменения качественных показателей эксплуатационной работы Белорусской железной дороги также позволяет сделать вывод об отсутствии существенного повышения эффективности использования подвижного состава в последние десятилетия.

На рисунке 2 показана динамика изменения оборота грузового вагона на Белорусской железной дороге в 1991–2020 гг.

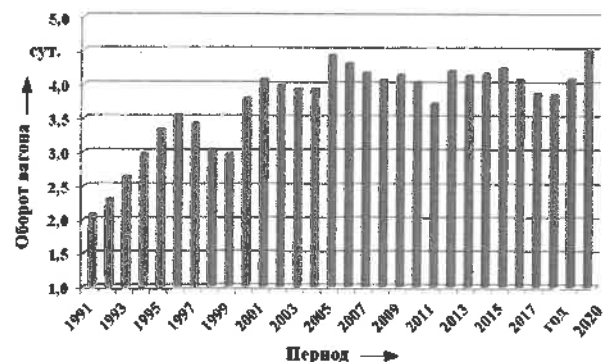


Рисунок 2 – Оборот грузового вагона в 1991–2020 гг.

Оборот грузового вагона на Белорусской железной дороге, составлявший в середине 1990-х годов от 3,0 до 3,5 суток, в последние годы выполняется на уровне 4,0–4,5 суток, что связано со значительным увеличением рабочего парка вагонов. Хотя среднесуточная работа Белорусской железной дороги также заметно возросла за рассматриваемый период, темпы увеличения объемов работы существенно уступают темпам роста вагонного парка, что свидетельствует о снижении эффективности использования подвижного состава. Так, в период с 2000 по 2020 год рабочий парк вагонов возрос на 72 %, в то время как среднесуточная работа вагонного парка увеличилась приблизительно на 45 %.

Показатели использования локомотивного парка также свидетельствуют об отсутствии устойчивой положительной динамики. Данные об изменении среднесуточной производительности локомотива в 1991–2020 гг. представлены на рисунке 3.

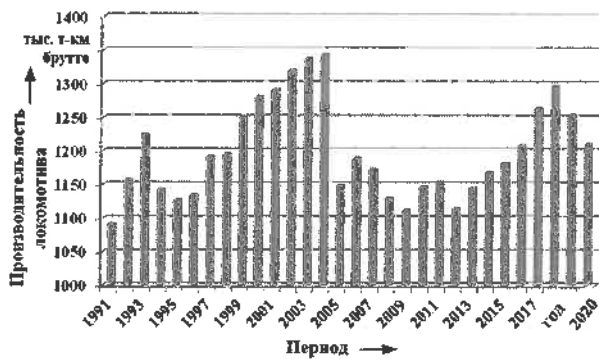


Рисунок 3 – Производительность локомотива в 1991–2020 гг.

Снижение грузооборота в первой половине 1990-х годов вызвало необходимость значительного сокращения эксплуатируемого парка локомотивов грузового движения для приведения его в соответствие с выполняемыми объемами работы. Такие меры, как удлинение участков работы локомотивных бригад, минимизация остановок грузовых поездов для обгона и скрещения, организация безобгонного пропуска длинносоставных поездов, позволили к концу 1990-х годов сократить эксплуатируемый парк локомотивов в грузовом движении почти в 3 раза (от 347 локомотивов в 1991 году до 124 локомотивов в 1999 году), что привело к увеличению производительности локомотива.

В начале XXI века рост грузооборота обусловил увеличение эксплуатируемого парка локомотивов, причем в 2005–2008 гг. темпы роста эксплуатируемого парка заметно превышали темпы роста грузооборота, что вызвало снижение производительности локомотивов.

В последнем десятилетии эксплуатируемый парк стабилизировался на уровне 175–190 локомотивов в сутки, причем до 2018 года постепенное увеличение грузооборота позволяло обеспечить плавное повышение производительности, тогда как с 2019 года в выполнении производительности локомотивов вновь наметилась негативная тенденция. Следует отметить, что в 2019–2020 гг. отрицательная динамика выполнения производительности локомотива в значительной степени обусловлена увеличением числа ежесуточно следующих по Белорусской железной дороге контейнерных поездов, имеющих относительно малый вес.

Безусловно, некоторое влияние на динамику выполнения показателей эксплуатационной работы в 1991–2020 гг. оказывали изменения, вносимые в методику их учета. Тем не менее представленные данные позволяют сделать вывод о том, что за последнее десятилетие на Белорусской железной дороге не удалось достичь как существенного увеличения объемов работы, так и повышения эффективности использования подвижного состава. Более того, отдельные показатели были ухудшены в сравнении с уровнем 1990-х годов.

В среднесрочной перспективе изменение геополитической обстановки может оказать отрицательное влияние на доходы Белорусской железной дороги. В последние годы, несмотря на увеличение объемов грузовых перевозок в сообщении между Китаем и Западной Европой, способствующее увеличению транзитного грузооборота, сложившаяся тенденция к снижению грузооборота между Россией и Украиной, а также уменьшение объемов торговли Республики Беларусь с рядом соседних государств привели к сокращению международных перевозок по железной дороге.

Усиливающаяся конкуренция со стороны автомобильного транспорта также может привести к снижению существующих объемов работы. Даже на этапе сравнительно быстрого увеличения объемов перевозок на железнодорожном транспорте в 2000–2008 гг. темпы роста автомобильных перевозок в Республике Беларусь значительно превышали рост железнодорожных перевозок. Согласно исследованию [6], в период с 2000 по 2015 г. объем автомобильных перевозок увеличивался в среднем на 11 % в год, железнодорожных перевозок – на 1,8 % в год. Доля железнодорожных перевозок в общей структуре грузооборота Республики Беларусь за указанный период снизилась от 35 % в 2000 году до 32 % в 2015 году.

Увеличение роли автомобильных перевозок в грузообороте Республики Беларусь в высокой степени обусловлено значительными инвестициями в дорожно-транспортную сеть. Так, бюджет Государственной программы развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы был распределен между автомобильным, железнодорожным транспортом и гражданской авиацией в процентном соотношении приблизительно 60/20/20 соответственно; аналогичное соотношение сохранено и в Государственной программе «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что для сохранения и укрепления роли железнодорожного транспорта в экономике Республики Беларусь требуется в значительной степени пересмотреть сложившиеся подходы к организации перевозочного процесса. Это означает необходимость как реализации мер, направленных на повышение привлекательности железнодорожного транспорта для грузоотправителей и грузополучателей, так и оптимизации затрат, связанных с организацией грузовых перевозок, путем повышения эффективности использования подвижного состава.

Среди требований, предъявляемых грузовладельцами к организации перевозочного процесса, можно выделить следующие [5]:

- организация перевозки в минимальные сроки после предоставления соответствующей заявки;
- достаточно высокая скорость доставки груза;
- надежность перевозки, включающая в себя как обеспечение сохранности перевозимого груза, так и исключение непредвиденных задержек в процессе перевозки;
- удобство документального оформления предоставляемых услуг;
- формирование конкурентоспособных и прозрачных тарифов на оказываемые услуги.

Один из важнейших путей удовлетворения требований к организации перевозок – разработка и соблюдение эффективного графика движения поездов на основе оптимального плана формирования, что обеспечивает соблюдение заявленных параметров перевозки, скорости движения, отсутствие задержек поездов по отправлению и в пути следования. Особое место при этом должно отводиться расширению области применения грузовых перевозок с увеличенной скоростью доставки.

Функционирование экономики в рыночных условиях привело к увеличению неравномерности грузо- и вагонопотоков. Среднесуточные значения указанных показателей в течение значительной части года могут существенно отличаться от расчетных значений, используемых при разработке плана формирования поездов,

вследствие чего струи вагонопотоков, выделенные по плану формирования в самостоятельные назначения, в определенные периоды становятся неэффективны, так как не достигают минимальных размеров, необходимых для превышения экономии от проследования технических станций без переработки над затратами на накопление. В то же время струи вагонопотоков, не выделенные в самостоятельные назначения, при значительном увеличении их размеров могут стать экономически эффективными.

Кроме того, работа в условиях рыночных отношений определяет необходимость совершенствования методов экономической оценки графика движения поездов и плана формирования поездов, а также экономического обоснования нормативов, закладываемых при разработке системы организации вагонопотоков.

В начале XX века на ранних этапах формирования теории организации вагонопотоков в качестве важнейшего показателя, определяющего качество эксплуатационной работы, было выбрано ускорение оборота вагона путем сокращения затрат вагоно-часов. В значительной степени это было обусловлено дефицитом подвижного состава, поскольку темпы увеличения вагонного парка не соответствовали стремительно возрастающей потребности в грузовых перевозках [1].

В последние десятилетия произошли значительные изменения во многих внешних условиях, оказывающих влияние на работу железнодорожного транспорта.

Прежде всего, темпы увеличения потребности в организации грузоперевозок железнодорожным транспортом заметно снизились. Под влиянием возрастающей конкуренции со стороны автомобильного транспорта уменьшается роль железнодорожного транспорта в перевозках некоторых номенклатурных групп грузов, в первую очередь, высокодоходных грузов, перевозимых небольшими партиями [2].

Сокращение объемов перевозок грузов, а также появление в государствах – участниках СНГ компаний, владеющих собственным подвижным составом, в свою очередь, привели к тому, что нередко возникает профицит подвижного состава, вызывающий необходимость отставления невостребованных вагонов от движения. Так, в 2020 году на Белорусской железной дороге ежедневно было отставлено от движения более 900 невостребованных порожних вагонов инвентарного парка.

Таким образом, в современных условиях использование экономии вагоно-часов как основного критерия оценки качества системы организации вагонопотока теряет актуальность. Переход к рыночной экономике вызвал необходимость применения при разработке плана формирования и графика движения поездов новых пара-

метров, которые позволят как оценивать соответствие системы организации вагонопотоков требованиям, предъявляемым грузовладельцами к качеству перевозочных услуг, так и учитывать эффективность использования подвижного состава и транспортной инфраструктуры. В качестве одного из таких параметров может быть использован *параметр экономии приведенных вагоно-часов при следовании вагонов и локомотивов в сквозных поездах*, позволяющий в ходе расчета оптимального варианта плана формирования поездов учитывать влияние на эксплуатационные затраты расходов, связанных с нахождением вагонов и локомотивов в движении [3].

При определении экономического критерия оптимальности плана формирования поездов и графика движения поездов важное значение имеет изучение влияния перехода железных дорог колеи 1520 мм к работе с приватным вагонным парком. Наблюдающаяся в последние десятилетия тенденция к увеличению доли частных вагонов в структуре вагонного парка привела к возникновению определенных затруднений в организации перевозочного процесса. В частности, произошло возрастание средней продолжительности нахождения вагона на технической станции, сократилась производительность грузового локомотива, появился избыток вагонного парка, что существенно снизило пропускную и перерабатывающую способности станций. В связи с вышеизложенным использование комплексного экономического критерия при выборе оптимального варианта плана формирования поездов в условиях работы с приватным вагонным парком приобретает высокую актуальность.

Список литературы

- 1 Левин, Д. Ю. Организация вагонопотоков в рыночных условиях / Д. Ю. Левин // Мир транспорта. – 2017. – № 4 (71). – С. 178–192.
- 2 Лукьянова, О. В. Проблемы конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта / О. В. Лукьянова, Ф. И. Хусайнов // Экономика железных дорог. – 2013. – № 12. – С. 64–78.
- 3 Негрей, В. Я. Особенности расчета плана формирования одногруппных поездов в рыночных условиях / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник ВНИИЖТ. – 2018. – Т. 77, № 3. – С. 133–140.
- 4 Осьминин, А. Т. Развитие системы организации вагонопотоков с учетом политики клиентоориентированности / А. Т. Осьминин // Бюллетень ОУС ОАО «РЖД». – 2017. – № 5–6. – С. 27–39.
- 5 Плеханов, П. А. Проблема формирования требований к качеству и безопасности перевозочных услуг железнодорожного транспорта / П. А. Плеханов // Экономика железных дорог. – 2015. – № 10. – С. 20–27.
- 6 Belarus Infrastructure Sector Assessment Program. Railways. – 2020. – 58 p.

Получено 17.05.2021

K. M. Shkurin. New approaches to the development of car traffic system.

The dynamics of quantitative and qualitative indicators for the operational work of the Belarusian Railway in the post-Soviet period is analyzed. Distinct factors leading to strengthening competition between rail and road transport in a market economy are considered. Based on the analysis of the requirements to the quality of transport services, the conclusion about the necessity of new approaches to the development of car traffic system is made.

УДК 656.2.004

О. А. ТЕРЕЩЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕСТНОЙ РАБОТОЙ

Представлены теоретические основы создания информационных моделей местной работы, направленных на обеспечение необходимой детализации транспортной технологии в режиме реального времени на основе процессно-объектного подхода к отображению состояний перевозочного процесса. Приведена структура потребной информационной базы для полной идентификации подвижного состава одновременно по технологическому состоянию и дислокации на железнодорожном полигоне. Представлен алгоритм решения задачи идентификации технологических операций, выполняемых в местной работе, и текущей дислокации подвижного состава на основе предложенной модели. Даны рекомендации по практической реализации разработок в составе информационно-управляющей системы центра управления местной работой.

Повышение уровня цифровизации перевозочного процесса и создание необходимых условий для полномасштабного внедрения интеллектуальной системы управления перевозками требуют разработки специальных информационных моделей, которые должны обеспечивать [5, 7]:

- потребный уровень детализации транспортной технологии для обеспечения учета возможных (допустимых) сценариев реализации перевозочного процесса;

- единый процессно-объектный подход к отображению состояний перевозочного процесса (текущего, ретроспективного, прогнозного);

- информационное отображение выполнения операций перевозочного процесса в режиме реального времени (с допустимым запаздыванием по ответственным операциям не более 1 мин);

- наличие единых источников для каждого вида исходных данных;

- внутреннюю непротиворечивость и однозначную интерпретацию выходной информации.

Решение поставленных задач в сфере управления местной работой сопряжено с дополнительными трудностями, обусловленными воздействием внешних факторов. Это результат непосредственного взаимодействия перевозчиков, клиентов, операторов инфраструктуры и других участников перевозочного процесса.

Местная работа включает в себя комплекс операций по доставке вагонов в поездах на станции выполнения грузовых операций, обеспечению станций погрузки порожними вагонами, выполнению погрузки и выгрузки вагонов, обеспечению своевременного отправления вагонов после завершения грузовых операций. В результате проведенного анализа установлено, что:

- в системе управления перевозками отсутствует детализированная модель инфраструктуры станций, мест общего и необщего пользования; это не позволяет достоверно контролировать перевозочный процесс на всех фазах его реализации;

- в системе управления перевозками отсутствуют сведения о дислокации подвижного состава в режиме реального времени, что затрудняет решение задач оперативного планирования местной работы с высоким уровнем достоверности;

- решение задач организации и управления местной работой на полигоне железной дороги осуществляется со значительной долей экспертных оценок в процессе принятия управленческих решений.

Повышение уровня управляемости перевозочного процесса в указанных условиях может быть осуществлено за счет [2, 4–6]:

- разработки и внедрения алгоритмов динамического прогнозирования времени подхода грузовых поездов всех категорий к техническим станциям в районе местной работы;

- разработки и внедрения алгоритмов динамического прогнозирования времени завершения грузовых операций с вагонами в районе местной работы на местах общего и необщего пользования;

- создания динамической модели перевозочного процесса, позволяющей пооперационно и пообъектно моделировать обслуживание транспортного потока в режиме реального времени и получать более детальные и точные результаты оперативного планирования местной работы на объектах управления;

- осуществления точного динамического позиционирования в режиме реального времени подвижного состава на инфраструктуре станций, перегонов, мест общего и необщего пользования.

Решение приведенных задач является основой для создания эффективной технологии управления местной работой, а также для реализации контрольных функций в процессе текущей и итоговой оценки параметров и показателей перевозочного процесса.

Прогнозирование времени подхода грузовых поездов к техническим станциям и времени завершения грузовых операций с вагонами предлагается осуществлять на основе специально разработанной динамической модели перевозочного процесса, которая позволяет применить новый подход в оперативном планировании местной работы [4, 5].

В модели идентифицированы, классифицированы и представлены в формализованном виде инфраструктурные и динамические объекты железнодорожного транспорта, что обеспечивает пооперационное моделирование обслуживания транспортного потока в режиме реального времени и получение более детальных и точных результатов оперативного планирования местной работы на объектах управления. Динамическая модель позволяет алгоритмизировать задачи оперативного планирования, решаемые в режиме реального времени. Она может быть принята в качестве основы развития информационно-аналитических систем, что обеспечит улучшение результатов оперативного планирования и управления.

Объектами динамической модели перевозочного процесса являются [4]: 1) объекты инфраструктуры: перегоны, станции и их подсистемы; 2) динамические объекты: вагонный парк, грузы, локомотивный парк, вспомогательные объекты.

Информационная и технологическая составляющая динамической модели сформирована в виде модели местной работы. В ней каждый модуль рассматривается как система двух параллельных процессов: а) обработки вагонопотока; б) оперативного управления, включающего обработку документов и информационных потоков.

В результате проведенных исследований установлено, что совокупное влияние случайных факторов при моделировании местной работы может быть описано функциями плотности распределения вероятности остатков прогноза времени прибытия вагонов на техническую станцию и времени завершения выполнения с вагонами грузовых операций [5, 6].

Выполняемые с вагонами операции в модели предлагается представлять в виде последовательной структуры. В ней цепи операций, выполняемых по мере поступления вагонов в канал обслуживания, разделены операциями, выполняемыми по расписанию. При этом для каждого момента расписания формируется нечеткое множество из числа готовых к обработке вагонов и набора ограничений, которыми выступают допустимая длина железнодорожного состава и его допустимая масса.

Оперативный прогноз перевозочного процесса составляется в виде расписания с указанием в нем для каждой операции возможных моментов начала выполнения и нечетких множеств готовых к обработке вагонов.

При решении задачи оперативного планирования (на основе выполненного прогноза) производится анализ нечетких множеств [3, 6]:

- определяется математическое ожидание числа вагонов, готовых к обработке для каждого момента расписания (основа для составления оперативного плана);
- формируются альфа-срезы нечетких множеств (оценка устойчивости числа накопленных вагонов).

Технологические риски для оперативного плана оцениваются расчетом [1]:

- вероятности нарушения для вагона предельно допустимого времени нахождения в технологической це-

пи, что может повлечь нарушение срока доставки груза; – вероятности нарушения ограничений для операций, выполняемых по расписанию. В результате могут наблюдаться необоснованные простои вагонов, нерациональное использование производственных ресурсов.

Оперативный анализ перевозочного процесса предлагается выполнять на основе предложенной модели накопления вагонов, учитывающей вероятностный характер поступления вагонов в накопление. Модель имеет три составляющие, каждая из которых адаптирована к параметрам неопределенности информации о поступлении вагонов в накопление.

При решении задач организации перевозочного процесса в районе местной работы необходимо использовать преимущества, предоставляемые технологиями GPS и цифровой инфраструктуры. Это позволит:

- производить автоматическую регистрацию событий, связанных с выполнением операций технологического процесса;
- обеспечить представленную динамическую модель информацией с привязкой в режиме реального времени к установленным точкам контроля;
- обеспечить ведение детализированной вагонной и локомотивной моделей местной работы в режиме реального времени.

Геопозиционирование предлагается осуществлять только для тягового подвижного состава. Результаты его позиционирования предлагается сопоставлять с моделями автоматизированной системы управления станцией (АСУС), информационно-аналитической системы поддержки управленческих решений в грузовых перевозках (ИАС ПУРГП) и системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов (МПЦ), что позволит:

- однозначно идентифицировать нахождение подвижного состава на одном из параллельных путей, решив задачу ликвидации погрешности позиционирования;
- обеспечить точное позиционирование вагонов только за счет привязки их к локомотиву в маневровом составе (без оборудования вагонов датчиками).

Схематическое изображение маневровой операции, выполняемой в местной работе, и сопутствующих информационных и технологических процессов представлено на рисунке 1.

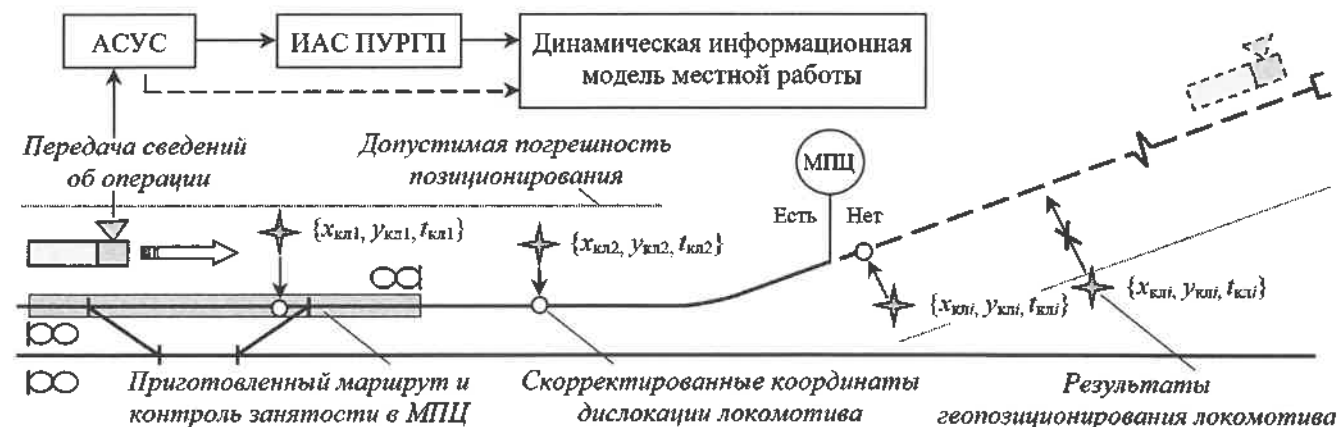


Рисунок 1 – Схема выполнения маневровой операции во взаимосвязи с сопутствующими информационными и технологическими процессами

Потребная информационная база для полной идентификации подвижного состава одновременно по технологическому состоянию и дислокации на железнодорожном полигоне (включая места общего и необщего пользования) содержит:

1) перечень выполненных операций для каждого i -го маневрового локомотива, применяемого в местной работе:

$$O_{ni}(t) = \begin{vmatrix} o_{n1} & o_{n2} & \dots & o_{nm} \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & t_{nm} \end{vmatrix}, \quad (1)$$

где o_{nj} – технологический признак (идентификатор) j -й выполненной с маневровым локомотивом операции; t_{nj} – момент времени завершения выполнения с маневровым локомотивом j -й операции;

2) перечень выполненных операций для каждого i -го вагона (маневрового состава, состава поезда, поезда), участвующего в местной работе:

$$O_{vi}(t) = \begin{vmatrix} o_{v1} & o_{v2} & \dots & o_{vm} \\ t_{v1} & t_{v2} & \dots & t_{vm} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где o_{vj} – технологический признак (идентификатор) j -й выполненной с вагоном (маневровым составом, составом поезда, поездом) операции; t_{vj} – момент времени завершения выполнения с вагоном (маневровым составом, составом поезда, поездом) j -й операции;

3) сведения о подготовленных маршрутах в МПЦ:

$$E_{mi}(t) = \begin{vmatrix} \bigcup_{k1} sig_{1k1} & \bigcup_{k2} sig_{2k2} & \dots & \bigcup_{kr} sig_{rk1} \\ t_{m1} & t_{m2} & \dots & t_{mr} \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где $\bigcup_j sig_{ij}$ – перечень светофоров (в точной последовательности), входящих в j -й подготовленный в МПЦ маршрут; t_{mj} – момент времени завершения приготовления j -го маршрута в МПЦ;

4) сведения о занятости путей и стрелочных секций в МПЦ:

$$E_{si}(t) = \begin{vmatrix} sek_{s1} & sek_{s2} & \dots & sek_{sq} \\ t_{s1} & t_{s2} & \dots & t_{sq} \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где sek_{sj} – идентификатор (номер) j -го занятого в МПЦ пути, секции пути или стрелочной секции; t_{sj} – момент времени занятия j -го пути, секции пути или стрелочной секции в МПЦ;

5) данные о геолокации маневровых локомотивов, применяемых в местной работе:

$$K_{ni}(t) = \begin{vmatrix} x_{kn1} & x_{kn2} & \dots & x_{knr} \\ y_{kn1} & y_{kn2} & \dots & y_{knr} \\ t_{kn1} & t_{kn2} & \dots & t_{knr} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где x_{knj} – абсцисса в выбранной системе координат, соответствующая дислокации маневрового локомотива в j -й момент времени t_{knj} ; y_{knj} – ордината в выбранной системе координат, соответствующая дислокации маневрового локомотива в j -й момент времени t_{knj} .

Подходы к решению задачи совместной идентификации операций, выполняемых в местной работе, и дислокации подвижного состава представлены на рисунке 2.

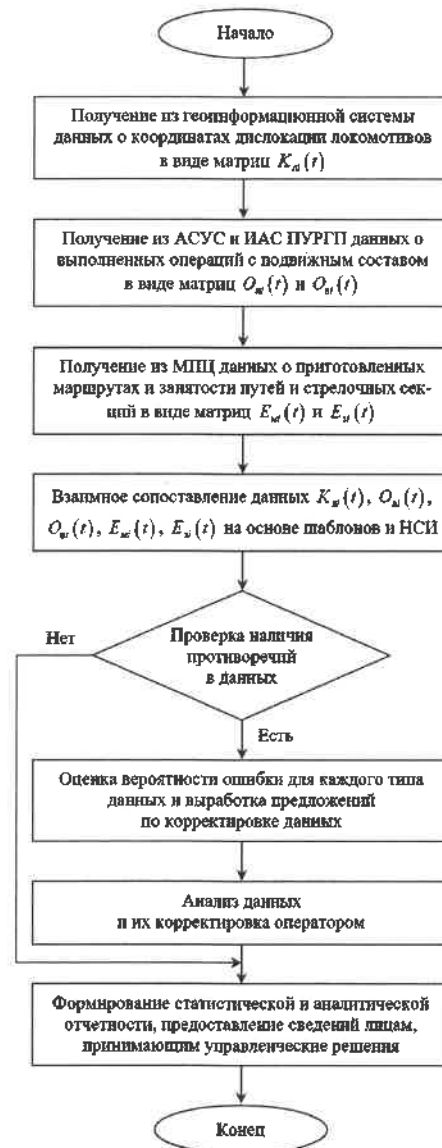


Рисунок 2 – Алгоритм решения задачи идентификации выполняемых операций во взаимосвязи с дислокацией подвижного состава

Процесс идентификации основан на сопоставлении данных $K_{ni}(t)$, $O_{wi}(t)$, $O_{vi}(t)$, $E_{mi}(t)$, $E_{si}(t)$ с применением нормативно-справочной информации и шаблонов, включающих:

- топологию объектов инфраструктуры и таблицы взаимной принадлежности их элементов (пересечения подмножеств);
- таблицы соответствия операций объектам инфраструктуры (все возможные варианты занятия объектов);
- геометрические и эксплуатационные характеристики подвижного состава.

Комплексная реализация и внедрение предложенных решений предполагает создание информационно-управляющей системы центра управления местной работой (ИУС ЦУМР). Предлагаемое место ИУС ЦУМР в существующей информационной среде Белорусской железной дороги представлено на рисунке 3.

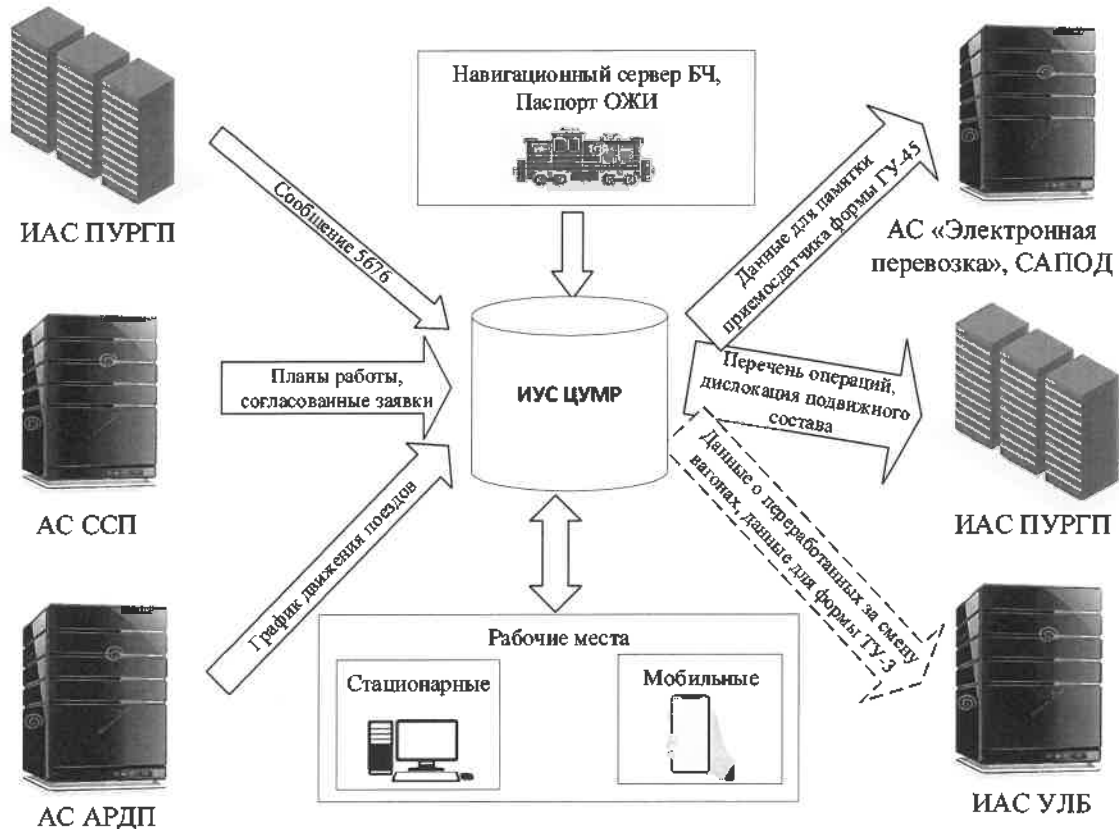


Рисунок 3 – Схема информационного взаимодействия в процессе функционирования ИУС ЦУМР

Разрабатываемая ИУС ЦУМР должна отвечать следующим требованиям и критериям:

- создаваться согласно архитектуре «тонкий клиент – сервер»;
- проектироваться как масштабируемая и расширяемая система с возможностью последующего развития имеющегося функционала;
- использовать для функционирования общесистемные справочники ИАС ПУРГП;
- предусматривать однократный ввод информации и последующее ее многократное использование;
- предоставлять возможность пользователям формировать необходимые аналитические решения.

Критерием оценки эффективности внедрения ИУС ЦУМР может служить снижение:

- потребности в перевозочных ресурсах (уменьшение эксплуатируемого количества локомотивов и парка грузовых вагонов) за счет оптимизации их использования;
- эксплуатационных расходов, связанных с содержанием парка локомотивов и грузовых вагонов, организацией маневровой работы и движения местных поездов.

При создании ИУС ЦУМР также следует учитывать необходимость:

– достижения приемлемого уровня экономической эффективности инвестиционного проекта с учетом финансово-экономического положения Белорусской железной дороги;

- обеспечения приемлемых сроков создания и внедрения программного обеспечения во взаимосвязи с комплексом необходимых технических средств;
- обеспечения соответствия заявленных требований к ИУС ЦУМР результатам ее разработки.

В структуре ИУС ЦУМР должна быть предусмотрена реализация:

- 1) подсистемы «Информационное обеспечение и взаимодействие», предназначенной для решения задач:
 - сбора и анализа данных из информационных систем и систем геопозиционирования;
 - передачи данных во взаимодействующие информационные системы;
- 2) подсистемы «Динамический контроль состояния», обеспечивающей ведение пообъектной динамической модели дислокации и состояния подвижного состава, объектов железнодорожной инфраструктуры, мест общего и необщего пользования (рисунок 4);



Рисунок 4 – Визуализация элементов пообъектной динамической модели дислокации и состояния подвижного состава

3) подсистемы «Планирование и управление», предназначенной для решения следующих задач:

- автоматического формирования планов грузовой работы, доставки вагонов с местным грузом, маневровой работы, качественных и количественных показателей работы станций и полигона управления ЦУМР;

- формирования пользователями заданий на производство подач и уборок вагонов с мест общего и необщего пользования, а также для автоматического слежения за ходом их исполнения;

4) подсистемы «Учет и анализ», обеспечивающей выполнение функций:

- по автоматическому сбору данных о результатах грузовой работы на полигоне управления ЦУМР;

- автоматическому учету показателей использования маневровых локомотивов;

- автоматическому получению, обработке и анализу информации о составах прибывающих поездов с местным грузом;

- автоматическому формированию анализа планов грузовой работы, маневровой работы, доставки местного груза;

5) подсистемы «Исполнительские процессы и математическое обеспечение», предназначенной:

- для верификации и валидации информации;

- обеспечения реализации необходимых процессов в управлении местной работой с учетом пользовательских прав, функциональных ролей и текущего технологического состояния объектов управления;

6) подсистемы «Доступ и авторизация», предназначенной для обеспечения:

- авторизации и аутентификации пользователей в системе;

- доступа к информации на трех уровнях: 1) администратор (полный доступ с правами администрирования базы данных и учетных данных пользователей); 2) пользователь с уровнем доступа, который позволяет вносить изменения в параметры работы системы; 3) пользователь без права внесения изменений.

В заключение следует отметить, что реализация ИУС ЦУМР в намеченных объемах и в запланированные сроки по предварительным оценкам является экономически целесообразной. Внедрение намеченных мероприятий технического, технологического и информационного характера позволит организовать более эффективное управление местной работой на полигоне Белорусской железной дороги.

Список литературы

1 Акимов, В. А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

2 Гарлицкий, Е. И. Оперативное управление развозом местного груза в железнодорожных узлах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Е. И. Гарлицкий; Дальнев. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2015. – 24 с.

3 Долгополов, П. В. Удосконалення управління потоками у транспортному вузлі за допомогою апарату нечітких нейронних мереж / П. В. Долгополов, О. О. Бовкун // Східноєвропейський журнал передових технологій. – Харків, 2012. – Вип. 2. – С. 30–32.

4 Терещенко, О. А. Динамическая модель перевозочного процесса для решения задачи оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 1 (34). – С. 68–71.

5 Терещенко, О. А. Оперативное планирование местной работы железнодорожных участков и узлов с использованием динамической модели перевозочного процесса / О. А. Терещенко // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2016. – № 12. – С. 80–89.

6 Терещенко, О. А. Технология оперативного планирования местной работы железнодорожных участков и узлов / О. А. Терещенко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 79–82.

7 Erofeev, A. Intelligent management of the railway transportation process: object model / A. Erofeev, N. Erofeeva // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / редкол.: В. В. Голенков [и др.]. – Минск: БГУИР, 2017. – С. 281–284.

Получено 04.11.2021

O. A. Tereshchenko. Information support of technological processes in railway local work management.

The article presents theoretical foundations for creating information models of the railway local work, aimed at providing necessary detailing of transport technology in real time based on the process-object approach to displaying states of the transportation process. It is given a structure of required information base for a complete identification of the rolling stock at the same time according to the technological state and dislocation at the railway site. Here are presented an algorithm for solving a problem of identifying technological operations carried out in railway local work and the current dislocation of rolling stock based on the proposed model. In the article are given recommendations for a practical implementation of developments as part of an information management system in the railway local work management center.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА СЪЕМА ПОЕЗДОВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Уточнена методика расчета коэффициента съема поездов при организации высокоскоростного движения. Выполнен факторный анализ влияния эксплуатационных параметров железнодорожной линии на значения основного и дополнительного съема. Получены аналитические зависимости составляющих коэффициента съема от скоростей движения грузовых и пассажирских поездов, длин блок-участков, расстояния между станциями обгона. Сформулированы рекомендации по повышению пропускной способности при организации смешанного движения грузовых и высокоскоростных пассажирских поездов.

Введение. Расчет пропускной способности железнодорожных участков и направлений при организации высокоскоростного движения по существующей путевой инфраструктуре является основой для корректных технико-экономических оценок. При аналитическом расчете пропускной способности участка при непараллельном графике базовым параметром является коэффициент съема [1].

Аналитический метод расчета коэффициента съема базируется на оценке количества пересечений ниткой одного пассажирского поезда, ниток грузовых поездов попутного направления и последующего анализа факторов, влияющих на коэффициент съема. Метод определения коэффициента съема эволюционировал от анализа периода графика на перегоне (1960-е годы), анализа периодов графика на смежных перегонах (1970-е годы) до общего анализа всего участка в 1980-х годах [2–5]. Общим подходом в данных методах является разделение коэффициента съема на две составные части: основной коэффициент съема $\epsilon_{осн}$ и дополнительный коэффициент $\epsilon_{доп}$.

Многие научные работы посвящены проблематике оценки коэффициента съема при скоростях пассажирских поездов до 200 км/ч. В данной работе выполнено исследование изменения коэффициента съема поездов при скоростях от 200 до 250 км/ч. Идея уточнения аналитического метода расчета коэффициента съема для пассажирских поездов, следующих со скоростью 250 км/ч, заключается в следующем:

1) анализ состава и влияющих факторов коэффициента съема для высокоскоростного пассажирского поезда, следующего со скоростью 250 км/ч;

2) анализ изменения основного коэффициента съема $\epsilon_{осн}$ при скорости 250 км/ч;

3) анализ изменения коэффициента дополнительного вычитания $\epsilon_{доп}$ при скорости 250 км/ч.

1 Факторный анализ коэффициента съема. Поезда на двухпутном участке, оборудованные автоматической блокировкой, движутся с разграничением межпоездными интервалами, которые зависят от величин и количества блок-участков, разницы скоростей движения пассажирских и грузовых поездов, схем прокладки поездов в ГДП [6].

Рассмотрим влияние данных факторов на коэффициент съема.

1 Оценка зоны влияния одного пассажирского поезда. Зоной влияния пассажирского поезда будем считать период ГДП между нитками грузовых поездов,

не пересекающимися с пассажирским поездом (рисунок 1) [7].

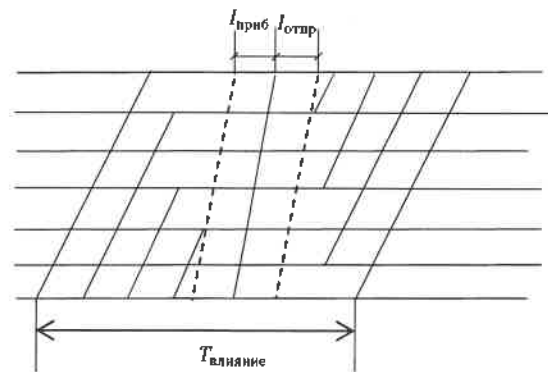


Рисунок 1 – Зона влияния пассажирского поезда

Оценка зоны влияния пассажирских поездов производится исходя из принципа «максимальной» прокладки, т. е. на всех станциях скрещения между пассажирскими и грузовыми поездами с обеих сторон имеется как минимум один межпоездной интервал, достаточный для выполнения требований $I_{приб}$ и $I_{отпр}$, грузовые поезда прокладываются с соблюдением межпоездных интервалов I .

Таким образом, продолжительность зоны влияния пассажирского поезда

$$T_{вл} = (n_{обгон} + 1)I + I_{приб} + I_{отпр} + t_p + t_3 + \delta T, \quad (1)$$

где $n_{обгон}$ – количество грузовых поездов в зоне влияния пассажирского поезда

$$n_{обгон} = \left[\frac{\sum \Delta t_{гр.i}}{I} = \frac{\sum (\Delta t_{гр.i} - t_{пас.i})}{I} \right], \quad (2)$$

$t_{гр.i}$ – время следования грузового поезда между зонными станциями участка i , мин; $t_{пас.i}$ – время следования пассажирского поезда между зонными станциями участка i , мин; Δt_i – разница во времени следования грузовых и пассажирских поездов по перегону, мин; $[]$ – символ округления в меньшую сторону; $I_{приб}$, $I_{отпр}$ – интервалы неодновременного прибытия и попутного отправления поездов; t_p , t_3 – дополнительные затраты времени на разгоны и замедления грузовых поездов на обгонных станциях; δT – затраты времени на остановку грузового поезда для пропуска пассажирского и его отправление

$$(I_{\text{приб}} + I_{\text{отпр}} + t_p + t_3),$$

$$\delta T = \delta t_{\text{слева}} + \delta t_{\text{справа}},$$

$\delta t_{\text{слева}}, \delta t_{\text{справа}}$ – смещение между воображаемыми нитками грузовых поездов по обе стороны от пассажирского поезда на станции обгона.

Величина δT обусловлена разницей во времени хода пассажирских и грузовых поездов, проходящих по участку i Δt_i . Значение δT определяется для каждой станции обгона.

2 Факторный анализ коэффициента съема одного пассажирского поезда. Исходя из определения коэффициента съема и зоны влияния пассажирского поезда, коэффициент съема для одного пассажирского поезда

$$\epsilon_{\text{пас}} = \frac{I_{\text{приб}} + I_{\text{отпр}} + t_p + t_3 + \delta T}{I} = \frac{I_{\text{приб}} + I_{\text{отпр}} + t_p + t_3}{I} + \frac{\delta T}{I} = \epsilon_{\text{осн}} + \epsilon_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где $\epsilon_{\text{осн}}$ – основной коэффициент съема пассажирских поездов; $\epsilon_{\text{доп}}$ – дополнительный коэффициент съема пассажирских поездов.

Исходя из формулы (3) $\epsilon_{\text{осн}}$ зависит от $I_{\text{приб}}, I_{\text{отпр}}, t_p, t_3$ и I , а $\epsilon_{\text{доп}}$ зависит от δT и межпоездного интервала I . На δT в основном влияет распределение интервалов и разница в скорости между пассажирскими и грузовыми поездами, и является фиксированным значением для определенной схемы прокладки поездов в ГДП. Для каждой станции обгона можно установить значение δT , которое зависит от величин левого $\delta t_{\text{слева}}$ и правого смещения $\delta t_{\text{справа}}$. При этом значения изменяются в пределах $\delta t_{\text{слева}} = \{0; \delta t_{\text{слева}}^{\text{max}}\}$, $\delta t_{\text{справа}} = I$.

Значение δT может быть определено путем нахождения максимального значения смещения воображаемой нитки ГДП в левую сторону. Поскольку станцией обгона может быть любая промежуточная станция участка, выбираем промежуточную станцию участка i и принимаем для нее $\delta t_{\text{слева}} = 0$. Далее формируется схема пропуска пассажирского поезда по участку, при которой количество обгонов равно количеству промежуточных станций на участке m . Исходя из принципа «максимальной прокладки поездов» определяем значения $\delta t_{\text{слева}i-1}$ и $\delta t_{\text{слева}i+1}$ по следующим формулам:

$$\delta t_{\text{слева}i-1} = \begin{cases} \delta t_{\text{слева}} - t_{\text{разн}i}, & \text{когда } \delta t_{\text{слева}i} \geq t_{\text{разн}i}, \\ \delta t_{\text{слева}i} + I - t_{\text{разн}i}, & \text{когда } \delta t_{\text{слева}i} < t_{\text{разн}i}, \end{cases} \quad (4)$$

либо

$$\delta t_{\text{слева}i+1} = \begin{cases} \delta t_{\text{слева}} + t_{\text{разн}i+1}, & \text{когда } \delta t_{\text{слева}i} + t_{\text{разн}i+1} < I, \\ \delta t_{\text{слева}i} - I + t_{\text{разн}i+1}, & \text{когда } \delta t_{\text{слева}i} + t_{\text{разн}i+1} \geq I. \end{cases} \quad (5)$$

Для установления оптимальной схемы пропуска поездов выполняем расчет $\delta t_{\text{слева}}$ поочередно относительно каждой промежуточной станции участка, для которой принимаем $\delta t_{\text{слева}} = 0$. Расчет выполняем для всех станций, находящихся относительно расчетной

сверху, по формуле (4), и всех станций, находящихся снизу, по формуле (5). Схема пропуска поездов с наименьшим значением δt является наилучшей.

2 Анализ факторов, влияющих на основной коэффициент съема пассажирских поездов. Оценим влияние параметров, входящих в формулу (3), на основной коэффициент съема. К таким параметрам относятся $I_{\text{приб}}, I_{\text{отпр}}, t_p, t_3, I$, а также разница во временах хода пассажирских и грузовых поездов $t_{\text{разн}}$.

1 Влияние t_{p-3} на основной коэффициент съема. При изменении скорости движения грузовых поездов в диапазоне от 70 до 90 км/ч значение t_{p-3} остается практически неизменным и составляет 5 мин [8].

2 Влияние $I_{\text{приб}}, I_{\text{отпр}}$ на основной коэффициент съема. Согласно формуле (3), если увеличивается скорость пассажирского поезда (например, до 250 км/ч), а скорость грузового не изменяется, то значения интервалов $I_{\text{приб}}$ и $I_{\text{отпр}}$ увеличиваются. Исследование показывает, что изменение $I_{\text{приб}}$ и $I_{\text{отпр}}$ связано с такими факторами, как изменение системы сигнализации, увеличение скорости и изменение длин участков прибытия и отправления поездов.

При организации высокоскоростного движения пассажирский поезд движется по четырехзначной системе автоблокировки (рисунок 2) [6].

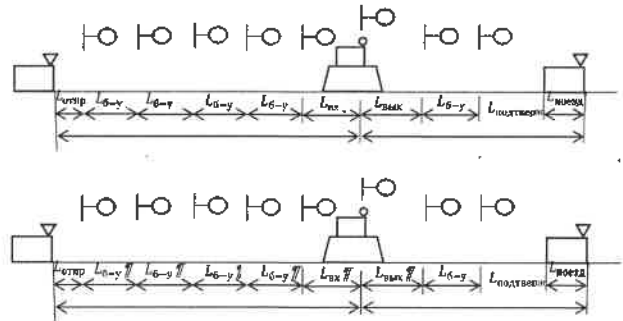


Рисунок 2 – Принципиальная схема движения пассажирских поездов по четырем сигналам автоблокировки

Пусть средняя скорость пассажирского поезда равна 90 % от максимальной эксплуатационной скорости v_{max} . Тогда

$$I_{\text{приб-проп}} + I_{\text{приб-отпр}} = \frac{0,06(nL_{\text{б-г}} + L_{\text{поезд}})}{v_{\text{max}} \cdot 90\%} + t_{\text{отпр}}, \quad (6)$$

где $I_{\text{приб-отпр}}$ – интервал времени между моментом прибытия предыдущего поезда на станцию и его остановкой и моментом проследования без остановки станции следующим поездом, включая время на приготовление маршрута и время прохождения следующим поездом одного или двух блок-участков и расстояния от входной горловины до центра станции; $I_{\text{приб-отпр}}$ – минимальный интервал между временем прохода предшествующего поезда через станцию и временем отправления следующего за ним поезда, включающий время на выполнение операций по отправлению и проследование первым поездом выходной горловины и одного блок-участка; $L_{\text{поезд}}$ – длина пассажирского поезда, м, принимается равной 500 м; n – количество блок-участков между прибытием и отправлением пассажирских поездов, обгоны других поездов; $t_{\text{отпр}}$ – время на выполнение операций по отправлению поезда.

При скоростях движения пассажирских поездов $v_{\text{пас}} \leq 120$ км/ч формула (6) примет вид

$$I_{\text{приб-проп}} + I_{\text{приб-отпр}} = \frac{0,06(6L_{\text{б-у}} + L_{\text{поезд}})}{v_{\text{пас}} \cdot 90\%} + t_{\text{отпр}} \quad (7)$$

При увеличении скорости ($v_{\text{пас}} > 120$ км/ч) расчетное значение

$$I_{\text{приб-проп}} + I_{\text{приб-отпр}} = \frac{0,06(7L_{\text{б-у}} + L_{\text{поезд}})}{v_{\text{пас}} \cdot 90\%} + t_{\text{отпр}} \quad (8)$$

Кроме того, в зависимости от допускаемых скоростей движения поездов увеличивается длина тормозного пути, что влечет за собой увеличение длин блок-участков. Выполним расчеты значения интервала $I_{\text{приб-проп}} + I_{\text{приб-отпр}}$ при длинах блок-участков, равных 1500, 1850 и 2400 м (таблица 1).

Таблица 1 – Значения $I_{\text{приб-проп}} + I_{\text{приб-отпр}}$ при различных скоростях движения поездов и длинах блок-участков

$V_{\text{пас}}, \text{ км/ч}$	$L_{\text{б-у}}, \text{ м}$		
	1500	1850	2400
100	7,33	8,73	10,93
120	6,28	7,44	9,28
140	6,24	7,40	9,24
160	5,58	6,60	8,21
200	4,67	5,48	6,77
250	3,93	4,59	5,61

На основании таблицы 1 можно сделать вывод, что, несмотря на необходимость увеличения длин блок-участков и их количества, увеличение скоростей движения пассажирских поездов способствует снижению продолжительности интервала $I_{\text{приб-проп}} + I_{\text{приб-отпр}}$.

На основании предыдущего анализа рассчитаем значения основного коэффициента съема $\epsilon_{\text{осн}}$ в зависимости от эксплуатационных параметров (таблица 2).

Таблица 2 – Величины $\epsilon_{\text{осн}}$ для различных значений скоростей движения поездов, длин блок-участков и межпоездных интервалов

$v_{\text{пас}}, \text{ км/ч}$	Минимальное значение I	$L_{\text{б-у}}, \text{ м}$		
		1500	1850	2400
100	12	1,03	1,14	1,33
	10	1,23	1,37	1,59
	8	1,54	1,72	1,99
120	12	0,94	1,04	1,19
	10	1,13	1,24	1,43
	8	1,41	1,56	1,78
140	12	0,94	1,03	1,19
	10	1,12	1,24	1,42
	8	1,40	1,55	1,78
160	12	0,88	0,97	1,10
	10	1,06	1,16	1,32
	8	1,32	1,45	1,65
200	12	0,81	0,87	0,98
	10	0,97	1,05	1,18
	8	1,21	1,31	1,47
250	12	0,74	0,80	0,88
	10	0,89	0,96	1,06
	8	1,12	1,20	1,33

На основании таблицы 2 можно сделать вывод, что основной коэффициент съема $\epsilon_{\text{осн}}$ имеет тенденцию к

уменьшению при увеличении скорости движения поездов при неизменной длине блок-участка. А увеличение длин блок-участков приводит к пропорциональному увеличению основного коэффициента съема $\epsilon_{\text{осн}}$.

3 Анализ факторов, влияющих на δT . Дополнительный коэффициент съема $\epsilon_{\text{доп}}$ напрямую зависит от δT и обусловлен разницей во времени хода поездов $\Sigma \Delta t$, неравномерностью распределения их на графике и неидентичностью перегонов.

Общее значение δT . Согласно результатам соответствующих исследований δT обычно не превышает максимального значения разницы во времени $\Sigma \Delta t$ между пассажирским и грузовым поездами на участке. Это происходит, когда разница в скорости между пассажирскими и грузовыми поездами невелика, например, 120 и 80 км/ч, а расстояние между станциями составляет 10–15 км, δT не должно превышать 4 мин. Если схема обгона поездов оптимизирована, дополнительный коэффициент съема $\epsilon_{\text{доп}}$ не превышает 0,25.

Изменение δT при увеличении скорости пассажирского поезда. При увеличении скоростей движения пассажирских поездов и неизменных скоростях грузовых, непараллельное смещение линии пассажирского поезда влево приводит к изменению нитки грузового поезда в зоне его воздействия из-за увеличения разницы в скоростях движения Δt . Смещение влево ниток графика грузовых поездов как слева, так и справа от пассажирского поезда в зоне влияния связано со следующими факторами:

- 1) изменением количества обгонов и схем обгонов;
- 2) величиной значений δt для начальной и конечной станций участка и станций обгона до увеличения скорости;
- 3) величиной смещения влево линии хода пассажирского поезда на каждой станции участка и на всём участке $\Sigma t_{\text{пас},i}$, т. е. степени увеличения скорости пассажирского поезда.

Для грузовых поездов, следующих слева и справа от пассажирского поезда, значения левого сдвига $\Delta t_{\text{слева}}$ и $\Delta t_{\text{справа}}$ могут быть получены из следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{слева}} &= \max \{t_{\text{пас},i} - \Delta t_{\text{слева},i}\}; \\ \Delta t_{\text{справа}} &= \max \{t_{\text{пас},i} - \Delta t_{\text{справа},i}\}. \end{aligned} \quad (9)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ – промежуточные станции, на которых может быть выполнен обгон (включая начальную и конечную станции участка).

Диапазон увеличения δT для различных значений скорости и расстояния между станциями показан в таблице 3.

Таблица 3 – Максимальное значение δT для различных скоростей движения поездов и расстояния между станциями

Изменение скорости, км/ч	Расстояние между станциями, км				
	15	30	45	60	75
100 – 120	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5
100 – 140	2,6	5,1	7,7	10,3	12,9
100 – 160	3,4	6,8	10,1	13,5	16,9
100 – 200	4,5	9,0	13,5	18,0	22,5
100 – 250	5,4	10,8	16,2	21,6	27,0
120 – 140	1,1	2,1	3,2	4,3	5,4
120 – 160	1,9	3,8	5,6	7,5	9,4
120 – 200	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0

Окончание таблицы 3

Изменение скорости, км/ч	Расстояние между станциями, км				
	15	30	45	60	75
120 – 250	3,9	7,8	11,7	15,6	19,5
140 – 160	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
140 – 200	1,9	3,9	5,8	7,7	9,6
140 – 250	2,8	5,7	8,5	11,3	14,1
160 – 200	1,1	2,3	3,4	4,5	5,6
160 – 250	2,0	4,1	6,1	8,1	10,1
200 – 250	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5

Таблица 4 – Значения дополнительного коэффициента съема $\epsilon_{\text{доп}}$ при различных скоростях движения поездов и длинах блок-участков (расстояние между станциями = 15 км)

Изменение скорости, км/ч	Минимальный коэффициент съема		
	12	10	8
100 – 120	0,1	0,2	0,2
100 – 140	0,2	0,3	0,3
100 – 160	0,3	0,3	0,4
100 – 200	0,4	0,5	0,6
100 – 250	0,5	0,5	0,7
120 – 140	0,1	0,1	0,1
120 – 160	0,2	0,2	0,2
120 – 200	0,3	0,3	0,4
120 – 250	0,3	0,4	0,5
140 – 160	0,1	0,1	0,1
140 – 200	0,2	0,2	0,2
140 – 250	0,2	0,3	0,4
160 – 200	0,1	0,1	0,1
160 – 250	0,2	0,2	0,3
200 – 250	0,1	0,1	0,1

Таблица 5 – Значения дополнительного коэффициента съема $\epsilon_{\text{доп}}$ при различных скоростях движения поездов и длинах блок-участков (расстояние между станциями >15 км)

Изменение скорости, км/ч	Минимальный коэффициент съема при расстоянии между станциями, км											
	30			45			60			75		
	12	10	8	12	10	8	12	10	8	12	10	8
100 – 120	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,8	0,6	0,8	0,9
100 – 140	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	0,9	1,0	1,3	1,1	1,3	1,6
100 – 160	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0	1,3	1,1	1,4	1,7	1,4	1,7	2,1
100 – 200	0,8	0,9	1,1	1,1	1,4	1,7	1,5	1,8	2,3	1,9	2,3	2,8
100 – 250	0,9	1,1	1,4	1,4	1,6	2,0	1,8	2,2	2,7	2,3	2,7	3,4
120 – 140	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,7
120 – 160	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	0,9	0,8	0,9	1,2
120 – 200	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,0	1,2	1,5	1,3	1,5	1,9
120 – 250	0,7	0,8	1,0	1,0	1,2	1,5	1,3	1,6	2,0	1,6	2,0	2,4
140 – 160	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5
140 – 200	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,6	0,8	1,0	0,8	1,0	1,2
140 – 250	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	1,1	0,9	1,1	1,4	1,2	1,4	1,8
160 – 200	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7
160 – 250	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,8	1,0	0,8	1,0	1,3
200 – 250	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6

Получено 10.11.2021

Wang Yubian. Analytical calculation of the train take-off ratio when organizing high-speed traffic.

The methodology for calculating the rate of train removal in the organization of high-speed traffic has been clarified. The factorial analysis of the influence of the operational parameters of the railway line on the values of the main and additional removal has been carried out. Analytical dependences of the components of the take-off coefficient on the speed of movement of freight and passenger trains, the lengths of block sections, the distance between overtaking stations are obtained. Recommendations are formulated for increasing the throughput when organizing mixed traffic of freight and high-speed passenger trains.

На основании анализа таблиц 3–5 можно сделать вывод, что увеличение δT пропорционально увеличению скорости и расстоянию между станциями. При расстоянии между станциями 15 км увеличение δT составляет от 1,5 до 5,5 мин. В диапазоне изменения скоростей пассажирского поезда от 100 до 250 км/ч и значениях межпоездного интервала $I = 12, 10$ и 8 мин значения $\epsilon_{\text{доп}}$ составляют от 0,1 до 0,7 соответственно. Когда расстояние между станциями обгона увеличивается, значения $\epsilon_{\text{доп}}$ составляют от 0,3 до 3,4 соответственно.

Вывод. Таким образом, при увеличении скоростей движения пассажирских поездов и организации смешанного движения грузовых и высокоскоростных пассажирских поездов коэффициент съема может равняться 5, что приводит к существенному снижению пропускной способности железнодорожных линий. При увеличении разницы в скоростях движения грузовых и пассажирских поездов снижается коэффициент основного съема, но на большую величину увеличивается коэффициент дополнительного съема.

В таких условиях повышение пропускной способности может быть достигнуто за счет увеличения скоростей движения грузовых поездов и сокращения расстояния между обгонными станциями.

Список литературы

- 1 Методические рекомендации по расчету пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных сооружений и устройств. Ч. 1. Методика расчета : утв. приказом от 03.09.2009 № 1043 НЗ.
- 2 Каретников, А. Д. Совершенствование графика движения поездов и улучшение использования пропускной способности железнодорожных линий / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – М : ВНИИЖТ, 1960. – 222 с.
- 3 Черногов, А. Д. Организация эксплуатационной работы железнодорожных направлений // Труды ВНИИЖТа / А. Д. Черногов. – М. : Транспорт, 1975. – Вып. 547. – С. 5.
- 4 Каретников, А. Д. График движения поездов / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – М. : Транспорт, 1979. – 301 с.
- 5 Козлов, И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов. – М. : Транспорт, 1985. – 214 с.
- 6 Инструкция по определению станционных и межпоездных интервалов. СТП 09150.15.002-2001 : приказ № 548НЗ от 29.12.2001. – Минск : Белорусская железная дорога, 2001. – 107 с.
- 7 СТП 09150.15.114-2009. : Порядок разработки графика движения поездов на Белорусской железной дороге : утв. приказом № 1127НЗ от 30.09.2009. – Минск : Белорусская железная дорога, 2009. – 112 с.
- 8 Ерофеев, А. А. Система автоматизированного проектирования графика движения поездов / А. А. Ерофеев, Е. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 150 с.

УДК 517.28+678.011

Л. Ф. ИВАНОВ, кандидат технических наук, Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАНБ, Гомель, Беларусь; А. З. СКОРОХОД, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Беларусь

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОСТАНОВКА КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВОЛОКНИСТО-ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПТФЭ

Рассматривается краевая задача для обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), описывающих распределение интенсивности оптического излучения в пространстве между источником (лазером) и зеркалом, заполненным некоторой средой. Средства СА Mathcad, реализующие алгоритмы «стрельбы», позволяют решать краевые задачи для систем ОДУ, в которых часть граничных условий поставлена в начальной точке интервала, а остальная часть – в его конечной точке. Предложенный алгоритм определения недостающего граничного условия позволяет давать практические инженерные рекомендации при выборе геометрических размеров вакуумной камеры и расположенных в ней мишени и подложки.

Одной из приоритетных задач на современном этапе развития производства является его техническое перевооружение, интенсификация технологических процессов, создание новых видов техники, что выдвигает повышенные требования к эффективности очистки жидких и газообразных сред. Поэтому в настоящее время интенсивно проводятся исследования по разработке новых технологий для получения волокнисто-пористых материалов (ВПМ) и изделий из них с повышенными эксплуатационными характеристиками [1].

Политетрафторэтилен (ПТФЭ) относится к биостабильным полимерам и благодаря своей высокой химической инертности и гидрофобности, широко используется в различных отраслях науки и техники [2]. Получение ПТФЭ в виде ВПМ [3, 4] значительно расширило круг задач, в которых он может быть использован в качестве биологических барьерных элементов, obturаторов, изолирующих и перевязочных средств. Эти материалы весьма эффективны для очистки газов от водяных, масляных и кислотных аэрозолей.

Воздействие лазерного излучения высокой интенсивности на полимеры в вакууме во многих случаях сопровождается абляцией, выделением газообразных продуктов разложения и в ряде случаев кластеров частично деструктурированного полимера. В настоящее время термин «абляция» означает унос вещества с поверхности твердого тела под действием потока энергии. При этом имеется в виду любой вид энергетического воздействия (высокой температуры, электромагнитного излучения, потоков ускоренных частиц, горячего газа, твердых частиц и т. п.); унос вещества в любой форме (атомы, молекулы пары, атомные кластеры, их смеси) [5].

Аномальным поведением в таком процессе отличается ПТФЭ, который при воздействии непрерывного излучения CO₂-лазера разлагается с высокой скоростью, а кластеры имеют форму волокон. В результате при определенных режимах образуется гидрофобный ВПМ.

Особенностью объекта исследования (стержень ПТФЭ под действием лазерного излучения) является то, что его состояние описывается краевой задачей для системы однородных дифференциальных уравнений (ОДУ) первого порядка. Если предположить, что коэффициенты ослабления и рассеяния зависят от интенсивности излучения, модель станет нелинейной. Физически

это будет соответствовать изменению оптических свойств среды под действием лазерного излучения. Эта специфика значительно усложняет как процесс построения математической модели оптимизации параметров действия лазерного излучения на стержень ПТФЭ, так и ее использование для повышения качества протекания абляционного процесса. А с учетом того, что в процессе абляции ПТФЭ под действием луча лазера давление в камере поддерживается в диапазоне 20–30 Па, зависимость коэффициентов ослабления и рассеяния от интенсивности излучения можно пренебречь. Поэтому анализ исследования по обеспечению корректной постановки краевой задачи весьма важен с точки зрения обеспечения адекватности оптимизационной математической модели.

Отметим, что математическая модель оптимизации параметров подвижных источников (мощность и время действия источника, траектория и скорость сканирования, геометрические характеристики носителя источника (пятна) и др.) основывается на корректной постановке исходной краевой задачи. То есть необходимо обеспечить существование и единственность решения краевой задачи, при этом малым изменениям исходных данных должны соответствовать малые (в соответствующей метрике) изменения решения краевой задачи.

Несмотря на кажущуюся близость краевых задач для ОДУ к задачам Коши, их решение на компьютере значительно отличается. Алгоритмы решения задач Коши можно отнести к *методам бегущего счета*: для них достаточно, отталкиваясь от известных начальных условий, просто пересчитать искомые значения функций в узлах сетки через (уже известные) значения в предыдущих узлах. Для краевых задач это уже не так. Если выписать разностные уравнения, аппроксимирующие ОДУ, то окажется, что неизвестные значения в узлах сетки связаны посредством системы линейных или нелинейных алгебраических уравнений. Численное решение такой системы представляет собой отдельную, иногда весьма непростую, задачу.

Целью настоящей работы является математическое моделирование и постановка краевой задачи (с ее решением на компьютере) при получении волокнисто-пористых материалов под воздействием лазерной абляции ПТФЭ. Необходимо определить граничное условие

на второй границе и интенсивность излучения, поглощенного на зеркале и в камере.

Методика проведения эксперимента. Использовали CO₂-лазер с длиной волны 10,6 мкм. Мощность излучения $P = 100$ Вт. Диаметр пятна – 10 мм. Давление в вакуумной камере 20–30 Па. Интенсивность излучения $I = P/S$, где S – площадь пятна излучения. Таким образом, интенсивность излучения луча лазера $I_{lz} = 1,27$ МВт/м². При этом будем полагать, что диаметр пятна на длине в 1 м не зависит от расстояния.

Для определения распределения интенсивности оптического излучения в пространстве между источником (лазером) и зеркалом, заполненным некоторой средой (рисунок 1), будем считать, что от зеркала отражается большая часть падающего излучения (т. е. его коэффициент отражения равен R), а среда как поглощает излучение с коэффициентом ослабления, $\sigma(x)$, так и рассеивает его. Причем коэффициент рассеяния против хода падающего излучения равен $r(x)$ [6].

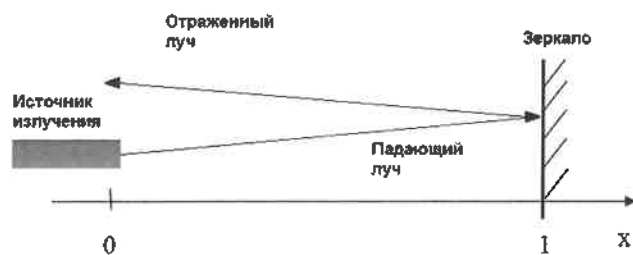


Рисунок 1 – Модель краевой задачи

В этом случае закон изменения интенсивности $I_0(x)$ излучения, распространяющегося вправо, и интенсивности $I_1(x)$ излучения влево определяется системой двух однородных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{aligned} \frac{dI_0(x)}{dx} &= -\sigma(x)I_0(x) + r(x)I_1(x); \\ \frac{dI_1(x)}{dx} &= \sigma(x)I_1(x) - r(x)I_0(x). \end{aligned} \quad (1)$$

Для правильной постановки задачи требуется помимо уравнений задать такое же количество граничных условий. Одно из них будет выражать известную интенсивность излучения I_0 , падающего с левой границы при $x = 0$, а второе – закон отражения на его правой границе при $x = 1$:

$$\begin{aligned} I_0(x) &= I_{lz}; \\ I_1(1) &= RI_{lz}. \end{aligned}$$

Решение будем искать при помощи СКА MathCad методом Рунге – Кутты, т. е. используя численные алгоритмы и метод «стрельбы».

Суть метода «стрельбы» заключается в пробном задании недостающих граничных условий на левой границе интервала и решении полученной задачи Коши хорошо известными методами. В нашем примере не хватает начального условия для $I_1(0)$, поэтому сначала зададим его произвольное значение, например, $I_1(0) = 6 \cdot 10^5$ МВт/м². Конечно, такой выбор не совсем случаен, поскольку из физических соображений ясно, что, во-первых, интенсивность излучения – величина заведомо положительная, и

во-вторых, принятая нами интенсивность отраженного излучения составляет 50 % от интенсивности падающего.

Решение задачи Коши с помощью функции *rkfixed* приведено в следующем листинге:

```

r(x) := 0.01   sigma(x) := 0.1
D(x,I) := ( -sigma(x)·I_0 + r(x)·I_1
            sigma(x)·I_1 - r(x)·I_0 )      I_0 := 1.27·10^6
I_kr := ( I_0
          6·10^5 )                        M := 700
I := rkfixed(I_kr,0,M,100,D)

```

Здесь I_{kr} – вектор начальных условий; $[0-M]$ – граничные значения отрезка решения задачи; 100 – число интервалов разбиения отрезка $[0-M]$; $D(x, I)$ – вектор-функция, содержащая правые части первых производных, записанные в символьном виде.

Численное решение задачи Коши с помощью функции *rkfixed* приведено на рисунке 2. Согласно рисунку 2 кривые нигде не пересекаются, т. е. правое краевое условие не выполнено, из чего следует, что полученный результат не является решением поставленной краевой задачи.

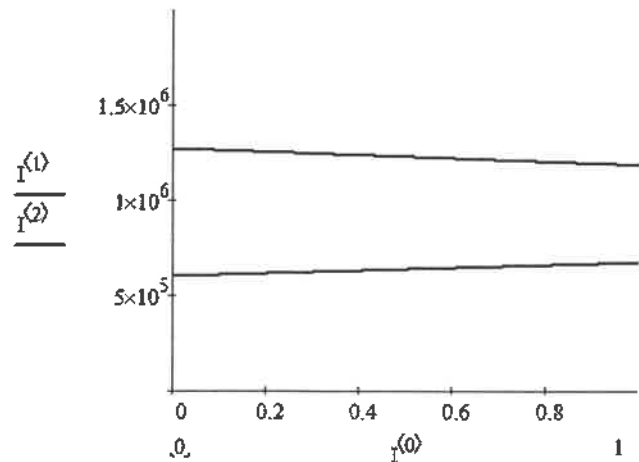


Рисунок 2 – Численное решение системы ОДУ (1) при значении $I_1(0) = 6 \cdot 10^5$ МВт/м²

В целях лучшего выполнения этого граничного условия выберем значение $I_1(0)$ больше. Например, $1,1 \cdot 10^6$ МВт/м², что составляет 86,6 % от начальной интенсивности. Решение приведено в следующем листинге:

```

r(x) := 0.01   sigma(x) := 0.1
D(x,I) := ( -sigma(x)·I_0 + r(x)·I_1
            sigma(x)·I_1 - r(x)·I_0 )      I_0 := 1.27·10^6
I_kr := ( I_0
          1.1·10^6 )                       M := 700
I := rkfixed(I_kr,0,M,100,D)

```

На рисунке 3 приведена вторая попытка численного решения задачи Коши.

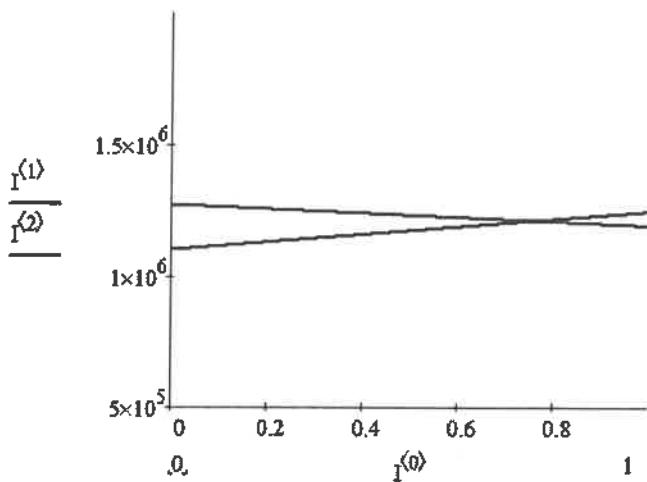


Рисунок 3 – Вторая попытка численного решения задачи Коши

Из рисунка 3 видно, что кривые пересекаются не по правому краю, т. е. в произвольной точке, потому и этот результат не является решением поставленной задачи.

Продолжая подобным образом «пристрелку» для недостающего начального условия, возможно, отыскать правильное решение краевой задачи с достаточной точностью. Выберем теперь значение $I_1(0)$, МВт/м^2 , в интервале $[6 \cdot 10^5 - 1,1 \cdot 10^6]$, например, $1,05 \cdot 10^6$. Решение приведено в следующем листинге:

```

r(x) := 0.01  σ(x) := 0.1
D(x,I) := ( -σ(x)·I0 + r(x)·I1
            σ(x)·I1 - r(x)·I0 )      I0 := 1.27·106
Iкр := ( I0
           1.05·106 )      M := 700
I := rkfixed(Iкр, 0, M, 100, D)

```

На рисунке 4 приведена третья попытка численного решения задачи Коши.

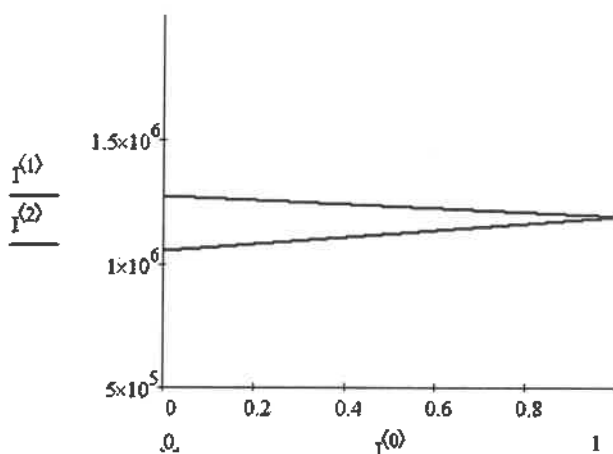


Рисунок 4 – Третья попытка решения задачи Коши при помощи функции rkfixed

Продолжая «пристрелку», находим методом пошагового приближения правильное решение краевой задачи с достаточной точностью.

На рисунке 4 видно, что кривые пересеклись на границе правого интервала, а следовательно, значение $I_1(0)$, равное $1,05 \cdot 10^6 \text{ МВт/м}^2$, является решением поставленной задачи.

Таким образом, установлено, что потеря энергии луча лазера на зеркале и в камере не превышает 20 %. Потерю энергии на зеркале можно оценить, измерив его температуру. Зная потерю мощности луча лазера в камере, можно конструктивно оптимизировать технологию получения ВПМ. В этом и состоит принцип алгоритма стрельбы. Выбирая пробные начальные условия (проводя «пристрелку») и решая соответствующую серию задач Коши, можно найти то решение системы ОДУ, которое (с заданной точностью) удовлетворит граничному условию (или, в общем случае, условиям) на другой границе расчетного интервала.

Приведенные выше расчеты и выводы подтверждаются экспериментальными данными, полученными при прямом измерении мощности излучения CO_2 -лазера длиной волны 10,6 мкм термометрическим измерителем мощности ТИ-3. На оптической схеме (рисунок 5) отмечены точки, в которых проводили замеры.

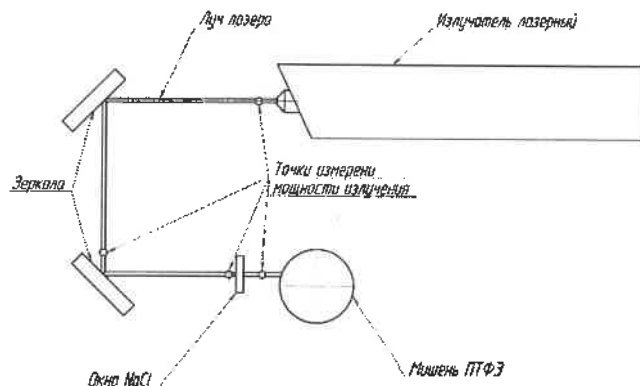


Рисунок 5 – Измерение мощности излучения CO_2 лазера

Общие потери мощности составили не более 5 %, что согласуется с данными по отражающей способности алюминиевых зеркал (98 %).

Список литературы

- 1 Иванов, Л. Ф. Физика и технология лазерной переработки политетрафторэтилена в волокнисто-пористые материалы : дис. ... канд. техн. наук / Л. Ф. Иванов. – Гомель, 1998. – 136 с.
- 2 Destruction of polytetrafluoroethylene under the action of carbon dioxide laser radiation at low pressure / E. M. Tolstopyatov [et al.] // Proc. SPIE. – 1998. – Vol. 3343. – Part. 2. – P. 1010–1017.
- 3 Лазерная абляция политетрафторэтилена / П. Н. Гракович [и др.] // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LII, № 3. – С. 97–105.
- 4 О механизме образования волокон при лазерной абляции политетрафторэтилена / Е. М. Толстопяттов [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – № 3. – С. 128.
- 5 Толстопяттов, Е. М. Лазерная абляция полимеров // Полимерные материалы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 6–20.
- 6 Вельмисов, П. А. Дифференциальные уравнения в Mathcad : учеб. пособие / П. А. Вельмисов, С. В. Киреев. – Ульяновск : УлГТУ, 2016. – 109 с.

Получено 02.10.2021

L. F. Ivanov, A. Z. Skorokhod. Mathematical modeling and formulation of the boundary value problem in producing fibrous-porous materials under the influence of laser ablation of ptfе.

A boundary value problem is considered for ordinary differential equations (ODE) that describe the distribution of the intensity of optical radiation in the space between the source (laser) and the mirror filled with some medium. The SKA Mathcad tools, which implement the “shooting” algorithm, allow solving boundary value problems for ODE systems, in which part of the boundary conditions are set at the starting point of the interval, and the rest at its end point. The proposed algorithm for determining the missing boundary condition makes it possible to give practical engineering recommendations when choosing the geometric dimensions of the vacuum chamber and the target and substrate located in it.

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 81'271:656.08

*Н. А. ГРИШАНKOVA, кандидат филологических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛИЧНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ КОММУНИКАЦИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПО ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ БелГУТа**

Представлен анализ некоторых условий формирования коммуникативной компетенции студентов БелГУТа, позволяющих успешно овладеть иностранным языком. Рассмотрена роль лингводидактической основы личностно-ориентированной модели при профессиональной компетенции будущих инженеров.

Знание иностранного языка открывает будущему специалисту доступ к широкому спектру источников информации, её критическому обобщению, анализу и оценке достоверности. Компетентность в сфере иноязычной коммуникации обеспечивает готовность выпускникам УВО реально использовать полученные знания в условиях профессиональной деятельности [1, 2, 5, 7]. Как указывается в государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования, специалист в любой сфере должен уметь осуществлять иноязычное общение в устной и письменной форме, то есть обладать высоким уровнем готовности к эффективной коммуникации с зарубежными партнерами на иностранном языке.

Компетентный подход к определению целей и содержания образования позволяет определить значение формирования профессиональной коммуникативной компетенции в подготовке специалиста не только как основы для становления грамотного, культурного профессионала, но и как инструмента для приобретения навыков будущей профессиональной деятельности, позволяющих применять полученные в разных отраслях знания на практике [6, 8, 10]. В связи с этим иностранный язык закономерно выступает одним из основных компонентов профессиональной коммуникативной компетенции студента, предполагающая языковую интеграцию различного знания, что способствует приобретению социального опыта общения, функциональной грамотности, усвоению этики трудовых и гражданских взаимоотношений [18–20].

При этом критерием качества подготовки выпускника высшей школы выступает профессиональная компетенция, под которой в отечественной методике понимают уже существующее качество, реальную демонстрацию приобретённых знаний и соответствующих навыков человека как субъекта профессиональной деятельности, владение соответствующими компетенциями и способность применять их в конкретных производственных ситуациях [14, 19].

Существует много подходов и определений структуры профессиональной компетенции, в составе которой выделяют общекультурную, обучающе-познавательную, информационную, коммуникативную, языковую (лингвистическую), терминологическую, социолингвистическую (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, профессиональные компетенции служат фундаментом, позволяющим выпускнику ориентироваться на рынке труда, быть конкурентноспособным и подготовленным к дальнейшему самосовершенствованию [13, 14, 21].

Таблица 1 – Краткая характеристика структуры профессиональной компетенции

Компетенции	Краткая характеристика
Общекультурная	Общение как социальные отношения в обществе и культуре
Обучающе-познавательная	Формирование знаний, умений и навыков в сфере самостоятельной деятельности посредством иностранного языка
Информационная	Владение современными информационными технологиями для поиска необходимых сведений
Коммуникативная	Использование иностранного языка как средства общения в соответствии с коммуникативной задачей
Языковая (лингвистическая)	Владение определенным словарным запасом и грамматическими структурами для построения связных высказываний
Терминологическая	Развитие практических навыков активного использования языка профессионального общения в его продуктивных формах
Социолингвистическая	Использование и преобразование языковых форм согласно ситуации общения

Следует отметить, что в настоящее время практика и теория преподавания находятся на этапе перехода от простой передачи навыков знаний к парадигме «выращивания развитой личности» [9, 11, 12, 16, 17, 22]. При этом обучению иностранному языку в УВО уделяется большое внимание. Однако в исследовательских работах для обозначения одних и тех же педагогических явлений нередко используется различная терминология и, самое главное, фактически отсутствует личностно- и коммуникативно-ориентированная модель обучения иностранному языку в техническом УВО. Отсюда вытекает необходимость конструирования целостной личностно-ориентированной модели обучения иностранному языку в техническом УВО на коммуникативной и интегративной основе. Данный подход требует проведения анализа существующей практики подготовки по иностранному языку на различных курсах.

Так, на кафедре славянских и романо-германских языков был проведен эксперимент с участием студентов

первого курса всех факультетов университета, изучающих немецкий язык, согласно которому предусматривали выявление:

- использования коммуникативных приёмов обучения в процессе формирования и совершенствования иноязычной устной речи;
- уровня удовлетворенности межличностным общением в учебных группах первого курса на занятиях по иностранному языку.

Для решения поставленных задач применялись следующие методы:

- педагогическое наблюдение;
- анализ занятий по немецкому языку;
- анкетирование.

Анализ двенадцати практических занятий студентов первого курса, изучающих немецкий язык в первом и втором семестрах, показал, что обучение иноязычной устной речи занимало незначительную часть занятий и сводилось преимущественно к кратким ответам на вопрос преподавателя по теме или тексту. Инициативные высказывания встречались редко. Причем они исходили в основном от одних и тех же студентов учебной группы.

Изучение грамматического материала осуществлялось по-разному. В одной группе преподаватель предпочитал выделять на занятии специальное время, рассматривая со студентами значения грамматического явления, особенности его формы употребления. Однако времени на грамматические упражнения обычно не оставалось. Их выполнение предусматривалось дома.

В другой группе преподаватель ограничивался лишь самыми краткими комментариями относительно формы, значения и употребления конкретного грамматического явления, выполняя со студентами одно-два упражнения, оставляя остальные упражнения для самостоятельной работы.

В третьей группе преподаватель предпочитал делать грамматические пояснения по ходу занятия на материале текстов, в том числе и технических. При этом важное значение имела благоприятная психологическая атмосфера на занятиях по немецкому языку, которая позволила раскрыть индивидуальный вклад каждого студента в общий настрой работы при явном дефиците парных и групповых форм учебной деятельности. Межличностное взаимодействие на иностранном языке практически отсутствовало.

Параллельно с посещением занятий по немецкому языку было проведено стандартизированное интервью, в котором обязательно обсуждались вопросы, вошедшие в анкетные бланки обучаемого, что позволило собрать информацию о мнении студентов и преподавателей относительно необходимости улучшения обучения иностранному языку в неязыковом УВО (таблица 2).

Таблица 2 – Результат анкетирования студентов БелГУТа о востребованности иностранного языка в их будущей профессиональной деятельности

Номер вопроса	Варианты ответа	Семестр	
		первый (I курс)	второй (I курс)
1	Конечно, да	44	34
2	Вероятно, да	36	41
3	Не уверен(а)	16	18
4	Вероятно, нет	4	5
5	Конечно, нет	–	2

На основе полученных данных можно сделать вывод, что подавляющее большинство студентов первого курса в первом и втором семестрах твердо уверены или высказывают осторожное предположение, что иностранный язык будет востребован в будущей профессиональной деятельности. Однако количество уверенных обучаемых во втором семестре по сравнению с первым снижается с 44 до 34 %, а количество сомневающихся, наоборот, увеличивается с 36 до 41 %. В целом полученные данные свидетельствуют о снижении положительного отношения студентов технического вуза к иностранному языку как учебной дисциплине.

Представляют интерес ответы студентов (в процентах) на вопрос: «Овладение каким видом (1–4) и какой стороной (5–7) иноязычной речевой деятельности вызывает у вас наибольшие затруднения?»

Характеристика мнений студентов о наибольших затруднениях в овладении видами и сторонами иноязычной речевой деятельности представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Результат анкетирования студентов о наибольших затруднениях в овладении видами и сторонами иноязычной речевой деятельности

В процентах

Виды затруднений	Семестр	
	первый (I курс)	второй (I курс)
Аудирование	48	53
Говорение	24	29
Чтение	4	–
Письменное представление информации	24	18
Фонетическая сторона речи	23	28
Лексическая сторона речи	19	18
Грамматическая сторона речи	58	54

Из таблицы 3 видно, что среди видов иноязычной речевой деятельности наибольшие трудности вызывает аудирование, а среди сторон иноязычной речевой деятельности – грамматическая. Причем трудности в овладении грамматической стороной иноязычной речи от первого семестра ко второму снижаются незначительно (с 58 до 54 %).

Анализ практических занятий студентов первого курса, изучающих немецкий язык в первом и втором семестрах, позволил выделить ряд факторов, оказывающих влияние на уровень владения иностранным языком. Ответы обучаемых на вопрос: «Что, на ваш взгляд, является самым главным, определяющим для успешного овладения иностранным языком в транспортном вузе?» приведены в таблице 4.

Ответы студентов сгруппированы по общности их содержания. Наиболее важные, с точки зрения обучаемых, факторы отмечены звездочкой. Следует заметить, что некоторые студенты назвали по два и более фактора, поэтому суммарно число ответов превышает число опрошенных обучаемых.

Таблица 4 – Результаты анкетирования студентов о факторах, определяющих успешность овладения иностранным языком на первом курсе

В процентах

Виды затруднений	Семестр	
	первый (I курс)	второй (I курс)
Уровень преподавания*	33	32
Мотивация*	21	23
Индивидуальные особенности*	18	22
Содержание учебного материала	11	13
Общение с носителями иностранного языка	8	9
Особенности изложения материала	7	4
Обеспечение учебно-методической литературой	0,8	3
Свободное посещение занятий	0,7	–
Формы преподавания на занятии	0,5	–

Как видно из таблицы 4, значительная часть студентов первого курса БелГУТа среди положительных факторов выделяет профессионализм преподавателя иностранного языка, а также собственную положительную мотивацию к овладению иностранным языком, проявление собственных волевых качеств (терпения, старания) в процессе его изучения.

Таким образом, наиболее обоснованной и перспективной для организации языкового образования в Белорусском государственном университете транспорта является личностно-ориентированная модель образования, центром которой выступает человек как индивид, субъект различных видов активности, личность, индивидуальность.

Список литературы

- 1 Барышников, Н. В. Особенности межкультурной коммуникации при несовершенном владении иностранным языком / Н. В. Барышников // Обучение межкультурной коммуникации в различных условиях : сб. науч. ст. – Пятигорск : ПГЛУ, 2000. – С. 5–13.
- 2 Бернштейн, В. Л. Интегративный подход к формированию иноязычной коммуникативной межкультурной компетенции студентов-нелингвистов / В. Л. Бернштейн // Иностранные языки в школе. – 2019. – № 5. – С. 48.
- 3 Бычкова, В. О. Групповые формы работы в системе обучения иноязычной устной речи и их лингводидактический потенциал / В. О. Бычкова // Иностранные языки в школе. – 2019. – № 5. – С. 49.
- 4 Гальскова, Н. Д. Теория обучения иностранным языкам. Лингводидактика и методика / Н. Д. Гальскова, Н. И. Гез. – 3-е изд., стер. – М. : Академия, 2006. – 336 с.
- 5 Гришаева, Л. И. Специфика деятельности коммуникантов в межкультурной среде / Л. И. Гришаева, И. А. Стернин, М. А. Стернина. – Воронеж : Научная книга, 2009. – 262 с.
- 6 Иванова, О. Ю. Профессионально-ориентированное обучение иностранному языку на неязыковых факультетах вузов : автореф. дис. ... канд. пед. наук / О. Ю. Иванова. – Орел, 2005. – 20 с.
- 7 Елизарова, Г. В. Культура и обучение иностранным языкам / Г. В. Елизарова. – СПб. : Союз, 2001. – 291 с.
- 8 Климович, Е. Я. Педагогические условия формирования иноязычной профессионально-ориентированной коммуникативной

компетенции студентов технического вуза / Е. Я. Климович // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск : ФГБОУ ВПО «СибАДИ». – 2013. – № 6 (34). – С. 182–190.

9 Кобенко, Ю. В. Лингвистические особенности обучения языку профессионального общения. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : труды Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2 т. Т. 2. : Энергетика, 2011. – Томск : Томский политехнический университет, 6–8 октября 2011.

10 Кузнецов, Я. Е. Профессионально-языковая компетентность как фактор успешности учебной деятельности студентов технического вуза : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.01 / Я. Е. Кузнецов. – Карачаевск, 2002. – 187 с.

11 Кузьмина, Е. В. Моделирование актов межкультурного профессионального общения как средство формирования личности профессионала [Электронный ресурс] / Е. В. Кузьмина // Мир лингвистики и коммуникации. – 2013. – № 4(33).

12 Лебедько, М. Г. Культурные преграды: преодоление трудностей в межкультурном общении / М. Г. Лебедько. – Владивосток : Дальневост. ун-т, 1999. – 196 с.

13 Леонтьев, А. А. Психолого-педагогические основы обновления методики преподавания иностранных языков (лекция-доклад) / А. А. Леонтьев // Школа-семинар «Создание единого информационного пространства системы образования». – М. : Рото-Принт, 1998. – 24 с.

14 Олексеенко, Т. Г. Формирование профессионально-коммуникативной компетенции в неязыковом вузе / Т. Г. Олексеенко // Актуальные проблемы управления качеством языкового образования в высших учебных заведениях : материалы респ. межвузовской науч.-практ. конф. – Минск, 2007. – С. 71–72.

15 Параева, Н. Б. Обучение аудированию аутентичных текстов на немецком языке учащихся VII класса средней школы : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Н. Б. Параева. – СПб., 2001. – 224 с.

16 Пассов, Е. И. Программа-концепция коммуникативного иноязычного образования / Е. И. Пассов. – М. : Просвещение, 2000. – 173 с.

17 Попова, М. А. Полилогическое общение в контексте развития у обучающихся коммуникативной компетенции на втором иностранном языке / М. А. Попова // Иностранные языки в школе. – 2018. – № 6. – С. 46.

18 Сафонова, В. В. Межкультурная научная дискуссия на иностранном языке как объект методического моделирования / В. В. Сафонова, М. В. Пенкина // Иностранные языки в школе. – 2018. – № 11. – С. 10.

19 Сидоренко, Г. И. Коммуникативная компетентность как основа формирования профессиональной компетенции / Г. И. Сидоренко, Л. В. Бедрицкая // Актуальные проблемы управления качеством языкового образования в высших учебных заведениях : материалы респ. межвузовской науч.-практ. конф. – Минск, 2007. – С. 74–75.

20 Тагиль, Т. И. Формирование коммуникативной компетенции как неотъемлемая часть языкового образования / Т. И. Тагиль // Актуальные проблемы управления качеством языкового образования в высших учебных заведениях : материалы респ. межвузовской науч.-практ. конф. – Минск, 2007. – С. 79–80.

21 Тарасов, Е. Ф. Межкультурное общение – новая онтология анализа языкового сознания / Е. Ф. Тарасов // Этнокультурная специфика языкового сознания : сб. статей / под ред. Н. В. Уфимцевой. – М. : Ин-т языкозн. РАН, 1996. – С. 7–22.

22 Шишковская, Ю. В. Развитие иноязычной коммуникативной компетенции в условиях информационно-образовательной среды [Электронный ресурс] / Ю. В. Шишковская // Мир лингвистики и коммуникации. – Тверь. – 2012. – № 2(27).

Получено 10.09.2021

N. A. Grishankova. Features of the formation of personality-oriented communications in the preparation of BelSUT students in foreign languages.

The article presents an analysis of some conditions for the formation of the communicative competence of BelSUT students, which allow them to successfully master a foreign language. The role of the linguodidactic basis of the personality-oriented model in the professional competence of future engineers is considered.

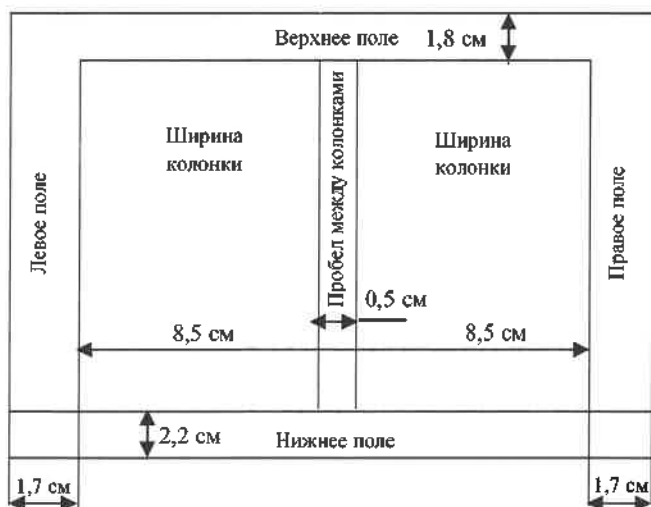
ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК размер шрифта – 10 pt).

– через интервал на формат 17,5 см – инициалы и фамилия автора (авторов) прописным светлым курсивом, а учёная степень, наименование и местонахождение организаций, в которых работают авторы, – строчным светлым курсивом 10 pt;

– ниже, через интервал на формат 17,5 см – название статьи, напечатанное прописными буквами, жирным шрифтом, без переносов (высота букв – 11 pt), которое должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие идентифицировать данную статью;

– через интервал на формат 17,5 см – аннотация, в которой дается краткая характеристика статьи (размер шрифта – 9 pt, объём – до 10 строк, или 100–150 слов);

– через интервал в две колонки форматом 8,5 см каждая, с интервалом между ними 0,5 см – текст статьи (размер шрифта – 10 pt), межстрочный интервал – одинарный, абзац – 5 мм, или 3 печатных знака;

– через интервал в две колонки форматом 8,5 см каждая – список литературы (размер шрифта – 9 pt);

– через интервал – дата поступления рукописи в редколлегию (размер шрифта – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

– через интервал на формат 17,5 см – фамилия, инициалы автора (авторов) – прямым жирным строчным шрифтом 10 pt, название статьи – светлым строчным прямым шрифтом 10 pt; аннотация статьи на английском языке шрифтом 9 pt.

5 Научная статья должна включать:

– введение, где должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме. Указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы, т. е. поставлена задача;

– основную часть, содержащую описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробное освещение содержания исследований, которые могут быть иллюстрированы графиками или подтверждены расчетами в табличной форме. Полученные результаты должны быть проанализированы с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть также может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками). Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с последовательностью их размещения в тексте;

– заключение, в котором в сжатом виде формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

6 Графический материал в статье (рисунки, схемы, диаграммы) должен содержать не более пяти рисунков и быть оформлен в соответствии с требованиями Р 50-77-88 «Рекомендации ЕСКД. Правила выполнения диаграмм». Каждый рисунок должен иметь название (размер шрифта – 9 pt светлым строчным), которое размещается под ним (например: Рисунок 1 – Схема управления электродвигателя). Надписи на самих рисунках набирают шрифтом 9 pt. Размещают рисунок после ссылки на него в тексте. Сканированные рисунки редколлегией не принимаются.

7 Таблицы (не более трех) располагаются непосредственно после текста, где они впервые упоминаются. Каждая таблица должна иметь номер и название, которое размещается над ней (например: Таблица 1 – Результаты измерений). Размер шрифта названия и основного текста таблицы – 9 pt, головки (шапки) – 8 pt.

8 Размерности всех величин, используемых в тексте, должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

9 Формулы набирают тем же размером шрифта и той же гарнитурой, что и основной текст (буквы русского и греческого алфавитов, числа, знаки математических функций – прямым шрифтом, латинские буквы – курсивом).

10 К рукописи прилагаются:

– сведения об авторе [Ф. И. О. полностью, ученая степень и звание, место работы и должность, домашний адрес, контактный телефон (служебный, мобильный, e-mail)];

– рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения, в котором выполнена работа, о целесообразности публикации статьи;

– экспертное заключение о возможности публикации статьи.

11 Рукописи, которые не соответствуют указанным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

12 Редколлегия по предварительной научно-технической экспертизе может направлять статью на рецензию специалисту и с учетом этой рецензии даёт аргументированное заключение о возможности публикации статьи.

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

Подписано в печать 31.12.2021 г. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 12,09. Уч.-изд. л. 12,13. Тираж 100 экз. Изд. № 72. Зак. № 345.

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