

**ПРОБЛЕМЫ
ПЕРСПЕКТИВНОГО
РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

Международный сборник научных трудов

ВЫПУСК 6

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

Международный сборник научных трудов

Под общей редакцией доктора технических наук А. К. ГОЛОВНИЧА

Гомель 2024

В сборник включены научные статьи ученых БелГУТа, транспортных вузов России и Китая по различным вопросам перспективного развития железнодорожных станций и узлов.

Для магистрантов, аспирантов и научных работников, занимающихся проблемами совершенствования, эффективного использования путевого развития и технического оснащения железнодорожных станций и транспортных узлов.

Приказом Высшей аттестационной комиссии
Республики Беларусь № 22 от 30.01.2020 г. сборник научных трудов
«Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов»
включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликова-
ния результатов диссертационных исследований по технической отрасли
науки (управление процессами перевозок)

Редакционный совет:

Головнич А. К. (главный редактор), доктор технических наук, доцент
(Гомель, БелГУТ);

Вакуленко С. П. (зам. главного редактора), кандидат технических наук,
профессор (Москва, РУТ – МИИТ);

Власюк Т. А. (отв. секретарь), кандидат технических наук, доцент
(Гомель, БелГУТ);

Негрей В. Я., доктор технических наук, профессор (Гомель, БелГУТ);

Еловой И. А., кандидат технических наук, доктор экономических наук,
профессор (Гомель, БелГУТ);

Бессоненко С. А., доктор технических наук, доцент
(Новосибирск, СГУПС)

Пазойский Ю. О., доктор технических наук, профессор
(Москва, РУТ – МИИТ)

Числов О. Н., доктор технических наук, доцент
(Ростов-на-Дону, РГУПС)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
<i>Ахламов М. А.</i> Определение критериев эффективности транспортной системы города	6
<i>Васильев С. М., Васильева Т. А.</i> Рационализаторство и изобретательство на железнодорожном транспорте в послереволюционный период Беларуси	13
<i>Власюк Т. А., Белоус А. Н., Гончарова Л. А., Сяньфэн Ц.</i> Применение технологии профайлинга для предотвращения террористических угроз на железнодорожном транспорте	16
<i>Головнич А. К.</i> Оптимизирующая реконструкция технологических операций на трехмерной динамической модели станции с активизацией проектных искинов..	21
<i>Еловой И. А., Потылкин Е. Н., Колос М. М.</i> Законы распределения интервалов подачи-уборки вагонов со станции к грузовым фронтам	30
<i>Кожедуб С. С., Дралова И. П.</i> Создание плана участка железнодорожного пути с применением аэрофотосъемки	40
<i>Короткевич И. В.</i> Использование цифрового двойника высокой детализации в системе онлайн-телеметрии локомотивов для повышения безопасности работы станции	45
<i>Короткевич И. В.</i> Повышение эффективности управления маневровыми локомотивами в железнодорожном узле при комплексном использовании систем навигации и телеметрии	65
<i>Куренков П. В., Садчикова В. А., Вакуленко С. П., Астафьев А. В.</i> Схемные решения раздельных пунктов вакуумного магнито-левитационного транспорта	71
<i>Куренков П. В., Солон И. А., Чеботарева Е. А.</i> Уникальные транспортно-технологические схемы транспортировки нефтепродуктов по железной дороге во время Великой Отечественной Войны	77
<i>Kangni Liu.</i> Research on the average minimum headway of non-overtaking sections in high-speed railways	82
<i>Негрей В. Я., Пожидаев С. А., Скопец К. А., Гордейко Д. Д.</i> Обоснование эффективности применения технических средств для закрепления подвижного состава в парках железнодорожных станций и повышения безопасности перевозочного процесса	91
<i>Осипов Н. И.</i> Верификация и валидация комплекса имитационных моделей для оценки эффективности систем интервального регулирования движения поездов. ..	102
<i>Падалица В. А.</i> Развитие железнодорожной инфраструктуры на маршрутах международных транспортных коридоров в программе национальной системы электронной логистики	113
<i>Потылкин Е. Н.</i> Расчет параметров железнодорожных станций при доставке порожних вагонов различных собственников	126

<i>Потылкин Е. Н., Еловой И. А., Петрачков С. А.</i> Определение временных параметров при накоплении на станции групп вагонов	132
<i>Репешко Н. А., Числов О. Н., Колобов И. А.</i> Повышение эффективности работы операторов транспортной системы.....	143
<i>Тимашков С. Н.</i> Исследование параметрического состава переменных формулы расчета пропускной способности пунктов погрузки-выгрузки воинских грузов на железнодорожных станциях и подъездных путях	147
<i>Филатов Е. А.</i> Обоснование параметров стрелочных горловин для обеспечения контейнерных перевозок	152
<i>Четчуев М. В., Иванков А. Н.</i> Теоретические основы проектирования путевого развития станций временного отстоя вагонов в районах массовой выгрузки	160
<i>Числов О. Н., Мизгирева Е. Е., Колошин С. А.</i> Принципы формирования системы оценки показателей инфраструктуры транспортного узла	164
Правила оформления научных статей сборника	170

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожные станции с пропускной способностью, в полной мере обеспечивающей обслуживание поездо- и вагонопотока без задержек на пересечениях, являются важными инфраструктурными звеньями общей цепи звеньев перевозочного процесса. В условиях высокой загрузки подсистем отдельных пунктов возникает острая необходимость оценки ресурсов станционных парков и горловин, подкрепляемых надежным прогнозом изменения объема работы с этапным внедрением рациональных и экономически обоснованных технических и технологических решений.

Авторы публикуемых статей сборника предлагают критерии оценки эффективности работы железнодорожного транспорта, включая различные проблемные позиции развития городских агломераций, расширения зон применения скоростного и высокоскоростного пассажирского транспорта, рациональных маршрутов на международных транспортных коридорах с сокращением непроизводительных ожиданий по межгосударственным стыкам и передаче поездопотоков по железным дорогам с различной шириной колеи. Использование информационных технологий и искусственного интеллекта позволяет повысить качество транспортного обслуживания благодаря сопряжению работы напольных устройств (датчиков на пути, вокзалах, видеокамер) с системами обработки данных с последующим принятием эффективных решений управленческого, проектного, экономического или иного характера.

Исторический аспект деятельности подразделений железных дорог, функционирование станций и узлов в годы Великой Отечественной войны также остаются в поле внимания редакционного совета сборника и получают отклик у наших авторов. В 2025 году мы готовимся встретить 80-летие Великой Победы и предлагаем всем представлять соответствующий тематический материал для публикаций в сборнике.

УДК 656.078

М. А. АХЛАМОВ

Российский университет транспорта РТУ (МИИТ), г. Москва

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА

Рассматриваются различные подходы к оценке транспортных систем городов, выявлены преимущества и недостатки. Представлена новая методика, определяющая критерии эффективности транспортной системы города, оценивающая систему относительно роли её участников. Приведены основные критерии и способ их расчета.

Транспортная система (ТС) как комплекс различных видов транспорта, находящихся во взаимодействии при осуществлении перевозки, является фундаментом для развития и существования города и его агломерации. В условиях развития городов и урбанизации населения планеты оценка эффективности транспортных систем становится актуальным вопросом. Определение оценочных критериев транспортной системы напрямую зависит от ее основных функций. Главная и единственная функция транспортной системы – это перемещение объекта x из точки a в точку b .

Наиболее сложная в создании, организации, оценке – городская транспортная система. В ней присутствуют несколько видов транспорта, объектов перемещения, множество «вершин» и «ребер», трудно анализируемое вероятностное передвижение. Поэтому оценка транспортной системы в большинстве случаев носит многокритериальный характер. Профессор Уильям Р. Блэк, считал, что любой город является сложной системой, состоящей из комплекса взаимосвязанных элементов, каждый из которых неизбежно влияет на остальные [1]. Исходя из этого транспортная система должна формироваться и оцениваться с учетом целого ряда внешних факторов (территория, общество, экология и экономика) (рисунок 1).

Многокритериальный подход основывается на балльной оценке качества городской среды [2]. Город получает балл в соответствии с качеством среды в его пространствах, оцененных по 6 критериям. 360 баллов – максимальное значение Индекса города (рисунок 2).

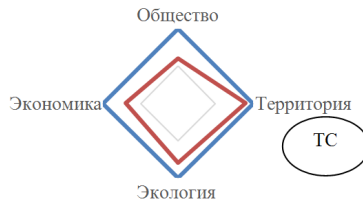


Рисунок 1 – Внешние факторы оценки транспортной системы



Рисунок 2 – Схема оценки качества городской среды

Транспортная система непосредственно влияет на качественные показатели городской среды. Данная методика оценивает только часть важных критериев ТС, при этом исключая очень важные оценочные области: экологию и экономику.

Широкий спектр объективных и субъективных критериев представлен в методике сравнительного анализа транспортных систем [5, с. 138], где сформирован перечень из 95 показателей, охватывающих все виды передвижения.

1 Физическая доступность:

- рельсовый транспорт;
- улично-дорожная сеть;
- транспорт совместного использования;
- внешняя связность.

2 Финансовая доступность:

- стоимость использования общественного транспорта;
- стоимость использования личного транспорта.

3 Эффективность:

- эффективность общественного транспорта;
- эффективность личного транспорта.

4 Удобства:

- комфорт в пути;
- билетная система;
- электронные сервисы;
- интермодальность.

5 Безопасность и устойчивое развитие:

- физическая безопасность;
- экологическая безопасность.

6 Восприятие жителями:

- удовлетворенность текущей ситуацией;
- восприятие изменений последних лет.

Данная методика оценки дает полную оценку существующей транспортной системы, но не определяет критериев для создания новой ТС или модернизации существующей.

Принимая во внимание достоинства и недостатки представленных выше подходов оценки основных функций транспортной системы разработана комплексная методика оценки проектируемых транспортных систем с учетом поставленных целей и взаимовлияющих факторов (рисунок 3).

Основой такого подхода являются цели, к которым стремится каждый участник транспортной системы. Например, бизнес-цели транспортной системы связываются с минимизацией капитальных вложений и наибольшей рентабельностью проекта.

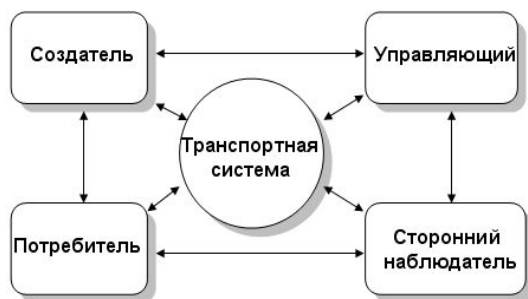


Рисунок 3 – Схема взаимосвязей транспортной системы

При оценке отношений потребителей (пассажиров, грузоперевозчиков) к транспортной среде целевыми ориентирами являются удобство и комфорт в виде использования современного подвижного состава, электронных сервисов, эффективной билетной системы, физическая доступность с развитой интермодальностью совершаемых поездок, минимальное время перемещения объекта в сети и стоимость перевозки, гарантированные безопасность и надежность подвижного состава.

Участник процессов в транспортной системе, именуемый как сторонний наблюдатель, ассоциируется с госструктурами и контролирующими органами, непосредственно не участвующими в создании, эксплуатации и потреблении услуг транспортной системы, но регулирующими отношения между участниками. Целевые установки для данного участника определяются контролем за состоянием загрязнения воздуха и среды на различных станциях мониторинга; проведением мероприятий по сохранению и развитию национальных парков, заказников, заповедников на территории транспортной системы; обеспечением контроля за состоянием безопасности и охраны труда; минимизацией и предупреждением нарушений и противоправных действий с установкой систем видеонаблюдения; проведения медицинских осмотров водителей общественного транспорта.

В методике используются соответствующие критериальные оценки:

1 Капитальные затраты на создание транспортной линии, зависящие:

- от вида транспорта;
- длины линий;
- рода и количества подвижных единиц;
- количества остановочных пунктов;
- количества и типа транспортных перегрузочных устройств (ТПУ).

$$K = \sum K_{ij} + \sum K_{ТПУ} + \sum K_{ПС} + K_{ОП}, \quad (1)$$

$$K \rightarrow \min, \quad (2)$$

где ΣK_{ij} – затраты на строительство i -го участка транспортной сети для j -го вида транспорта; $\Sigma K_{ТПУ}$ – затраты на строительство ТПУ; $\Sigma K_{ПС}$ – затраты на приобретение подвижного состава; $K_{ОП}$ – затраты на сооружение и обустройство остановочных пунктов и станций.

2 Рентабельность

$$R = \text{ЧП} / \text{Э} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$R \rightarrow \max, \quad (4)$$

где ЧП – чистая прибыль,

$$\text{ЧП} = \text{ВН} - \text{Н}, \quad (5)$$

ВН – валовая прибыль,

$$\text{ВН} = \text{В} - \text{СП}, \quad (6)$$

В – выручка;

$$\text{В} = Q_{\text{усл}} C_{\text{проез}}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{усл}}$ – количество оказанных услуг в год; $C_{\text{проез}}$ – стоимость 1 услуги (проезда); СП – себестоимость услуги; Н – налоговые отчисления.

3 Эксплуатационные расходы

$$\text{Э} = \text{А} + 3\text{П} + \text{Е}_c + \text{R}_m + \text{ТО}, \quad (8)$$

$$\text{Э} \rightarrow \min, \quad (9)$$

где А – затраты на амортизацию транспортной системы, руб.; 3П – затраты на фонд заработной платы, руб.; Е_c – затраты на силовую энергию (топливо); R_m – затраты на расходные материалы; ТО – затраты на техническое обслуживание.

4 Чистая прибыль

$$\text{ЧП} \rightarrow \max. \quad (10)$$

Этот показатель выделяется в отдельную группу. Соответствующие расчеты производятся по формулам (5)–(7).

5 Стоимость услуги (проезда)

$$C_{\text{проез}} \rightarrow \min. \quad (11)$$

6 Среднее время перемещения пассажира в городе

$$t_{\text{перем}} = \Sigma A_{ij} t_{\text{перем}} / \Sigma A_{ij}, \quad (12)$$

где A_{ij} – количество пассажиров, следующих из точки i в точку j ; $t_{\text{перем}}$ – время перемещения из точки i в точку j .

$$t_{\text{перем}ij} = 2t_{\text{подх/отход}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{пересад}}, \quad (13)$$

где $t_{\text{подх/отход}}$ – время подхода к i -й точке и время отхода от j -й; $t_{\text{ож}}$ – время ожидания транспорта; $t_{\text{дв}}$ – время в движении на транспорте; $t_{\text{пересад}}$ – время на пересадку.

7 Удобство пользователя, рассматриваемое как оценка качества городского транспорта, которая невозможна без анализа показателей, связанных с эффективностью перемещения по городу с точки зрения пассажира. Представим критерии, которые нельзя численно оценить, в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии удобства потребителей транспортных услуг

Критерий	Наличие	Влияние
Система кондиционирования и отопления	+	$K \uparrow, Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow$
Билетная система	+	$K \uparrow, Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow, t_{\text{подх/отход}} \downarrow$
Электронные сервисы	+	$K \uparrow, Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow, t_{\text{подх/отход}} \downarrow$
Wi-Fi	+	$K \uparrow, Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow$
USB-розетки	+	$K \uparrow, Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow$
Информационные вывески	+	$K \uparrow, Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow, t_{\text{подх/отход}} \downarrow$
Чистота и опрятность салона ПС	+	$Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow$
Плавность хода и мастерство вождения	+	$Q_{\text{всл}} \uparrow, \Delta \uparrow, \text{Безопасность} \uparrow$

8 Надежность системы с численной оценкой как вероятности P нахождения объекта в работоспособном состоянии в данный момент времени t .

$$P(t) = N_p / N = 1 - n(t) / N, \quad (14)$$

где N_p – число рейсов безотказной работы транспорта и инфраструктуры; N – общее число рейсов; $n(t)$ – число рейсов на момент t где произошли отказы.

Данный показатель позволяет пассажиру определить, с какой вероятностью он достигнет цели своей поездки (не опоздает на встречу, самолет, поезд и др.). При высокой надежности время перемещения пассажира в системе $t_{\text{перем}ij}$ будет постоянно и горожанин сможет рационально планировать свое время. В этом отношении высокая надежность рельсового транспорта является существенным преимуществом перед личным автотранспортом.

9 Безопасность, обеспечение которой является одной из основных задач в сфере городского транспорта. Для сравнения уровня безопасности различных видов транспорта в городской среде используются абсолютные показатели, а для сравнения транспортных систем различных городов – относительные. Область безопасности транспортной системы включает следующие различные позиции:

1) использования автомобильного транспорта:

- количество ДТП за год, с учетом погибших и пострадавших, с разделением на классы участников транспортной системы;
- количество инцидентов с опасными грузами и их последствия;
- количество происшествий с другими видами транспорта;

2) использования общественного транспорта:

- количество ДТП;
- безопасность пассажира;

3) со стороны пешехода, велосипедиста, самокатчика:

- безопасность как участника движения;
- количество несчастных случаев.

10 Экология. Экологическая составляющая города непосредственно влияет на безопасность нашего здоровья. Для характеристики транспортной системы будем использовать универсальный нормализованный индекс загрязнения TAQI (англ. *Tropomi Air Quality Index*), рассчитываемый по следующей формуле:

$$TAQI = \sum_{i=1, n} c_i a_i, \quad (15)$$

где i – номер загрязняющего вещества; n – количество показателей, участвующих в расчете; c_i – нормированная концентрация i -го загрязняющего вещества; a_i – коэффициент, учитывающий класс опасности вещества.

Для удобства сравнения результатов полученные значения TAQI приводятся к шкале от 0 до 100.

Таким образом, предложенная методика позволяет комплексно оценить транспортную систему с позиции различных участников этой системы. Использование ключевых критериев оценки ТС позволит разрабатывать рациональные проекты развития систем, обладающих сбалансированностью различных, часто противоречивых условий функционирования технических и технологических структур различных видов транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Black, W. R. Sustainable Transportation: Problems and Solutions. Guilford Press / W. R. Black Banister // *Northwestern Journal*. – 2010. – No. 3. – P. 98–110.

2 Методика формирования индекса качества городской среды, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2019 г. № 510-р, с учетом изменений, утвержденных распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 ноября 2019 г. № 2625-р. – 31 с.

3 Задворный, Ю. В. Критерии эффективности транспортной инфраструктуры региона // *Российское предпринимательство* / Ю. В. Задворный. – 2011. – № 1 (1). – С. 168–186.

4 Морозова, И. А. Маркетинговое обеспечение развития инфраструктуры рынка транспортных услуг : автореф. дис. ... д-ра экон. наук. – Волгоград, 2008. – 50 с.

5 Кнупфер, Ш. Транспортные системы 24 городов мира: составляющие успеха / Ш. Кнупфер, В. Покотило, Дж. Вотцель. – McKinsey Center for Future Mobility, 2018. – 68 с.

М. А. ACHLAMOV

DETERMINING THE EFFICIENCY CRITERIA OF THE CITY TRANSPORT SYSTEM

Various approaches to assessing city transport systems are considered, advantages and disadvantages are identified. A new methodology is presented that determines the criteria for the efficiency of the city transport system, assessing the system relative to the role of its participant. The main criteria and the method for calculating them are shown.

Получено 28.10.2024

УДК 656.2

С. М. ВАСИЛЬЕВ, Т. А. ВАСИЛЬЕВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАЦИОНАЛИЗАТОРСТВО И ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В ПОСЛЕРЕВОЛЮЦИОННЫЙ ПЕРИОД БЕЛАРУСИ

Представлен исторический материал по наиболее интересным изобретениям и техническим новшествам белорусских инженеров и других технических работников, принимавших участие в восстановлении железных дорог Беларуси в первые годы Советской власти.

Период мирного хозяйственного строительства в Беларуси в 1920-е годы начинался в обстановке крайней разрухи, вызванной империалистической, а затем гражданской войнами и иностранной интервенцией. Работники Западных железных дорог, начиная от рабочего и заканчивая старыми мастерами, техниками и инженерами, участвовали в восстановлении транспорта и совершенствовании его работы. Природный ум и смекалка часто помогали при решении сложных задач по организации и управлению поездов. Многие из предложенных усовершенствований и изобретений подвергались тщательному научному обоснованию и проверке на производстве, своевременно были оценены, поощрены и представлены в ИЗУЛ НКПС, а последним рекомендованы дорогам всей сети СССР для применения, и широко применялись.

Преследуя цель всемерного содействия рабочему изобретательству, Правление Западной железной дороги издало директиву всем административно-техническим лицам внимательно относиться к предложениям, направленным на дальнейшее улучшение железнодорожного хозяйства, и учредило специальный фонд денежных поощрений тем работникам, чьи предложения будут приняты и применены на практике [2].

Так как число рационализаторских предложений постепенно увеличивалось, Правление дорог сочло необходимым подобрать, систематизировать и отпечатать в «Сборнике изобретений и улучшений, предложенных работниками Западных железных дорог (1921–1925 г.)» все опубликованные в разное время материалы научно-практического характера. Каждого работника призывали к активному участию в технических и технологических новациях, всем оказывалось содействие советами и оформлением идей, что видно из лозунгов-обращений, указанных на обложке сборника:

Прочитай и подумай! Что ты можешь предложить?

Не стесняйся, что у тебя чертеж грязный и кривой – носи в ДорИзУл, – разберут, исправят, напечатают! (рисунок 1).



Рисунок 1 – Обложка сборника

В первый сборник вошли следующие изобретения и рационализаторские предложения:

- прибор для укрепления ослабших бандажей помощника мастера Гомельских мастерских И. С. Данилова;
 - прибор для продувки дымогарных труб и искроудержатель столяра 3-го участка тяги Ф. Ф. Евстафьева;
 - искроудержатель мастера Брянского депо И. А. Суслина;
 - приспособление электромотора к 4-тонному подъемному крану, выполненное по заданию инженера В. А. Федорова;
 - приспособления для заливки и расточки вагонных подшипников, сконструированные Гомельскими мастерскими по инициативе инженера В. А. Федорова;
 - замок для дверей багажных вагонов слесаря Гомельских мастерских В. И. Притулецкого;
 - прибор для проверки углов опережения контркривошипов паровозов серий НВ, Нв и Ов мастера колесного цеха Гомельских мастерских И. К. Калинина;
 - прибор для измерения прогиба и боковой качки мостов мостового мастера 7-го участка пути О. В. Борсука;
 - гребенка для скалывания льда к снегоочистителю системы Бьерке дорожного мастера 5-го участка пути Н. А. Гринцевича;
 - воздуходувка для кузнечных горнов дорожного мастера 9-го участка пути Н. К. Жемойтеля;
 - прибор для нарезки осей к ветрянкам телеграфных аппаратов мастера мастерских телеграфа А. Н. Москалькова;
 - автоматический аппарат для предупреждения хищений электрической энергии заведующего электрической станцией К. Н. Аникина [2].
- Весьма интересным является изобретение К. Н. Аникина. Сохранились даже его чертежи (рисунок 2).
- Исключение хищения электрической энергии может быть достигнуто посредством аппарата, который устанавливается внутри зданий у места ввода проводов таким образом, чтобы через него проходила вся электроэнергия, идущая на освещение.

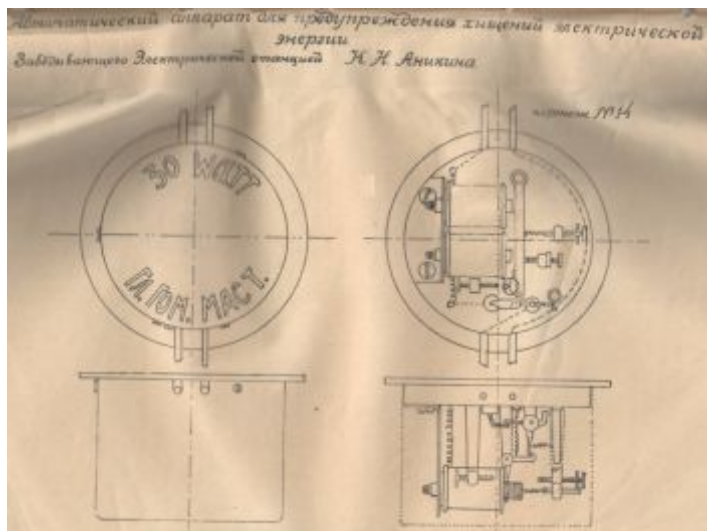


Рисунок 2 – Чертежи автоматического аппарата для предупреждения хищений электрической энергии

В аппарате весь ток будет проходить по электромагнитным катушкам, сумма сопротивлений которых равна 8 Ом, и, следовательно, потеря напряжения в них при нагрузке в одну или две 25-свечных ламп не превышает 1,12–2,3 В. Электромагниты притягивают якорь, удерживаемый пружиной. При регулировке аппарата сила удержания якоря увеличивается или уменьшается натяжным винтом и упорным штифтом.

При самовольном увеличении числа ламп или их мощности увеличится и сила, проходящего по катушкам тока, что вызовет усиление магнитного поля катушек и сердечника. При этом нижний конец якоря толкнет коленчатый рычаг-собачку, удерживаемый пружиной и задерживающий рычажный выключатель. Выключатель, освобожденный от удержания собачкой, оттянется пружиной и прервет поступление энергии.

Таким образом, абонент при злоупотреблениях совершенно лишается света, и для восстановления такового необходимо снять с аппарата пломбу, что может быть произведено лишь агентом электрической станции.

Кроме того, аппарат, основанный на принципе минимального автомата, заменяет собой предохранитель, что в значительной степени удешевляет и без того небольшую стоимость его в 5–7 руб. [2].

Таким образом, в первые годы советской власти в Беларуси стали активно развиваться методы рационализаторской работы, пропагандироваться идеи передовой научной мысли, которые способствовали быстрому восстановлению и развитию железнодорожной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 История дороги. Железнодорожный транспорт Беларуси в период восстановления и реконструкции 1921–1949 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://history.rw.by/zheleznye_dorogi/zheleznodorozhnyj_transport_belar/. – Дата доступа : 08.11.2024.

2 ГАГом ф. 373 оп. 1 д.110. Сборник изобретений и улучшений, предложенных работниками Западных железных дорог. – М., 1921–1925 гг. – 35 с.

S. M. VASILIEV, T. A. VASILIEVA

RATIONALIZATION AND INVENTION IN RAILWAY TRANSPORT IN THE POST-REVOLUTIONARY PERIOD OF BELARUS

Historical material is presented on the most interesting inventions and technical innovations of Belarusian engineers and other technical workers who took part in the restoration of the railways of Belarus in the first years of Soviet power.

Получено 15.11.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 51-7: 656.2

Т. А. ВЛАСЮК, А. Н. БЕЛОУС, Л. А. ГОНЧАРОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,

*ЦЗЭН СЯНЬФЭН, Гуанчжоуский профессионально-технический колледж
железнодорожного транспорта, Китайская Народная Республика
vlasiuk.ta@gmail.com*

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОФАЙЛИНГА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Рассматривается возможность использования на железнодорожном транспорте профайлинга – современной технологии, позволяющей предотвратить террористические угрозы и обеспечить безопасное нахождение пассажиров на железнодорожных вокзалах, а также выявить лица с потенциально опасным поведением путем расшифровки невербальных и вербальных компонентов, использующихся в межличностном общении. Многолетний опыт применения данной технологии за рубежом позволил получить положительные результаты, подтверждающие практическую значимость профайлинга при подготовке будущих инженеров-транспортников.

На железнодорожном транспорте в практике работы вокзалов возникают ситуации, требующие, не только повышенного внимания сотрудников, но и выполнения ими оперативно-розыскной деятельности, что требует приме-

нения методов невербальной и оперативной психодиагностики. Решение этой задачи возможно при использовании профайлинга (от англ. *profile* – «профиль»), представляющего собой систему оценки личности и выявления ее особенностей, при помощи методов невербальной и оперативной психодиагностики [1, 2]. Впервые эта система была опробована в конце 1970-х годов XX века авиакомпанией «Эль-Аль» (Израиль) в период, когда наблюдался рост авиационного терроризма. В связи с этим психологами был разработан комплекс несложных вопросов пассажирам, позволяющих определить у них значимость или незначимость важных антитеррористических тем и построить психологический «профиль» пассажира, согласно которому он может классифицироваться как неопасный или потенциально опасный. Это позволяет выявить лиц, совершивших террористический акт или готовящихся его совершить, исходя из наличия определенного набора подозрительных признаков во внешности, поведении, перевозочных документах и перевозимых вещах. В 1985 году в технологии профайлинга были добавлены алгоритмы оценки лица и мимики по методике американского эксперта Пола Экмана, что позволило по лицу человека определить его психоэмоциональное состояние и предположить его основные мотивы и стереотипное поведение [2].

В настоящее время среди 9 основных видов психологического профайлинга выделяют *транспортный*, в котором рассматривается 8 типов личности, дающие общее представление о человеке (таблица 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика типов личности пассажиров при использовании транспортного психологического профайлинга

Тип личности пассажиров	Краткая характеристика	
	психологический тип	Транспортный профайлинг
Истероид	Демонстративный (акцентуированная личность)	Вербальная агрессия и сумбурное поведение
Эпилептоид	Эпилептоидный радикал (агрессивная мимика, взрывное выражение эмоций)	Склонность к провоцированию конфликтов
Паранойяльный	Доминантный (стабильная мимика с сочетание гнева, презрения, гордости и отвращения)	Инициатор конфликтных ситуаций
Эмотивный	Чувствительный (мимика не достаточно подвижная и без резких переходов)	Преступление ради высоких ценностей
Гипертим	Общительный (гиперкинетическая мимика, подвижная, ярко выраженная, очень быстро меняющаяся)	Склонность к спонтанным преступлениям

Окончание таблицы 1

Тип личности пассажиров	Краткая характеристика	
	психологический тип	Транспортный профайлинг
Шизоид	Оригинальный (рассогласованность эмоций и мимики)	Склонность к неординарным, нелогичным, оригинальным преступлениям
Тревожно-мнительный	Астенический (мимика беспокойства)	Некриминальный профиль
Депрессивно-печальный	Реинтеграционный (мимика неактивная, ограниченная, монотонная с проявлениями грусти или печали)	Некриминальный профиль

Анализ таблицы 1 показал, что для применения технологии профайлинга на железнодорожном транспорте, например, железнодорожных вокзалах и прилегающих к ним территориях, пассажирских платформах и т. п. и принятия решений в оперативном порядке необходимо определение мотивов поведения пассажиров путем считывания их психологического состояния [3]. В связи с этим сегодня в мировой практике получили распространение системы распознавания лиц, видеонаблюдение и другие технологии (таблица 2).

Таблица 2 – Краткая характеристика технологических особенностей профайлинга для предотвращения террористических угроз на железнодорожном транспорте

Технология профайлинга	Краткая характеристика	Преимущества
Система распознавания лиц	Использование фронтальных камер, встроенных в стандартный POS-терминал	Обнаружение пассажиров с нестандартным поведением (например, агрессивно жестикулирующих), и тех, кто пытается скрыть объёмные предметы под одеждой
Система тепловизионной видеоналитики	Высокая дальность покрытия, устойчивость к помехам в виде снега, дождя и тумана	«Видение» в темное время суток при отсутствии освещения
Система ситуационной видеоналитики	Обнаружение пассажира и прослеживание его движения с классификацией поведения	Прием входных данных с камер наблюдения и определение степени опасности
Система аудиоаналитики (массовый профайлинг)	Раннее предупреждение действий пассажира, направленных на нарушение закона	Установление камер, оснащенных микрофонами на станциях метрополитена, железнодорожных вокзалах для выделения взрывов или криков на фоне городского шума

Окончание таблицы 2

Технология профайлинга	Краткая характеристика	Преимущества
Наблюдение за пассажирами с помощью дронов	Применение летающих дронов	Установление траектории передвижения и точки остановки любого пассажира
Система глобальной идентификации нового поколения	Биометрической системой распознавания лиц	Прогнозирование поведения и намерения пассажира

В настоящее время в рамках профайлинга продолжают активно развиваться различные системы распознавания лиц, которые помогают оптимизировать и разрешить многие транспортные проблемы [5–7]. Например, в Российской Федерации основной автоматизированной информационно-поисковой системой (АИПС) на железнодорожном транспорте является программно-технический комплекс (ПТК) «Розыск-Магистраль», который в автоматизированном режиме обеспечивает:

- выявление в пассажиропотоке лиц, находящихся в розыске, а также лиц, представляющих оперативный интерес для правоохранительных органов, посредством автоматического сравнения баз данных по лицам, находящимся в розыске, а также утраченных и похищенных документов с транспортными базами данных;

- круглосуточное пополнение баз данных информацией, поступающей из ОАО «РЖД», его филиалов и структурных подразделений; предприятий авиатранспорта; ГИАЦ МВД России; информационных центров МВД, ГУВД, УВД, УВДТ; подчиненных линейных подразделений и других правоохранительных органов;

- предоставление возможности поиска по базам данных АИПС в различных режимах;

- выгрузку данных из информационных массивов АИПС и передачу их в вышестоящие подразделения для формирования общероссийского (межрегионального) информационного массива;

- осуществление по запросу пользователя аналитической обработки имеющейся в базах данных ПТК информации с целью выявления и раскрытия преступлений в сфере пассажирских перевозок;

- проведение аналитических разработок по регистрируемым преступлениям и делам оперативного учета;

- формирование статистической отчетности о результатах работы системы как по выявлению лиц, находящихся в розыске и представляющих оперативный интерес, так и по количеству и качеству выданной по запросам пользователей информации [4].

Помимо описанных выше функций в системе «Розыск-Магистраль» реализовано использование программных модулей – автоматизированных рабочих мест (АРМ), позволяющих выявлять и раскрывать преступления, со-

вершенные в сфере пассажирских перевозок. В основу работы данных модулей заложен принцип отраслевой интеграции информации, т. е. для каждого направления работы (по линиям уголовного розыска, борьбы с незаконным оборотом наркотиков, борьбы с организованной преступностью и др.) существует свое АРМ, что позволяет посредством специально разработанных алгоритмов извлекать из общего банка информацию и анализировать данные, необходимые для выявления и раскрытия конкретных видов преступлений [4].

Для информационной поддержки нарядов патрульно-постовой службы и оперативных сотрудников на железнодорожных вокзалах, пассажирских платформах и т. п. существуют мобильные терминалы ПТК «Розыск-Магистраль», которые представляют собой карманные персональные компьютеры и предназначены для оперативного доступа сотрудников правоохранительных органов к информации баз данных федерального и регионального уровней, таких как «Розыск лиц», «Паспорта», «Оружие», «Угон» и др. [4]. При этом подвижные и стационарные комплексы технического наблюдения нового поколения позволяют контролировать обстановку на удаленных и труднодоступных направлениях, где будут осуществлять наблюдение беспилотные летательные аппараты (дроны) [5, 6]. Кроме того, российские программисты разработали систему, которая в целях контроля над оперативной ситуацией автоматически взаимодействует с различными техническими средствами охраны: видеокамерами, инфракрасными и сейсмическими датчиками, радиолокационными станциями и беспилотниками, фиксирующими факты нарушения. Она не только предназначена для сбора различной информации, но и содержит элементы искусственного интеллекта [4].

Таким образом, выполненный анализ показал, что широкое применение профайлинга обеспечивает безопасное нахождение пассажиров на железнодорожном транспорте, а также повышает эффективность данного вида перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Профайлинг в деятельности органов внутренних дел : учеб. пособие / В. В. Вахнина [и др.]. – М., 2018. – 17 с.

2 Профайлинг и его перспективное развитие [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://poligraph.kz/aleskovskaya-oa.html>. – Дата доступа : 07.01.2024.

3 Жданов, Ю. Полиция будущего / Ю. Жданов, В. Овчинский. – М., 2018. – 166 с.

4 Профайлинг. Технологии предотвращения противоправных действий : учеб. пособие / И. И. Аминов [и др.]. – М. : ЮНИТИ–ДАНА, 2010. – 86 с.

5 Молодцова, Е. Ю. Использование технологии профайлинга в обучении специалистов служб безопасности для транспортной отрасли / Е. Ю. Молодцова, И. А. Алексеевко // Педагогика высшей школы. – 2015. – № 3.1 (3.1). – С. 116–120.

6 Транспортная безопасность : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / авт.-сост. Т. Н. Каликина [и др.]. – Хабаровск : ДВГУПС, 2015. – 84 с.

APPLICATION OF PROFILING TECHNOLOGY TO PREVENT TERRORIST THREATS BY RAILWAY TRANSPORT

To prevent terrorist threats in railway transport and ensure the safe stay of passengers at railway stations, profiling is used – a modern technology that makes it possible to identify persons with potentially dangerous behavior by deciphering non-verbal and verbal components used in interpersonal communication. Many years of experience in using the above-mentioned technology abroad and the positive results obtained confirm the practical importance of profiling in the training of future transport engineers.

Получено 07.01.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 656.21:53.072:004.9

A. K. ГОЛОВНИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
golovnich_alex@mail.ru*

ОПТИМИЗИРУЮЩАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА ТРЕХМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНЦИИ С АКТИВИЗАЦИЕЙ ПРОЕКТНЫХ ИСКИНОВ

Рассматривается возможность применения аналитических алгоритмов искусственного интеллекта (искина модельной среды цифровой станции) с оценкой эффективности использования наличного путевого развития. При значительных ожиданиях выполнения отдельных операций по причине высокой загрузки инфраструктурных элементов искин рассчитывает рациональный вариант перераспределения работы на станции, выравнивающего загрузки отдельных точек, а в определенных условиях, не позволяющих получить эффект только технологическими решениями, – целесообразный вариант реконструкции (удлинения существующих, укладки новых станционных путей, перекладки существующих или укладки новых стрелочных переводов, ввода в эксплуатацию более совершенных технических средств и др.). Технологическое задание по выполнению заданного объема работы накладывается на проектное решение искина и все технологические операции моделируются в новых условиях инфраструктурного развития цифровой станции.

Путевое развитие и техническое оснащение промежуточной станции включает достаточно развитый комплекс устройств, который позволяет разрабатывать и реализовать адаптивный алгоритм реалистичной реконструкции технологических операций, обеспечивающих обслуживание пассажирских и грузовых поездов всех категорий и грузовых пунктов, выполняющих погрузо-выгрузочные работы широкого наименования грузов с использованием раз-

личного типа вагонов. В качестве примера рассмотрим конкретную схему промежуточной станции, путевое развитие которой включает главный путь I, три прямо-отправочных (2, 2б, 3), выставочный 4, погрузо-выгрузочные пути 5, 6, вытяжной путь 7, а также внутрисканционные соединительные пути, съезды и стрелочные переводы, обеспечивающие связь отдельных путей между собой (рисунок 1).

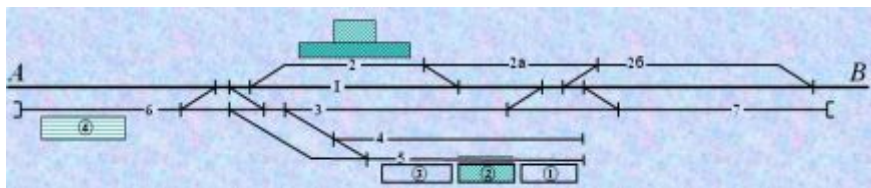


Рисунок 1 – Схема промежуточной станции

Позрузо-выгрузочный путь 5 обеспечивает грузовые операции по трем пунктам, у пути 6 оборудован один грузовой пункт.

Если такую схемную реализацию принять за базовую инфраструктурную оболочку и дополнить ее цифровыми объектами подвижного состава (рисунок 2), то полученную конструкцию можно использовать как моделирующую среду с соответствующими визуальными эффектами, рассматриваемыми как выполняемые технологические операции с перемещением локомотивов и вагонов по заданным разрешенным маршрутам.

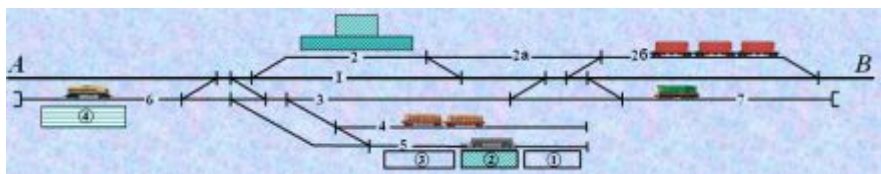


Рисунок 2 – Модельная структура промежуточной станции с перемещаемыми объектами подвижного состава

Маневровый локомотив и вагоны, стоящие на станционных путях, указывают на объектные позиции, которые будут изменяться при решении конкретных задач. Специализированный программный модуль активизируется благодаря интерфейсу взаимодействия пользователя и модели (рисунок 3).

В модульной среде «Выполнение маневровой работы» необходимо активизировать кнопку «Выделить объект», зафиксировать посредством щелчка левой кнопки мыши изображение маневрового локомотива и нажать кнопку «Указать конечную точку маршрута» (например, на цистерну, стоящую у грузового объекта 4 на пути 6).

Щелчок на кнопке «Переместить объект до указанной точки» приведет к движению локомотива к цистерне.

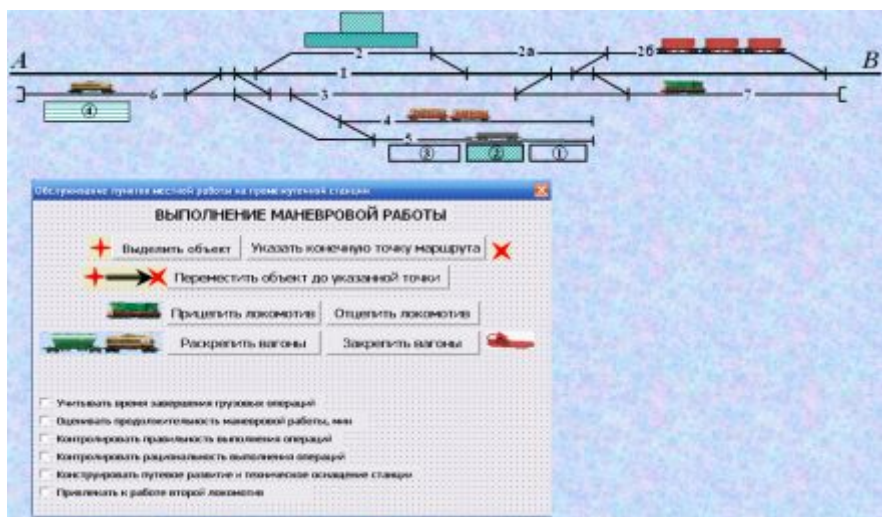


Рисунок 3 – Программная среда моделирования работы промежуточной станции

Следует обратить внимание на группу из шести неактивных кнопок CheckBox в нижней части программного модуля «Выполнение маневровой работы». Установка в активную позицию первой кнопки позволит учитывать время выполнения грузовых операций с различными вагонами на различных грузовых фронтах и потребует ввода дополнительных данных (рисунок 4).

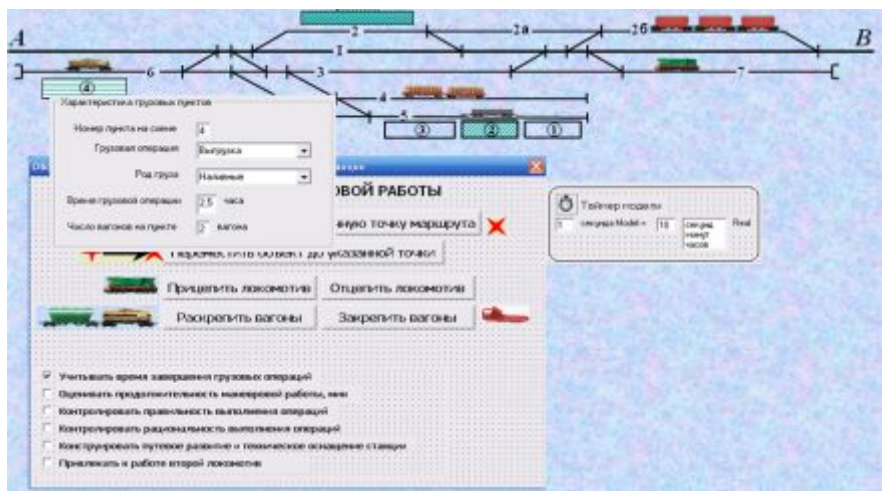


Рисунок 4 – Активизация CheckBox
«Учитывать время завершения грузовых операций»

Сначала необходимо определить скорость выполнения технологических операций в модели. Задание таймера модели (соответствие одной секунды работы модели 10, 100, ... секундам, минутам или часам реальной продолжительности операций) позволит перейти в масштабированное модельное время. Кроме того, по каждому грузовому объекту (всего их четыре на данной схеме станции) требуется заполнить форму «Характеристика грузовых пунктов», которая визуализируется после клика мышью на изображении грузового пункта с соответствующим номером. Таким образом, требуется заполнить четыре формы (по числу грузовых объектов).

Если активизировать второй CheckBox «Оценивать продолжительность маневровой работы, мин», то возникает новый графический элемент «Размеры локации» и редактируемая форма с корректируемыми полезными длинами всех станционных путей (рисунок 5).

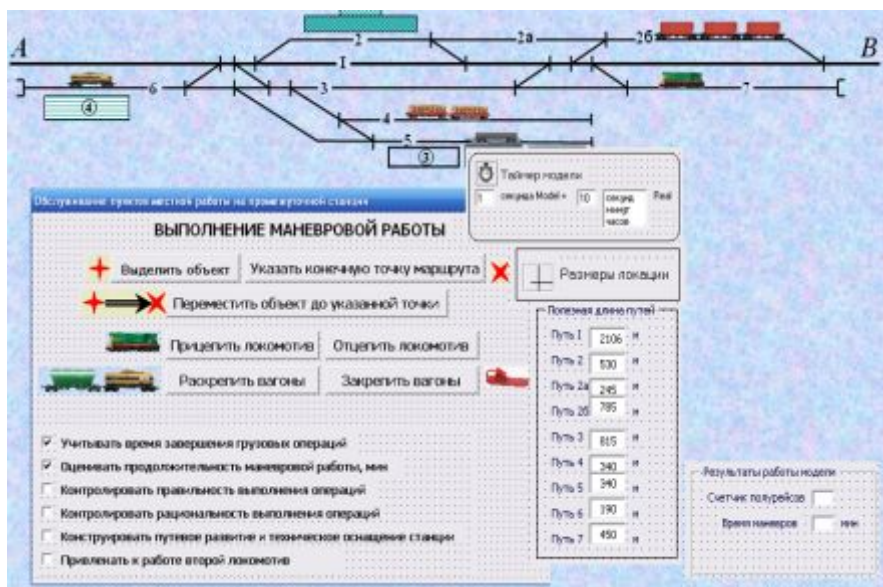


Рисунок 5 – Активизация CheckBox «Оценивать продолжительность маневровой работы»

Можно принять рекомендуемые полезные длины станционных путей, соответствующих приведенной схеме промежуточной станции или ввести другие значения. Полезная длина главного пути *I* указана по крайним стрелочным переводам, уложенным на данном пути. Программная форма «Результаты работы модели» будет фиксировать число выполненных полурейсов и общую продолжительность маневровой работы. Принимаются следующие начальные условия по положению станционных объектов модели:

- маневровый локомотив находится (или останавливается) сразу за предельным столбиком стрелочного перевода, ограничивающего полезную длину пути со стороны маршрута входа на путь;
- на грузовом пункте вагоны располагаются на середине пути (там, где находится склад – типично для грузового пункта 4 и цистерны);
- для располагаемых на одном грузовом пути нескольких пунктов (на данной схеме станции у погрузо-выгрузочного пути 5 располагаются три грузовых пункта) весь путь пропорционально разделяется между длинами соответствующих грузовых фронтов;
- полнота заполнения пути вагонами оценивается визуально (например, на пути 2б до предельного столбика остается место для установки одного вагона и локомотива, прицепляемого к сформированному поезду);
- груженные лесовозы стоят на выставочном пути 4 сразу за предельным столбиком стрелочного перевода, ограничивающем полезную длину данного пути.

Третий CheckBox «Контролировать правильность выполнения операций» требует учитывать все маневровые операции, включая прицепку-отцепку локомотива, закрепление и раскрепление вагонов (рисунок 6).

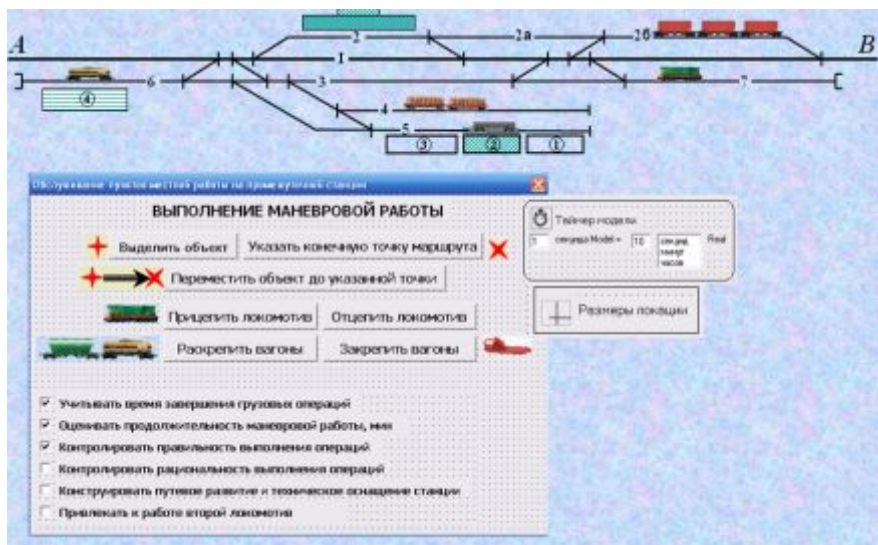


Рисунок 6 – Активизация CheckBox
«Контролировать правильность выполнения операций»

Активизация данного флажка позволит программно следить за нажатием кнопок «Прицепить-отцепить локомотив» и «Закрепить-раскрепить вагоны». Если после выделения объектов (например, локомотива на пути 7 и цистерны

на пути 6 у грузового пункта 4) и перемещения локомотива до цистерны с указанным активным CheckBox последует команда движения локомотива с цистерной на путь 7, то программа выдаст в информационном окне сообщение с указанием на ошибку: «Локомотив не прицеплен к вагону, вагон не раскреплен». Этот CheckBox можно считать опциональным и в общем случае его лучше не активизировать, так как он приводит к необходимости выполнения целого ряда дополнительных операций.

Активный флажок «Контролировать рациональность выполнения операций» позволяет программно сравнивать выбранную пользователем последовательность выполнения операций по обслуживанию грузовых пунктов с эффективным вариантом, заложенным в алгоритме модели (рисунок 7).

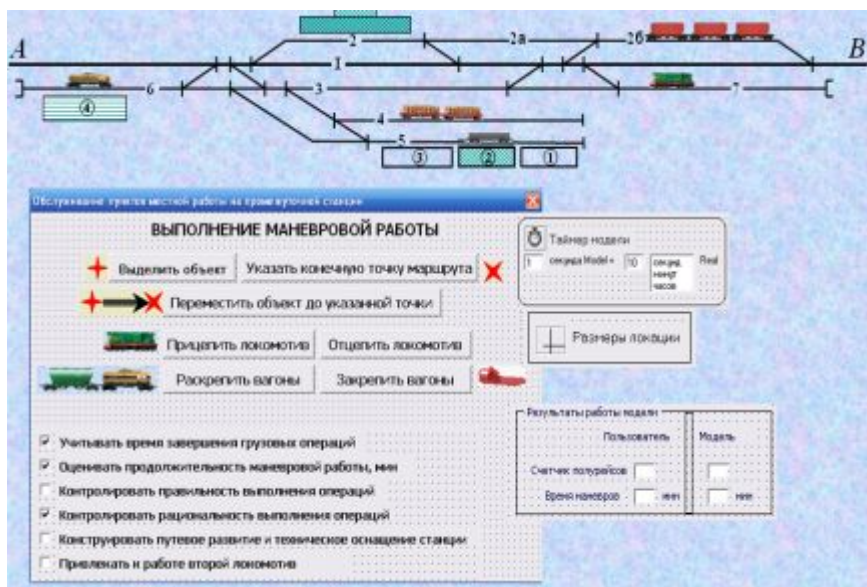


Рисунок 7 – Активизация CheckBox
«Контролировать рациональность выполнения операций»

Ожидается, что модельный вариант окажется лучше и по числу выполненных полурейсов, и по общей продолжительности маневров. Однако для того, чтобы получить такую оценку, следует в полном объеме провести маневровую работу, представленную в некоторой задаче. Подобные задачи будут рассмотрены ниже.

Программный редактор позволяет конструировать путевое развитие благодаря возможности активизации следующего CheckBox – «Конструировать путевое развитие и техническое оснащение станций» (рисунок 8).

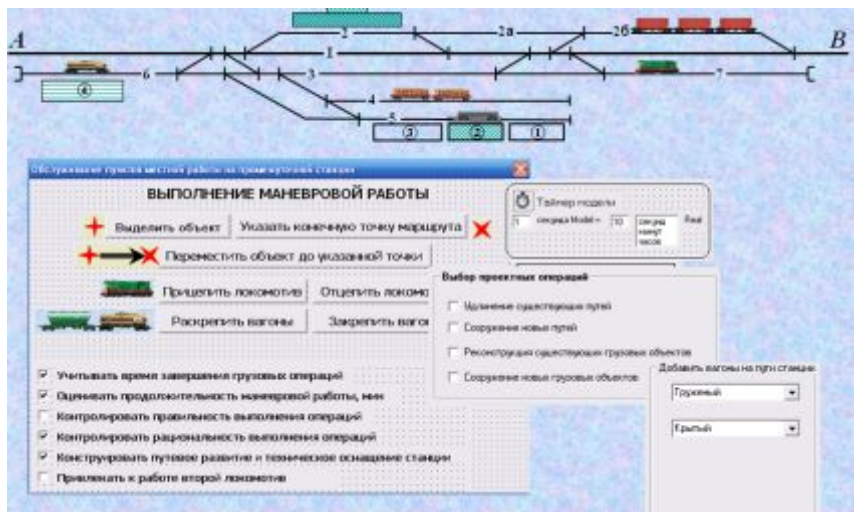


Рисунок 8 – Активизация CheckBox
«Конструировать путевое развитие и техническое оснащение станции»

Из числа проектных операций можно выбрать возможности удлинения существующих и строительства новых путей, реконструкции существующих и сооружения новых грузовых объектов.

Все изменения в путевом развитии и техническом оснащении станции отражаются на схеме. Кроме того, можно на пути схемы станции добавить вагоны из перечня возможных типов с указанием характера выполняемых с ними грузовых операций.

Для формирования конкурентоспособных вариантов развития станции проектный искин запрашивает соответствующие объемы работы по грузовым пунктам, а также количество поездов других категорий (пассажирские, сквозные грузовые), движение которых по станционным путям влияет на загрузку расчетных контрольных точек (рисунок 9).

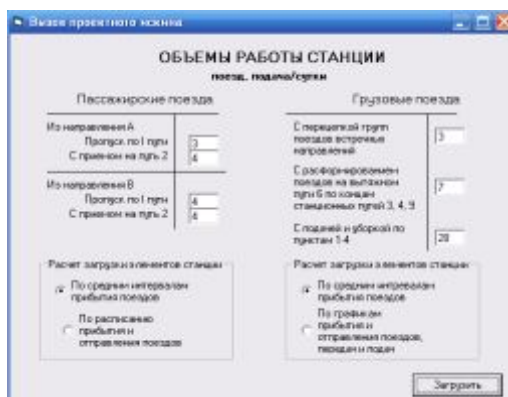


Рисунок 9 – Блок исходных данных
для работы проектного искина

ции проектный искин рассчитывает целесообразный вариант развития раздельного пункта, в полной мере обеспечивающий выполнение всех технологических операций (рисунок 10).

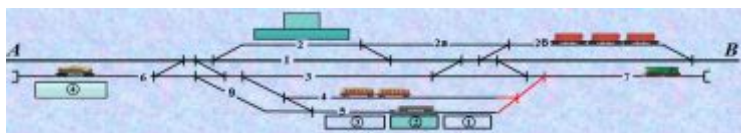


Рисунок 10 – Реконструкция станции по рекомендации проектного искина

Для заданного объема работы проектный искин предлагает ограничиться реконструкцией погрузо-выгрузочного и выставочного путей со сквозным выходом на вытяжной путь 7.

В случае высокой загрузки маневрового локомотива из-за возросшего объема маневровых работ можно не подключать функционал проектного искина, а попытаться активизировать работу второго локомотива с установкой программной опции «Привлекать к работе второй локомотив» (рисунок 11).

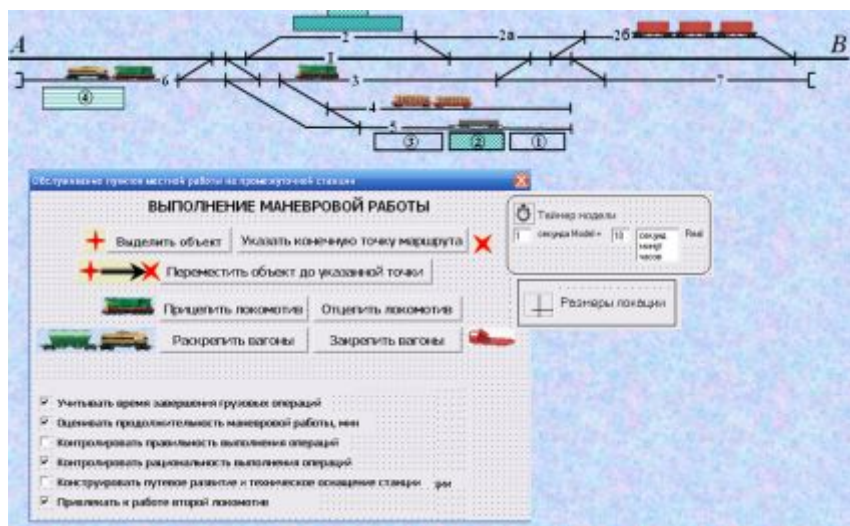


Рисунок 11– Активизация CheckBox «Привлекать к работе второй локомотив»

Второй локомотив вызывается с близлежащей соседней станции *A* и прибывает по главному пути *I* на станционный путь 3.

Расширенный функционал работы программного модуля позволяет ему работать не только в режимах визуализации выполняемых технологических операций и решения оптимизационных задач, но и контроля полученных знаний обучаемых (студентов, стажеров, работников и др.). Активизация

контрольно-аналитических режимов модели станции осуществляется по нажатию группы клавиш <Ctrl+Alt+R>. В результате на общей интерфейсной панели появляются две закладки: «Задачи» и «Экзамен» (рисунок 12).

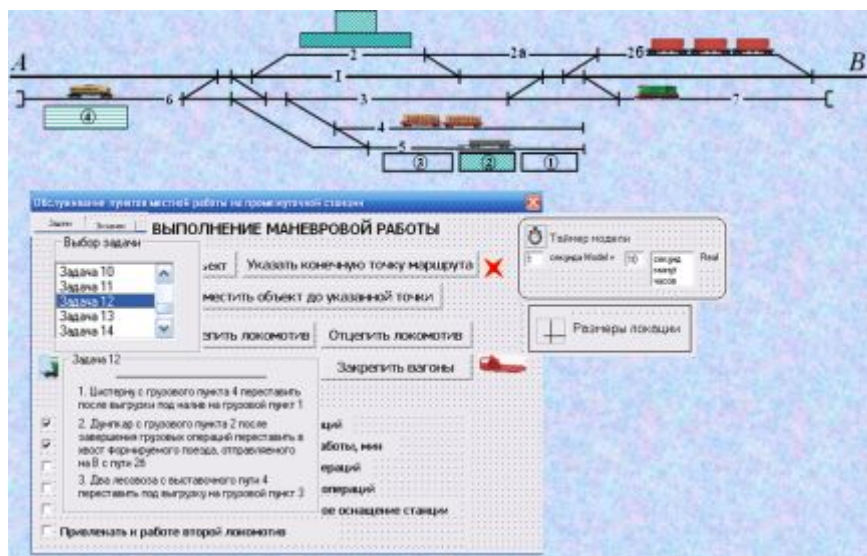


Рисунок 12 – Выбор задачи из списка

В качестве примера рассматривается эксплуатационная ситуация задачи 12 с указанными условиями, отраженными в дополнительном информационном окне, где определяется, на каких путях установлены вагоны, которые требуется убрать, подать, поставить в формируемый состав и др.

Активизация соответствующих опций по приведенному выше списку CheckBox позволит решать задачи в различных вариантах исходных условий и ограничений.

Переход в режим «Экзамен» позволяет оценивать решение задач контролирующей программной средой с заявленной дифференцированной или недифференцированной шкалой.

Таким образом, программная среда визуализации технологии работы железнодорожной станции с подключением модулей гибридного интеллекта существенно расширяет обучающий и проектный функционал данной компьютерной системы. Наряду с возможностями презентативного воспроизведения работы станции графической оболочкой формируется высокоуровневая конструкция, которая позволяет выполнять глубокий анализ характера производимых операций, прогнозировать ситуативные состояния отдельных элементов путевого развития, подсистем станции и раздельного пункта в целом с позиций безопасности и надежности.

A. K. GOLOVNICH

OPTIMIZING RECONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS ON A THREE-DIMENSIONAL DYNAMIC MODEL OF A STATION WITH ACTIVATION OF PROJECT AI

The possibility of using analytical algorithms of artificial intelligence (AI of a digital station model environment) with an assessment of the efficiency of using the existing track development is considered. With significant expectations for the execution of individual operations due to the high load of infrastructure elements, the AI calculates a rational option for redistributing work at the station, equalizing the loads of individual points, and in certain conditions that do not allow obtaining an effect only by technological solutions, a feasible option for reconstruction (lengthening existing, laying new station tracks, re-laying existing or laying new turnouts, commissioning more advanced technical means, etc.). The technological task for completing a given volume of work is imposed on the AI design solution and all technological operations are modeled in the new conditions of the infrastructural development of the digital station.

Получено 22.08.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 656.225.071.8

И. А. ЕЛОВОЙ, Е. Н. ПОТЫЛКИН, М. М. КОЛОС

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
ugkr@bsut.by*

ЗАКОНЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ ПОДАЧИ-УБОРКИ ВАГОНОВ СО СТАНЦИИ К ГРУЗОВЫМ ФРОНТАМ

Представлены результаты исследований по определению закона распределения процесса подачи-уборки вагонов со станции к грузовым фронтам, которые связываются с наличием случайной составляющей во взаимодействии железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Процесс подачи-уборки вагонов со станции к фронтам погрузки-выгрузки включает следующие составляющие:

- обязательные технологические операции, обеспечивающие подачу и уборку вагонов к грузовым фронтам погрузки-выгрузки;
- вспомогательные и дополнительные операции, предусматривающие приём и сдачу смены локомотивной и составительской бригадами, перерыв на обед или приём пищи, необходимость в физиологических надобностях и др.;

– межоперационные простои, обусловленные возникновением враждебности маршрутов в процессе подачи-уборки вагонов, несогласованными действиями работников в рассматриваемом процессе; допускаемыми ошибками диспетчерского аппарата (человеческий фактор); неравномерностью вагонопотоков и грузопотоков (присутствие случайной составляющей в спросе на товар); ненадёжностью работы погрузочно-разгрузочных механизмов и маневровых средств (локомотивов и др.) и т. п.

Третья составляющая может быть отнесена к рисковому, так как обусловлена случайными факторами, которые учитываются в расчётных формулах с помощью коэффициентов вариации входящего потока требований и продолжительности их обслуживания. В качестве базовой формулы на начальном этапе обычно выбирается одноканальная система подачи-уборки вагонов к грузовым фронтам и обратно.

Среднее количество в подаваемой или убираемой группы вагонов рассчитывается по формуле

$$\bar{m}_{\text{гр}} = \bar{\lambda}_p T / n_p, \quad (1)$$

где $\bar{\lambda}_p$ – средневзвешенная интенсивность потока вагонов на грузовые фронты, ваг./ч,

$$\bar{\lambda}_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i (\lambda_i / \lambda_o), \quad (2)$$

λ_o – суммарная интенсивность потока на рассматриваемые грузовые фронты,

$$\lambda_o = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad (3)$$

n_p – расчетное количество грузовых фронтов,

$$n_p = n - 24 \sum_{j=1}^l \lambda_j, \quad (4)$$

l – количество малодетальных фронтов; λ_j – интенсивность потока вагонов на j -й малодетальный фронт, ваг./ч.

Если вторая составляющая в правой части формулы (4) равна единице, то все малодетальные места погрузки-выгрузки объединяются в один фронт, то есть $\Delta n = 1$. Продолжительность обслуживания всех грузовых фронтов в выделенном цикле равна T и относится к неизвестной величине.

Рассмотрим возможность сведения многоканальной системы обслуживания к одноканальной. В качестве примера на рисунке 1 показано обслуживание одним или несколькими маневровыми локомотивами погрузочно-разгрузочных фронтов, где вагоны подаются со станции Заводской. Здесь пунктирными линиями показаны подачи или уборки вагонов в прямом и обратном направлениях. Всего на рисунке 1 имеется n грузовых фронтов, а продолжительность обслуживания одного грузового фронта $t_{\text{пуи}} = t_{\text{пи}} + t_{\text{yi}}$.

Рассмотрим один из возможных вариантов сведения многоканальной системы к одноканальной, состоящий из нескольких этапов.

1 В ожидании обслуживания находится в среднем K требований, которое рассчитывается на основании формул теории массового обслуживания.

2 В качестве обслуживающего устройства выступает один или несколько маневровых локомотивов.

3 Общая продолжительность обслуживания n погрузочно-разгрузочных фронтов $\sum_{i=1}^{n_p} t_{nyi}$, может достаточно точно рассчитываться по формуле

$$\sum_{i=1}^n t_{nyi} = n \bar{t}_{ny}; \quad (5)$$

где $\bar{t}_{ny}$ – средневзвешенная продолжительность обслуживания одного рассматриваемого фронта.

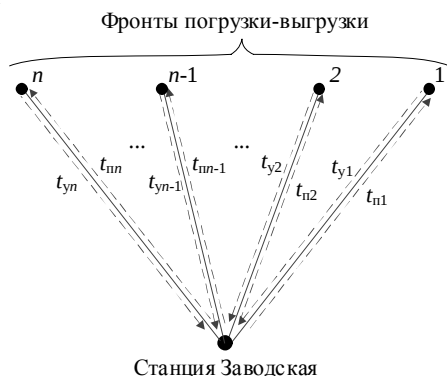


Рисунок 1 – Схема обслуживания маневровыми локомотивами при подаче-уборке вагонов

Пусть $t_{ny1} = 1$; $t_{ny2} = 3$; $t_{ny3} = 3$.

Тогда $\bar{t}_{ny} = (1 + 3 + 3) / 3 = 2,3$;

$$\sum_{i=1}^{n_p} t_{nyi} = 2,3 \cdot 3 = 6,9 \approx 7.$$

Анализ данного примера показывает, что общая продолжительность или цикл обслуживания грузовых фронтов системой подачи-уборки на эти фронты $t_{ny}^o = \sum_{i=1}^{n_p} t_{nyi} = 7$.

4 После расчета средневзвешенной продолжительности обслуживания одного грузового фронта погрузки-выгрузки $\bar{t}_{ny}$ появляется возможность свести

многоканальную систему массового обслуживания к одноканальной. В этом случае средневзвешенная продолжительность обслуживания одного канала (фронта) маневровым локомотивом будет равна $\bar{t}_{\text{пу}}$, так как она не будет изменяться при работе одного или двух маневровых локомотивов, т. е. конструкция горловин на любой фронт позволяет работать параллельно, например, двум маневровым локомотивам.

5 В процессе параллельной работы двух маневровых локомотивов расчётная общая или суммарная продолжительность выполнения маневровых операций уменьшится в два раза. В соответствии с формулой (5) левая часть также уменьшится в два раза. Соответственно, в правой части данной формулы количество грузовых фронтов, приходящихся на один локомотив, также уменьшится в два раза. В то же время фактическая продолжительность

подачи-уборки на грузовой фронт $\bar{t}_{\text{пу}}$ останется без изменения, так как на одном расчётном фронте погрузки-выгрузки или соединительных путях может работать только один маневровый локомотив.

6 В выполняемых исследованиях обычно многоканальная система искусственно сводится к одноканальной. При таком подходе, например, в соответствии с формулой (5), если левая часть данного уравнения в условиях функционирования двух маневровых локомотивов будет уменьшаться в два раза, то и правая часть такого равенства должна быть уменьшена в два раза. Величина n является постоянной, так как характеризует количество грузовых фронтов ($\bar{t}_{\text{пу}}^p = \bar{t}_{\text{пу}} / M$, где M – количество маневровых локомотивов).

Величина $\bar{t}_{\text{пу}}^p$ является расчётной, но не физической величиной.

7 При постоянном значении интенсивности вагонопотока $\lambda_{\text{в}}$ и уменьшении интервалов между подачами за счёт увеличения количества маневровых локомотивов расчётное число вагонов в подаче-уборке также уменьшится. В частности, относительная расчётная загрузка маневровых локомотивов будет определяться по формуле

$$\rho_M = \bar{t}_{\text{пу}} / (MT). \quad (6)$$

8 Вышеприведенные рассуждения подтверждены расчётами после вывода формулы для различных условий. Так, величина T является переменной и при постоянном коэффициенте ρ_M должна уменьшаться. Количество вагонов в группе $\bar{m}_{\text{гр}} = \lambda_{\text{в}} T$ будет также уменьшаться с увеличением числа маневровых локомотивов.

Таким образом, в уравнении целевой функции для расчёта случайной составляющей перед расходной или доходной ставкой маневрового локомотива не следует вводить число маневровых локомотивов. Данное положение объясняется тем, что фактическая маневровая работа будет одинаковой при одном и двух маневровых локомотивах. В результате, например, при двух

маневровых локомотивах объём данной маневровой работы будет выполнен за более короткое время по сравнению с одним локомотивом. Это обстоятельство учтено при расчете ρ_m , которое уменьшится в 2 раза при работе двух маневровых локомотивов.

В процессе доставки порожних вагонов операторов подвижного состава и других собственников они не только могут следовать в одном направлении совместно с перевозочными средствами в гружёном состоянии, но и быть различной принадлежности. Как известно, вагонопоток может находиться в состоянии движения или покоя, в том числе под накоплением на состав поезда и на конкретную нитку графика или подачу-уборку вагонов.

Процесс накопления вагонов является случайной величиной, где в качестве требования выступает средняя величина группы, которая зависит от схемы путевого развития общего и необщего пользования и распределяемых вагонопотоков по грузовым фронтам погрузки-выгрузки. Рассмотрим основные позиции согласно рисунку 1.

1 Вагоны передаются с помощью собственных маневровых локомотивов со станции примыкания на станцию Заводскую, а затем подаются к каждому из n грузовых фронтов. В рассматриваемой схеме станции Заводской отсутствуют маневровые районы и соответствующее им путевое развитие.

2 При отсутствии выставочных путей на грузовых фронтах максимальное количество вагонов в подаче-уборке будет равно грузовому фронту z_i , если отсутствует более длинный путь ($l_{nyi}^{фр}$) на грузовом фронте ($z_i = l_{nyi}^{фр}$).

В противоположной ситуации ($l_{nyi}^{фр} > z_i$) максимальное количество вагонов в подаче-уборке будет соответствовать длине пути $l_{nyi}^{фр} > z_i$. Однако в рассматриваемой ситуации для подтягивания вагонов вдоль грузового фронта должна быть маневровая лебёдка или другое маневровое средство. В условиях подачи к грузовым фронтам вагонов грузоотправителя с путей их временного размещения, где имеется запас рассматриваемого подвижного состава, i -й грузовой фронт будет работать в режиме $m_{nyi}^{max} = z_i^{max}$ или $m_{nyi}^{max} = f(l_{nyi})$. При этом эффективно (рационально) будут использоваться грузовой фронт и маневровый локомотив. Кроме того, будет также возможность реализации загрузки вагонов по «прямому» варианту «производство – вагон» с интенсивностью, например, $\lambda_{пр}$, т/ч.

3 В случае отсутствия запаса вагонов грузоотправителя в пределах станции примыкания и пути необщего пользования не будет обеспечиваться эффективное использование грузовых фронтов и маневровых локомотивов. Потоки и процессы будут в большей степени случайными. При этом

$$z_i < z_{max} \text{ и } m_{nyi} < f(l_{nyi}) = z_i.$$

В данной ситуации рассматривается функционирование путей необщего пользования в условиях наличия запаса вагонов грузоотправителей. В такой ситуации $m_{\text{пyi}}^{\text{max}} = z_i^{\text{max}}$ или $m_{\text{пyi}}^{\text{max}} = f_{\text{max}}(l_{\text{пyi}})$. Теоретически вагоны должны подаваться в количестве, равном грузовому фронту z_i^{max} или $f_{\text{max}}(l_{\text{пyi}})$. В условиях наличия достаточного количества вагонов грузоотправителя такой подвижной состав будет загружаться по «прямому» варианту с интенсивностью $\lambda_{\text{пр}}$. При этом простой рассматриваемых вагонов в целевой функции с использованием стоимости вагоно-часа $c_{\text{вч}}^{\text{с}}$ не должен учитываться, т. к. такие вагоны будут простаивать на путях их временного размещения по ряду причин, в том числе и из-за отсутствия эффективной системы регулирования порожних частных вагонов из-под выгрузки под погрузку. В конечном итоге коэффициент использования маневрового локомотива по времени, включая наличие дополнительных маневровых средств на фронте, будет определяться из условия взаимодействия

$$T_{\text{лч}}^{\text{фр}} \leq T_{\text{фч}}^{\text{ф}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{лч}}^{\text{фр}}$ – интервал между подачами-уборками на грузовые фронты маневрового района станции Заводской и др.; $T_{\text{фч}}^{\text{ф}}$ – средневзвешенный интервал, рассчитанный на основании целевой функции, базирующийся на случайном спросе на вагоны в соответствии с заявками на потребность в вагонах в соответствии со спросом на перевозимую продукцию, учитывает взаимосвязь (взаимодействие) транспортного рынка с товарным [1].

Следовательно, предлагаемый вариант расчёта параметров основывается на комплексном подходе, базирующемся на сопряжённости технологических, технических, экономических и нормативно-правовых элементов в системах путей общего и необщего пользования промышленных предприятий и иных субъектов в производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах, расположенных на территории одного или нескольких государств. При этом в рассматриваемой методологии будут учитываться риски, обусловленные наличием случайной составляющей в вышеуказанных комплексах и во внешней среде. При наличии достаточного запаса вагонов компаний-операторов, собственных предприятий и организаций, арендованных и иных лиц, если запас вагонов соответствует структуре их спроса в части обеспечения сохранности грузов и обеспечения безопасности при выполнении погрузочно-разгрузочных работ, во время перевозочного процесса и выполнения других операций, методика расчёта параметров будет базироваться на детерминированной модели.

В частности, при подаче-уборке вагонов грузоотправителя из запаса на пути временного размещения со станции Заводской, когда их структура со-

ответствует номенклатуре перевозимых грузов с рассматриваемых путей необщего пользования на первый грузовой фронт в соответствии с [1, с. 35 (рисунок 1.12)] коэффициент загрузки маневрового локомотива будет определяться из соотношения

$$\rho_1 = t_{\text{пу1}} / T_1, \quad (8)$$

где $t_{\text{пу1}}$ – продолжительность подачи-уборки вагонов на первый грузовой фронт, ч/подачу-уборку; T_1 – интервал между циклами подач-уборок вагонов с путей их временного размещения, расположенных на станции Заводской, на первый грузовой фронт, ч/между подачами.

В соответствии с [1, с. 35 (рисунок 1.12)] приватные вагоны подаются с путей отстоя станции Заводской на каждый грузовой фронт отдельной подачей-уборкой продолжительностью $t_{\text{пуi}}$. В идеальных условиях при наличии таких вагонов в запасе с учётом их количества и структуры в соответствии с номенклатурой отправляемых грузов в каждой подаче-уборке на отдельный грузовой фронт будет подаваться $m_{\text{пуi}}^{\text{max}} = z_i^{\text{max}}$ или $m_{\text{пуi}}^{\text{max}} = f(l_{\text{пуi}})$ вагонов. Для различных расстояний подачи-уборки на соответствующие фронты погрузки и продолжительности $t_{\text{пуi}}$ будут неодинаковыми.

Выполнять маневровые операции может один или несколько маневровых локомотивов. Это зависит от количества грузовых фронтов n и расстояний подачи-уборки вагонов $l_{\text{пуi}}$. Для группы рассматриваемых грузовых фронтов погрузки-выгрузки в условиях детерминированных потоков подач-уборок вагонов можно рассчитать коэффициент загрузки маневрового локомотива по формуле

$$\rho_T = \sum_{i=1}^n t_{\text{пуi}} / T, \quad (9)$$

где T – продолжительность цикла обслуживания конкретной подачей-уборкой всех грузовых фронтов погрузки, ч/цикл (рисунок 2).

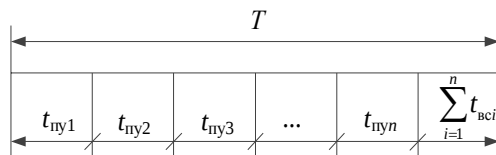


Рисунок 2 – Графическое изображение продолжительности конкретного цикла T обслуживания грузовых фронтов

На рисунке 2 величины $t_{\text{пуi}}$ равны продолжительностям подачи-уборки вагонов на отдельные грузовые фронты погрузки. В соответствии с рисунком 2 формулу (9) можно записать в виде

$$\rho_T = \sum_{i=1}^n t_{nyi} / (\sum_{i=1}^n t_{nyi} + \sum_{i=1}^n t_{vci}), \quad (10)$$

где t_{vci} – продолжительность вспомогательных и дополнительных операций (простой локомотива из-за враждебности маршрутов подачи-уборки, возникающих дополнительных простоев у грузовых фронтов погрузки из-за несогласованных действий, необходимых технологических перерывов и др.).

Анализ формулы (10) показывает, что коэффициент загрузки маневровых локомотивов или локомотива будет в любом случае меньше единицы ($\rho_T < 1$). Если $\rho_T > 1$, то должны дополнительно вводиться маневровые средства (локомотив и др.).

Сравнение соотношений (9) и (10) показывает, что сумма знаменателей

$$T = \sum_{i=1}^n t_{nyi} + \sum_{i=1}^n t_{vci}. \quad (11)$$

Кроме того, коэффициент использования маневровых локомотивов во времени всегда будет меньше единицы, так как знаменатель больше числителя. При известном коэффициенте ρ_T можно определить продолжительность цикла обслуживания T всех грузовых фронтов погрузки в соответствии с рисунком 2. При традиционном подходе к расчёту коэффициента загрузки маневровых локомотивов по времени продолжительность цикла T принимается равной суткам за вычетом продолжительности вспомогательных и дополнительных операций:

$$T = 24 - \sum_{i=1}^n t_{vci}. \quad (12)$$

Исследования [1, 2] показывают, что продолжительность цикла обслуживания грузовых фронтов погрузки и выгрузки T содержит случайную составляющую. Это объясняется следующими причинами:

1) спрос на вагоны и другие транспортные средства непостоянный, что обусловлено, в первую очередь, наличием случайной составляющей в спросе на перевозимую продукцию на товарный рынок;

2) продолжительность вспомогательных и дополнительных операций также изменяется во времени из-за появления всевозможных отклонений: простоями из-за враждебности маршрутов в процессе маневровых передвижений, человеческого фактора, неравномерности потоков во времени и др.;

3) количество вагонов в подаче-уборке на фронты погрузки-выгрузки не является постоянной величиной, за исключением подаваемых вагонов грузоотправителя со специальных путей их временного размещения и ряда других причин.

Теоретически «случайная величина T распределена по закону Эрланга n -го порядка, представляет собой интервал времени содержащий n интервалов T_i между событиями в этом потоке» [3, с. 368].

В практической деятельности в ряде случаев используют нормированный закон Эрланга n -го порядка, по которому распределена случайная величина T [3, с. 369]:

$$\bar{T} = T / n. \quad (13)$$

Применительно к рассматриваемой задаче величина $\bar{T}$ определяет среднее значение T_i по формуле

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n T_i / n, \quad (14)$$

где $T = \sum_{i=1}^n T_i$, ч/требование.

Следовательно, закону Эрланга n -го порядка подчинена сумма независимых случайных величин $T_1 + T_2 + \dots + T_n$, каждая из которых распределена по показательному закону с параметром λ . Закон Эрланга n -го порядка тесно связан со стационарным пуассоновским (простейшим) потоком с интенсивностью λ . При этом случайная величина T будет подчиняться закону Эрланга n -го порядка [3, с. 175].

Доказано, что случайная величина $\bar{T} = 1/\lambda$, а её среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\bar{T}} = 1/(\lambda\sqrt{n})$ [3, с. 175]. Анализ данных соотношений показывает, что с увеличением n случайная величина $\bar{T}$ не меняется. В то же время среднее квадратическое отклонение рассматриваемой величины $\bar{T}$ неограниченно уменьшается. В результате коэффициент вариации стремится к нулю.

Следовательно, случайная величина $\bar{T}$ подчиняется нормированному закону Эрланга n -го порядка, а величина T – закону Эрланга. При этом математическое ожидание для закона Эрланга n -го порядка равно $m_T = n/\lambda$, а среднее квадратическое отклонение $\sigma_T = \sqrt{n}/\lambda$. В таблице 1 сведены рассмотренные числовые характеристики.

Таблица 1 – Числовые характеристики закона n -го порядка Эрланга и нормированного закона Эрланга

Закон Эрланга	$m_T = n/\lambda$	$\sigma_T = \sqrt{n}/\lambda$	$\gamma_T = 1/\sqrt{n}$
Нормированный закон Эрланга	$m_{\bar{T}} = 1/\lambda$	$\sigma_{\bar{T}} = 1/(\lambda\sqrt{n})$	$\gamma_{\bar{T}} = 1/\sqrt{n}$

Анализ таблицы 1 позволяет сделать следующие выводы:

1) коэффициенты вариации для закона распределения n -го порядка Эрланга и нормированного закона Эрланга совпадают и с увеличением n имеют одинаковую функциональную зависимость $\gamma_T = \gamma_{\bar{T}} = 1/\sqrt{n}$. В частности,

для «БМЗ – управляющая компания ”БМК”» интервалы между передачами вагонов со станции примыкания на путь необщего пользования подчиняются закону Эрланга 4-го и 5-го порядков. При этом коэффициент вариации между передачами вагонов лежит в пределах 0,45–0,52;

2) при $n = 1$ закон распределения n -го порядка Эрланга и нормированный закон Эрланга превращаются в показательный закон, где

$$m_T = m_{\bar{T}} = 1/\lambda, \quad \sigma_T = \sigma_{\bar{T}} = \sqrt{n}/\lambda, \quad \gamma_T = \gamma_{\bar{T}} = 1/\sqrt{n};$$

3) среднее квадратическое отклонение величины $\bar{T}$ с увеличением n уменьшается, что подтверждает целесообразность обслуживания, например, маневровым локомотивом большого количества грузовых фронтов, так как при этом будет уменьшаться простой обслуживающего устройства (случайная составляющая или рисковая надбавка) за счёт уменьшения среднего квадратического отклонения $\sigma_{\bar{T}}$. Наличие данной закономерности позволяет обосновать оптимальный уровень концентрации обслуживания маневровыми локомотивами фронтов погрузки-выгрузки, мест временного размещения вагонов компаний-операторов, собственных предприятий и организаций, арендованных и иных субъектов в пределах железнодорожных путей как необщего, так и общего пользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Еловой, И. А. Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : [монография] / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

2 Организация процессов грузовой работы / А. А. Смехов [и др.]. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.

3 Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М. : Наука, 1988. – 480 с.

I. A. ELOVOY, E. N. POTYLKIN, M. M. KOLOS

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR EVALUATING THE PROCESS OF FEEDING AND CLEANING WAGONS TO FREIGHT FRONTS

The theoretical foundations of calculating the parameters and evaluating the process of feeding and cleaning wagons to freight fronts are presented, which are based on the presence of a random component in the interaction of public and non-public railway transport.

Получено 17.08.2024

УДК 656.21.001.2:004

С. С. КОЖЕДУБ, И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
kozhesdub@gmail.com

СОЗДАНИЕ ПЛАНА УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Представлен подход к созданию плана участка железнодорожного пути с использованием результатов аэрофотосъемки методами САПР. Данный подход является важным инструментом для разработки и оптимизации инфраструктуры железнодорожных путей. Описываются процесс разработки плана железнодорожного пути, его функциональные возможности и преимущества. Рассматриваются применяемые методы и технологии, а также результаты экспериментов и практической реализации.

Современные тенденции цифровой трансформации инфраструктурных проектов требуют внедрения передовых технологий для повышения эффективности и точности выполнения инженерных задач. В железнодорожной отрасли использование автоматизированных систем проектирования (САПР) в сочетании с данными аэрофотосъемки становится важным инструментом для разработки плана. Этот подход позволяет не только сократить временные и финансовые издержки, но и значительно повысить качество проектных решений. В статье представлен процесс разработки плана участка железнодорожного пути, включающий описание методов обработки данных, функциональных возможностей применяемых программ и результатов их применения на практике.

Одним из способов повышения производительности труда при выполнении проектно-изыскательских работ на объектах железнодорожной инфраструктуры является применение инновационных цифровых технологий. Наиболее результативным методом при проведении изысканий и на стадии разработки предпроектной и проектной документации является применение аэрофотосъемки. По полученным точкам создаётся топографический план с распознаванием основных элементов железнодорожного пути, определяются качественные и количественные характеристики объекта проектирования (конфигурация рельефа, плотность застройки, количество опор линий электропередач и контактной сети и др.). Аэрофотосъемка обеспечивает высокую детализацию элементов на местности, что позволяет облегчить распознавание объектов в камеральных условиях и создать цифровую модель местности.

Обработка данных полевых измерений и их уравнивание в проведенном исследовании выполнялись с использованием программной среды Agisoft Metashape Professional, которая обладает широкими возможностями для создания высокоточных геопривязанных моделей.

Преимущества данной программной среды.

1 Создание плотных облаков точек. На основе перекрывающихся цифровых снимков и данных о географических координатах формируются облака точек, которые обеспечивают высокую детализацию и точность.

2 Разработка текстурированных и полигональных моделей. Программа позволяет генерировать полигональные модели с текстурой, что максимально приближает их к реальному виду объектов.

3 Создание цифровых моделей поверхности и контуров (ЦМП/ЦМК). На основе плотных облаков точек формируются цифровые модели местности, которые используются для анализа рельефа и подготовки данных для проектирования.

4 Построение ортофотопланов. Программное обеспечение позволяет создавать высокоточные ортофотопланы, которые используются в геодезии, картографии и проектировании.

Agisoft Metashape Professional автоматически обрабатывает данные полевых измерений, включая уравнивание элементов, что значительно упрощает процесс создания геопривязанных моделей и обеспечивает их высокую точность. Для автоматизации обработки данных фотограмметрической съемки и их последующего использования была применена САПР «Топоматик Robur», которая предоставляет широкий набор инструментов для работы с облаками точек. Программное обеспечение «Топоматик Robur» обладает следующими ключевыми возможностями.

1 Импорт данных облака точек. Программа поддерживает загрузку данных с приборов в формате облаков точек (*.las), что обеспечивает удобную интеграцию данных съемки в рабочую среду.

2 Работа с облаком точек в 3D. САПР позволяет просматривать, настраивать отображение и проводить анализ облаков точек с использованием 3D-вида. Это включает возможность детального анализа геометрии и структуры полученных данных.

3 Построение поверхностей. На основе данных фотограмметрической съемки в программе реализовано автоматическое построение цифровых моделей рельефа или других контуров, что значительно ускоряет процесс проектирования и подготовки данных для последующего использования.

Эти функции позволяют рассматривать Топоматик Robur в качестве удобного инструмента для обработки и анализа данных фотограмметрии, обеспечивая высокую точность и эффективность выполнения геодезических и инженерных задач.

На рисунке 1 представлен пример загруженного облака точек в окнах плана и 3D-вида. Данная визуализация позволяет быстро оценить качество и структуру данных, а также приступить к дальнейшей обработке.

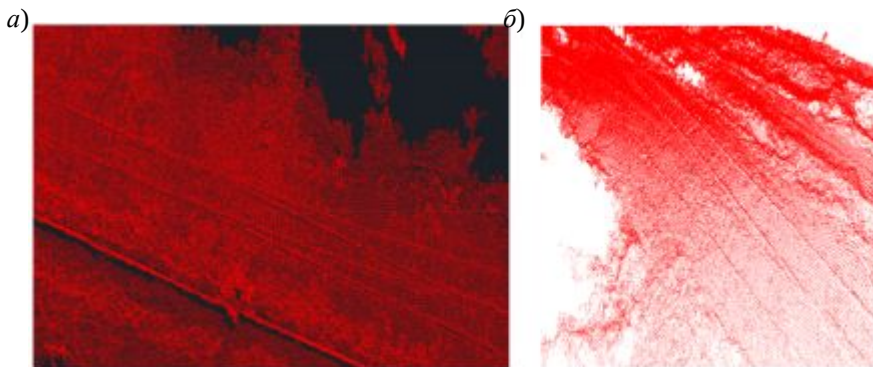


Рисунок 1 – Облако точек, созданное на основе данных аэрофотосъемки:
а – вид сверху; *б* – 3D-визуализация

В функционале для работы с облаком точек аэрофотосъемки можно выделить следующие возможности.

1 Копирование точек в цифровую модель местности. Это позволяет преобразовывать данные облака точек в упрощенный и структурированный формат, который используется в инженерных и геодезических задачах. Такая модель может быть полезна для анализа рельефа, проектирования объектов или проведения геодезических расчетов.

2 Создание сечений. Возможность создавать сечения облака точек позволяет получить профиль местности или объекта, представленного в данных. Это важно для анализа форм рельефа, инженерных расчетов, а также для подготовки данных к проектированию.

3 Вывод сечений на чертеж. Генерация чертежей с использованием сечения упрощает процесс документации и передачи данных для последующего использования в проектных и строительных работах.

4 Просмотр выделенного участка съемки. Эта функция удобна для детального изучения отдельных участков облака точек. Она позволяет сосредоточиться на ключевых областях, которые требуют анализа или доработки.

Перед началом построения ЦММ устанавливается подложка, которая может производиться по двум способам: вставки растрового изображения и пакетной вставки растрового изображения (рисунок 2).

После вставки растровой подложки создается ЦММ. При построении поверхности образуются лишние треугольники, не всегда достоверно описывающие рельеф местности, расположение которых при дальнейшем редактировании ЦММ будет корректироваться (рисунок 3).

Построение плана участка железнодорожного пути производится в программном комплексе «Топоматик» (рисунок 4).

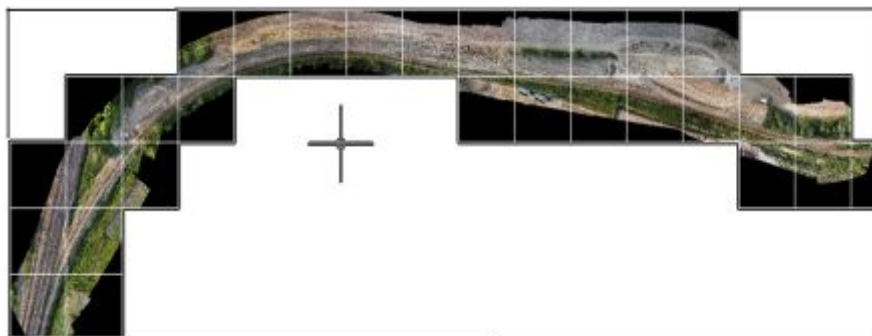


Рисунок 2 – Пакетная вставка растрового изображения

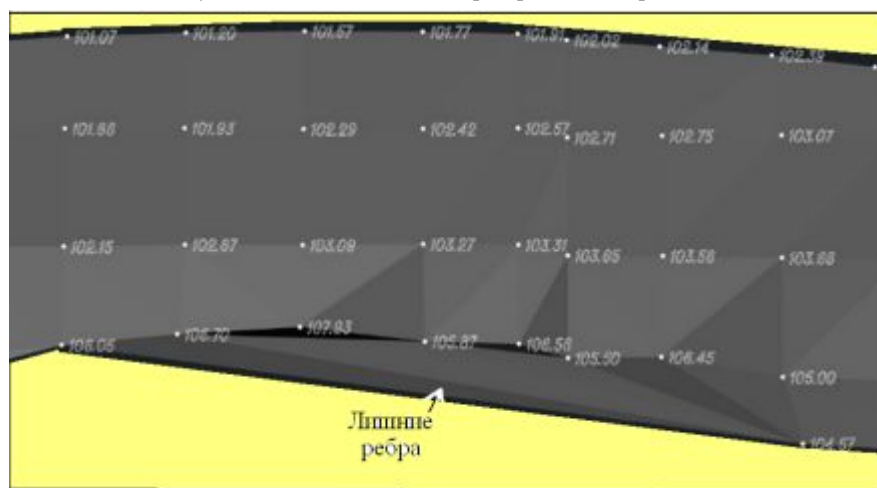


Рисунок 3 – Пример лишних ребер, образованных при построении триангуляционной поверхности

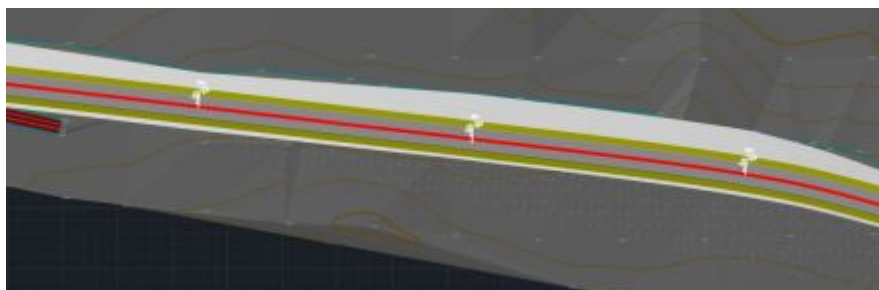


Рисунок 4 – Отображение проектного решения

Процесс построения плана железнодорожного участка или пути включает несколько этапов:

- привязка трассы к существующему пути при использовании ключевых точек, таких как шпалы или рельсы;
- указание параметров кривых, уклонов и проектных характеристик железнодорожного пути;
- нанесение дополнительных объектов (например, опоры, насыпи или искусственные сооружения).

Представленный подход разработки плана участка железнодорожного пути демонстрирует высокую эффективность в обработке данных аэрофото-съемки и создании цифровых моделей местности. Это подтверждает высокий потенциал применения инновационных технологий в проектной деятельности железнодорожной отрасли. Внедрение подобных систем не только позволяет автоматизировать рутинные операции, но и открывает новые возможности для интеграции с такими цифровыми платформами, как системы управления инфраструктурой. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию алгоритмов обработки данных и развитие функционала, что обеспечит высокую производительность и точность проектных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Техника и технология автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов (практика применения и перспективы) : учеб. пособие / Н. В. Правдин [и др.]. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2014. – 400 с.

2 *Кожедуб, С. С.* Формирование параметрической основы генерации цифрового масштабного плана железнодорожной станции / С. С. Кожедуб // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 4. – С. 148–154.

S. S. KOZHEDUB, I. P. DRALOVA

CREATING A TRACK SECTION PLAN USING AERIAL PHOTOGRAPHY

An approach to creating a track section plan using aerial photography using CAD methods is presented. This approach is an important tool for developing and optimizing the infrastructure of railroad tracks. The process of developing a track plan, its functionality and advantages is described. The methods and technologies used, as well as the results of experiments and practical implementation, are also considered.

Получено 14.10.2024

УДК 656.21:004.94

И. В. КОРОТКЕВИЧ

АО «Объединенная химическая компания „Уралхим”», г. Москва, Российская Федерация

ivan.korotkevich@uralchem.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВЫСОКОЙ ДЕТАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ОНЛАЙН-ТЕЛЕМЕТРИИ ЛОКОМОТИВОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ СТАНЦИИ

Представлен скрин-анализ работы компьютерной среды онлайн-телеметрии маневровых локомотивов на железнодорожной станции. В условиях их высокой мобильности и сложности маршрутов передвижения предлагается разработанный программно-технический комплекс, использующий постоянное детектирование напольными устройствами положения маневровых локомотивов с фиксацией их координат на цифровом масштабном плане. Все полученные данные визуализируются на экране с расчетом текущих параметров и прогнозированием состояния маневровых локомотивов и инфраструктуры путевого развития по загрузке.

В настоящее время на железнодорожном транспорте промышленных предприятий регистрируются случаи нарушения безопасности движения и охраны труда, приводящие к тяжелым последствиям, среди которых можно выделить следующие основные причины:

- нарушение скоростного режима (движение с превышением скорости в местах ограничений скорости);
- неправильное восприятие машинистом команд, передаваемых по регистрируемой технологической радиосвязи.

Как правило, промышленная железнодорожная станция представляет собой крупный и сложный объект, имеющий большое количество путей, стрелок и негабаритных мест с ограничением скорости движения локомотивов и подач. Существующая практика выдачи машинисту документа со всеми действующими ограничениями, безусловно, повышает его внимательность, но не исключает случаи нарушений. При этом следует учитывать, что в отличие от движения по перегону маневровые передвижения практически не прозрачны, поэтому реальная картина движения локомотивов недоступна для анализа.

Данная непрозрачность исключается с использованием цифрового двойника высокой детализации и системы высокоточного позиционирования с онлайн-телеметрией локомотивов. Для реализации системы контроля скоростного режима требуется создание электронного журнала ограничений скорости, средств редактирования на цифровом двойнике, системы онлайн-слежения и отображения и т. д. Задача ликвидации некорректного восприя-

тия команд машинистами требует интеграции в маневровый технологический процесс бортового интерфейса, включения в цифровой контур задач и подзадач маневровой работы, переход с неформализуемых голосовых заданий, передаваемых по технологической радиосвязи, на полностью формализованные цифровые задания и приказы, передаваемые с подтверждением получения и выполнения.

Также следует отметить, что при движении вагонами вперед контроль превышения скорости необходимо осуществлять от самого первого вагона. Вариант в виде оснащения всех путей станции микропроцессорной централизацией с системой счета осей в объеме 100% путей и стрелок не рассматривается ввиду его экономической нецелесообразности. Средняя стоимость централизации одной стрелки превышает 6 млн руб. (в ценах 2024 года).

Программно-технический комплекс онлайн-телеметрии маневровых локомотивов при выполнении работ на станции обеспечивает следующие процедурные операции.

1 Дополнение нового объекта с ограничением скорости на группу путей (рисунок 1).

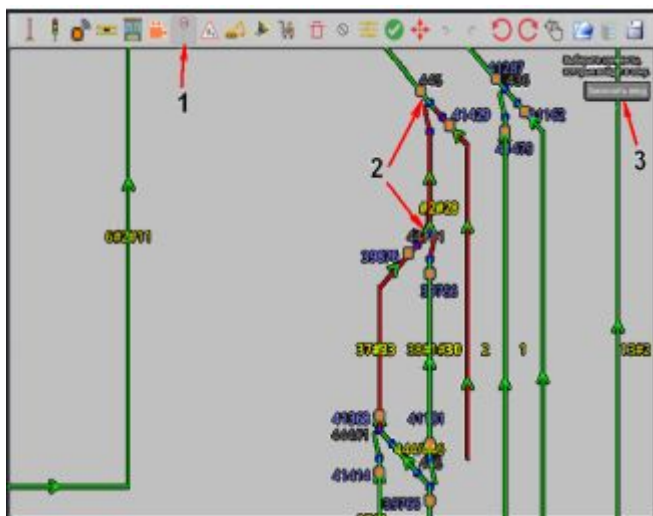


Рисунок 1 – Включение нового объекта на схему

Для этого активируется инструмент установки объекта (операция 1), затем выбирается путь или несколько связанных путей (операция 2), на которых требуется установить знаки ограничения скорости, после чего нужно нажать кнопку «Закончить ввод» (операция 3) или кнопку с зеленой галочкой на панели инструментов. После выполнения указанных действий открывается окно свойств нового объекта (рисунок 2).

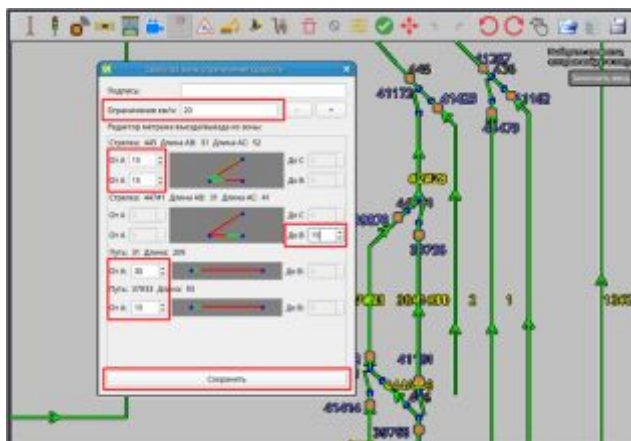


Рисунок 2 – Окно свойств зоны ограничения скорости

В данном окне представлены все свойства, которые имеет созданный объект. Можно подкачать объект, задать ограничение скорости и указать, на каком удалении от въезда и выезда из зоны начинается зона действия объекта (отступ от краев зоны). Для отмены добавления объекта следует воспользоваться инструментом отмены действия или закрыть окно свойств кнопкой в его правом верхнем углу.

После указания всех параметров следует нажать кнопку «Сохранить» в нижней части окна. Затем нажать кнопку «Сохранить представление в БД» на панели инструментов для записи внесенных изменений в удаленную базу данных (рисунок 3).

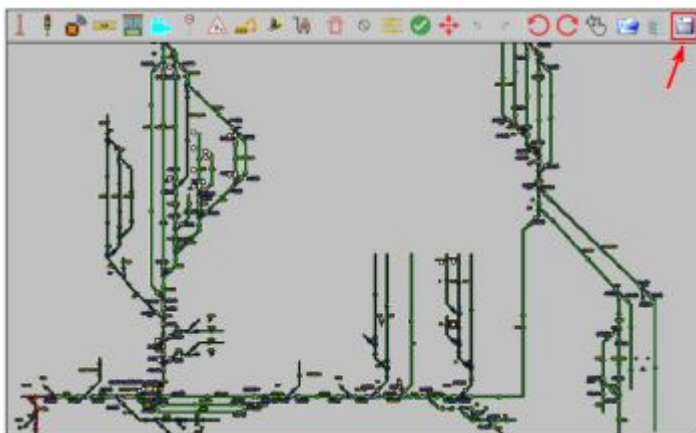


Рисунок 3 – Кнопка сохранения представления в БД

2 Редактирование ограничения скорости. Для изменения свойств ранее созданного объекта достаточно выбрать его на схеме путем нажатия ЛКМ по его изображению (операция 1), а затем нажать кнопку «Свойство элемента» на панели инструментов (операция 2) (рисунок 4).

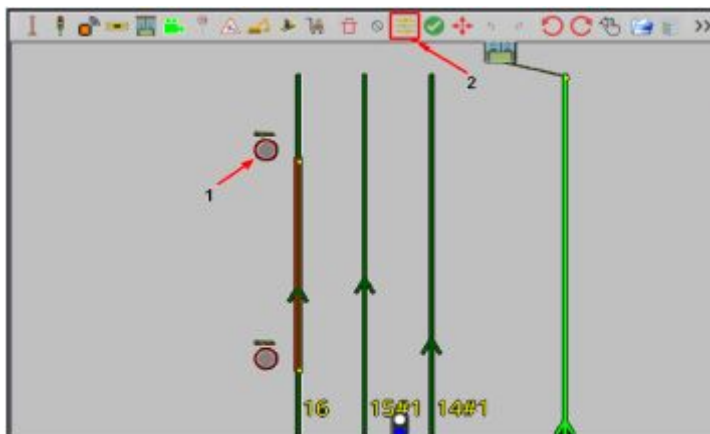


Рисунок 4 – Последовательность операций для открытия свойств ранее созданного объекта

В результате откроется окно свойств объекта, аналогичное тому, которое заполнялось при его создании (рисунок 5). После внесения изменений необходимо снова сохранить свойства объекта и сохранить представление в БД, как это производилось в предыдущем пункте.

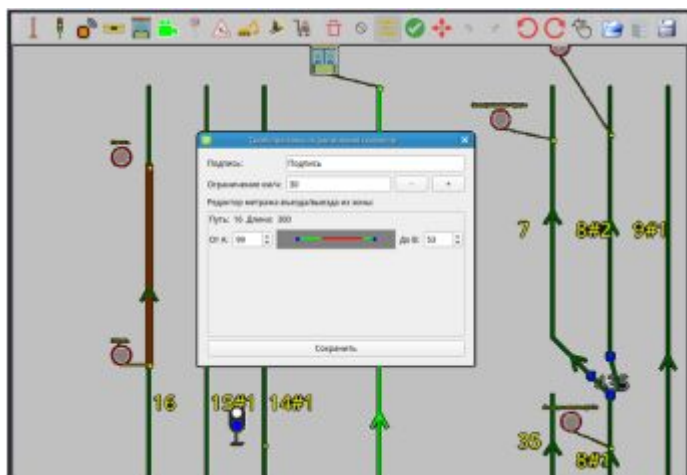


Рисунок 5 – Окно свойств ранее созданного объекта

3 Удаление ограничения скорости. Для удаления ранее созданного объекта достаточно выбрать его на схеме путем нажатия ЛКМ по его изображению (операция 1), а затем нажать кнопку «Удалить элемент» на панели инструментов (операция 2) (рисунок 6).

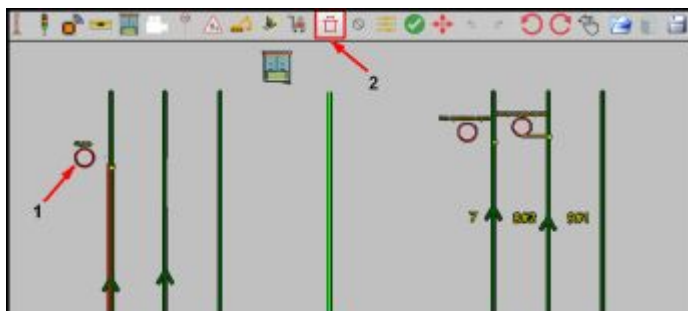


Рисунок 6 – Операции удаления объекта

После внесения изменений необходимо снова сохранить представление в базе данных (рисунок 7).

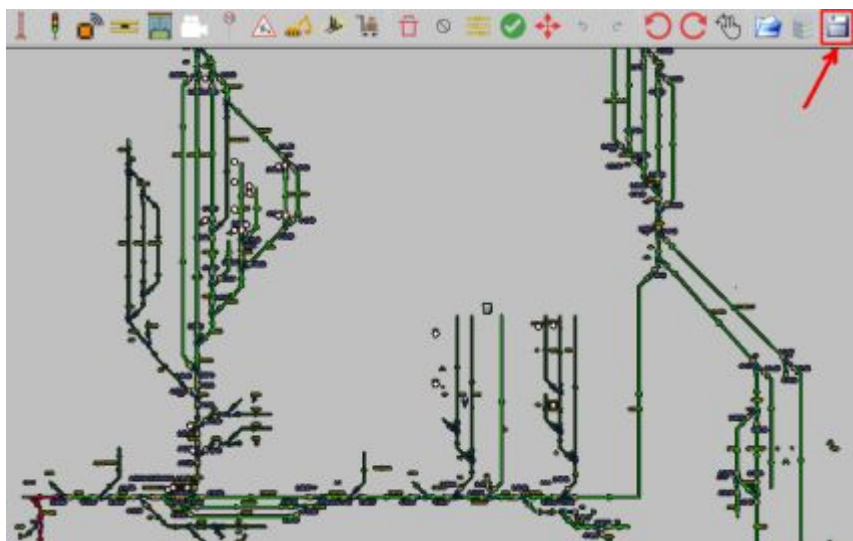


Рисунок 7 – Сохранение представления в БД

Создание, редактирование и удаление остальных объектов производится аналогичным образом. После ввода всех необходимых ограничений скорости можно осуществить проверку на корректность и пропуски ручного ввода. Для этого воспользуемся функцией DRC (рисунок 8).

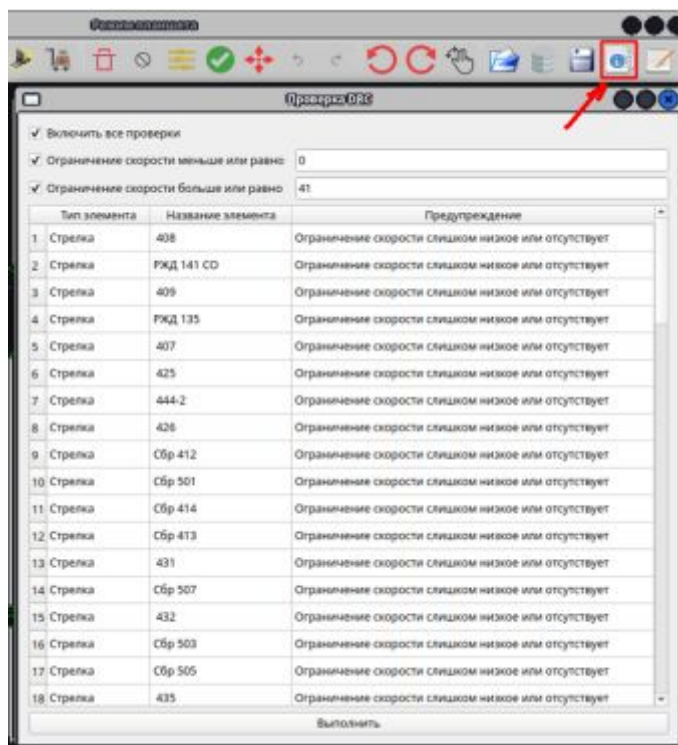


Рисунок 8 – Окно проверки введенных ограничений

Данная функция позволяет найти ограничения скорости со значением меньше и больше заданного. Например, при выборе в качестве нижней границы значения 0 км/ч можно увидеть все элементы, на которых ограничение скорости не было введено, то есть элемент был пропущен. Соответственно, при изменении верхней границы значения скорости можно найти пути, на которых скорость задана чрезмерно большой. После ввода желаемых границ скорости необходимо нажать на кнопку «Выполнить» в нижней части окна.

Для более удобной работы с введенными на схеме скоростными ограничениями можно воспользоваться «Журналом скоростных ограничений» (рисунок 9).

Данная функция позволяет отобразить зоны ограничения скорости в виде общей таблицы. Таблица имеет две вкладки – две разделенные таблицы для временные и паспортных ограничений отдельно. Можно осуществить фильтрацию по территории, схеме и времени действия ограничения. При необходимости также можно выполнить поиск по наименованию.

Справочник скорости ограничений

Территория: Пермь Смена: Пермь 7.7d(22.10.2024 17:11 - 22.10.2025 17:11)

Скоростные ограничения действуют от: 14.11.2024 14:30 Действуют до: 21.11.2024 14:30 Применить ☒ Уточнить время

Поиск по наименованию: Добавить Удалить

Временные скоростные ограничения Паспортные скоростные ограничения

	Наименование	Элемент начала	От (м)	Элемент конца	До (м)	Ограничение	Действует от	Действует до	Обновил	Обновлено
1		П. 6	50	П. 6	63	20	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
2	Весы	П. 24	80	П. 24	109	8	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
3	Тест	П. 24	5	П. 24	45	5	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
4	Весы	П. 3	70	П. 3	103	6	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
5		П. ПУ/1	0	П. ПУ/1	634	15	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
6		П. 6	63	П. 6/3	12	20	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
7	SpreadingTest	П. СБр41/5	100	П. СБр41/2	2	20	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00
8	МПК	П. 13	130	П. 13	480	3	03.11.2024 17:00	10.11.2024 17:00	Администратор	03.11.2024 17:00

Рисунок 9 – Окно журнала скоростных ограничений

После выбора интересующих фильтров необходимо нажать кнопку «Применить» для вывода измененной таблицы. Никаких изменений в данные при этом внесено не будет.

Также в окне журнала доступны кнопки «Добавить» и «Удалить», позволяющие изменять существующие скоростные ограничения и добавлять новые. Этот функционал дублирует возможности внесения изменений непосредственно на схеме, но может быть более удобным в некоторых ситуациях.

4 Запуск режима аналитики. Перейти в режим аналитики можно только через режим редактора. Таким образом, для запуска режима аналитики необходимо открыть режим редактора, перейти в режим аналитики путем выбора пункта меню «Вид» → «Открыть окно аналитики» (F4) или при помощи соответствующей кнопки на панели инструментов (рисунок 10).

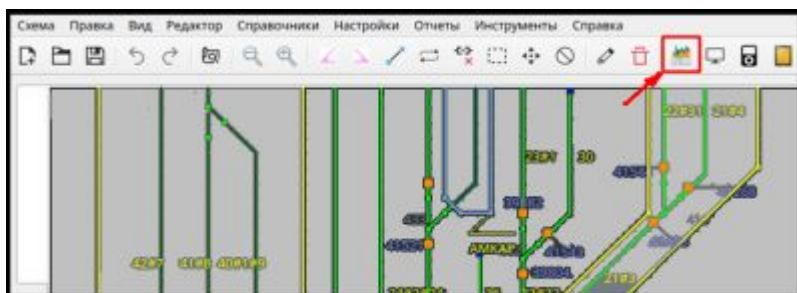


Рисунок 10 – Кнопка режима аналитики на панели инструментов

В результате откроется окно режима аналитики (рисунок 11).

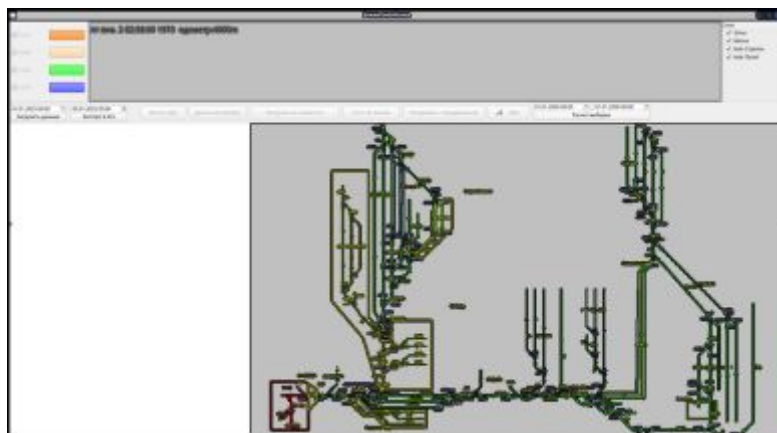


Рисунок 11 – Основное окно режима аналитики

Интерфейс основного окна режима аналитики разделен на четыре области, отмеченные на рисунке 12.

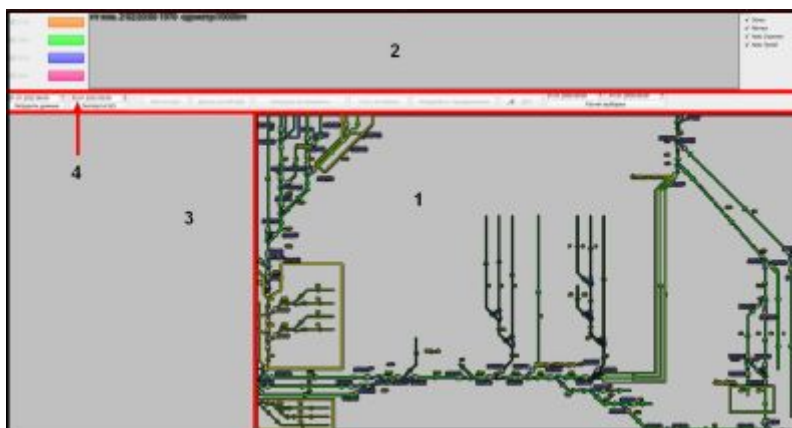


Рисунок 12 – Основные области окна в режиме аналитики

Интерфейсная программная панель в режиме аналитики разделяется на следующие области.

1 – область отображения схемы путей, которая служит для визуальной оценки результатов отчета. В зависимости от выбранного режима в данной области подсвечивается расположение выбранных элементов или отображается цветовая карта активности локомотивов. Для изменения масштаба схемы необходимо использовать колесо мыши, а для ее перемещения – левую клавишу мыши.

2 – временная шкала, представляющая собой координатную плоскость, по горизонтальной оси которой располагается шкала времени, а по вертикальной – величина пробега локомотивов. Вся область поделена на смены с помощью вертикальных областей светлого и темного цвета – дневная и ночная смена соответственно. Данная шкала позволяет визуально оценить пробег отдельно взятого локомотива в течение смены, а также выбрать более точный промежуток времени для анализа. Кроме того, в левом верхнем углу данной области располагается строка вывода даты и показания одометра в метрах. Данная строка позволяет оценить точное время и пробег локомотива (от начала смены) в интересующей точке при наведении курсора мыши на соответствующую позицию временной шкалы.

3 – основная область работы с результатами статистики. Представляет собой различные таблицы, которые формируются в зависимости от выбранного вида отчета. В данной области присутствует возможность выбирать сортировку таблицы по нажатию на ее заголовок, а также выделять конкретные строки таблицы для перехода к соответствующим элементам на схеме в области 1.

4 – панель выбора временного промежутка и режимов анализа, является главным инструментом управления режима аналитики и применяется для задания начальных параметров формирования отчетов. Структура данной панели далее будет рассмотрена более подробно.

Для первоначальной загрузки данных используется следующая секция панели управления, содержащая поля ввода временного диапазона и кнопку «Загрузить данные» (рисунок 13). Тут же находится кнопка «Экспорт в XLS», позволяющая сохранить загруженные для анализа события в формат Excel-файла.



Рисунок 13 – Первая секция панели управления

Далее располагается ряд кнопок, осуществляющих переключение вида отчетов (рисунок 14).



Рисунок 14 – Вторая секция панели управления

При переключении данных режимов меняется параметр, в разрезе которого осуществляется построение таблиц и отображение схемы:

- метки (ЦК) – статистика по срабатываниям меток (цветовая карта);
- длины путей (ЦК) – статистика по определению длин путей;
- нагрузка на элементы, характеризующая статистику по количеству проездов конкретным локомотивом по различным элементам путей;

- статистические данные по активности локомотивов внутри зон;
- данные по полурейсам и передвижениям конкретного локомотива;
- статистика максимальной и средней скорости на различных элементах для конкретного локомотива.

Последняя секция панели управления позволяет выбрать более точный временной диапазон внутри загруженного набора данных. Для этого необходимо указать время начала и конца диапазона и нажать на кнопку «Расчет выборки». Кроме того, произвести аналогичное действие можно путем выделения интересующей области на временной шкале (рисунок 15).

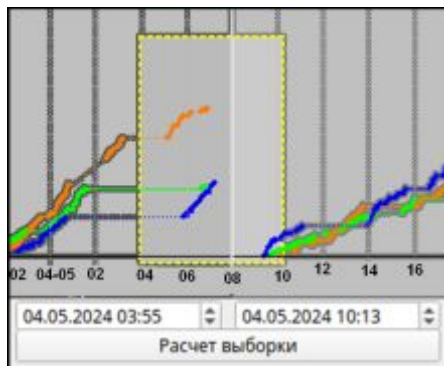


Рисунок 15 – Последняя секция панели управления

Слева от временной шкалы располагается список, с помощью которого можно регулировать перечень локомотивов, использующихся при формировании итоговой статистики. Справа от временной шкалы находится список слоев схемы, с помощью которого можно скрыть или отобразить зоны на схеме, метки и номера элементов. Слои схемы влияют только на графическое отображение и не влияют на формирование таблиц статистики.

Таким образом, в результате загрузки данных за три недели, основное окно режима аналитики выглядит следующим образом (рисунок 16).

Выбор того или иного вида отчета влияет на параметр, в разрезе которого осуществляется построение таблицы и визуальное отображение схемы. На практике это означает выбор интересующего нас аспекта, который требуется проанализировать, и переход к заранее подготовленному шаблону, по которому будут представлены данные.

Приведем описание каждого из доступных отчетов.

1 Метки цветовой карты (ЦК) – статистические данные по срабатываниям меток с цветовой картой (ЦК). Представляет собой таблицу за выбранный интервал времени, которая имеет четыре столбца: номер метки, количество срабатываний, количество отказов и процент успешных срабатываний метки (рисунок 17).

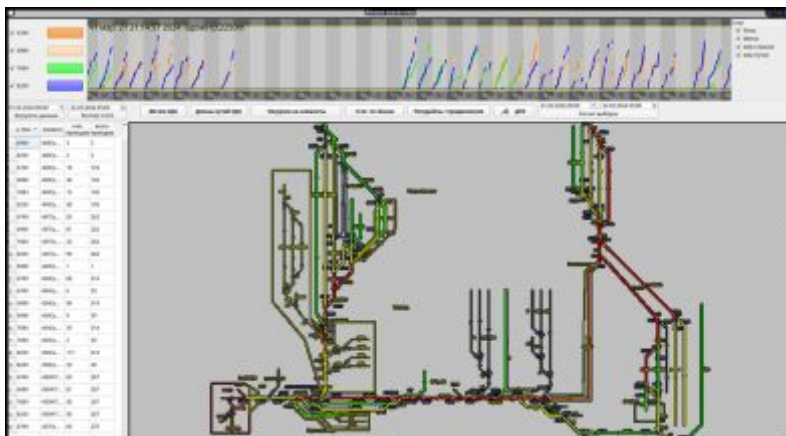


Рисунок 16 – Окно аналитики после загрузки данных

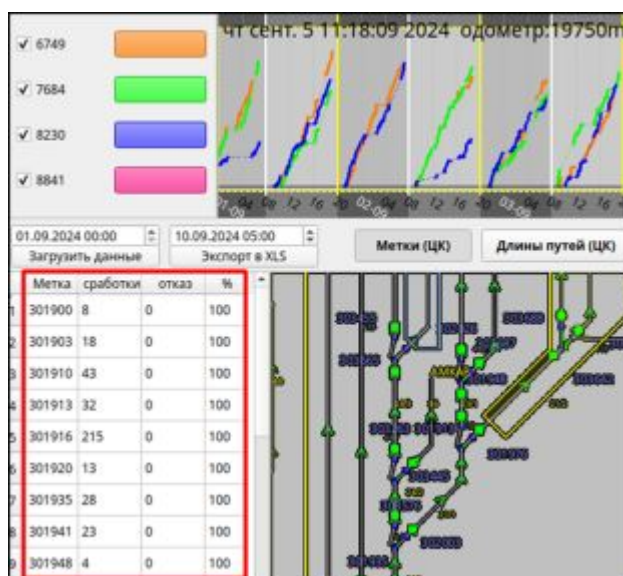


Рисунок 17 – Результат построения отчета по меткам

На приведенном выше примере видно, сколько раз был осуществлен проезд по определенной метке за выбранный промежуток времени, сколько было отказов (проезд зафиксирован, но метка не сработала) и какой итоговый процент срабатываний метки.

При нажатии на заголовок столбца выполняется сортировка по значениям данного столбца. Например, при нажатии на заголовок «Отказ» можно получить метки, имеющие самое большое количество отказов, а затем перейти к расположению интересующей метки на схеме путем выделения соответствующей строки в таблице.

Данный отчет в основном используется при разработке и настройке системы, в частности для проверки корректности схемы.

2 Длины путей ЦК – статистика по определению длин путей с цветовой картой, которая представляет собой таблицу из семи столбцов (две метки, ограничивающие путь, количество проездов по данному пути за выбранный промежуток времени, дистанция по схеме и по одометру, а также среднеквадратичная ошибка и фактическая ошибка в метрах) (рисунок 18).

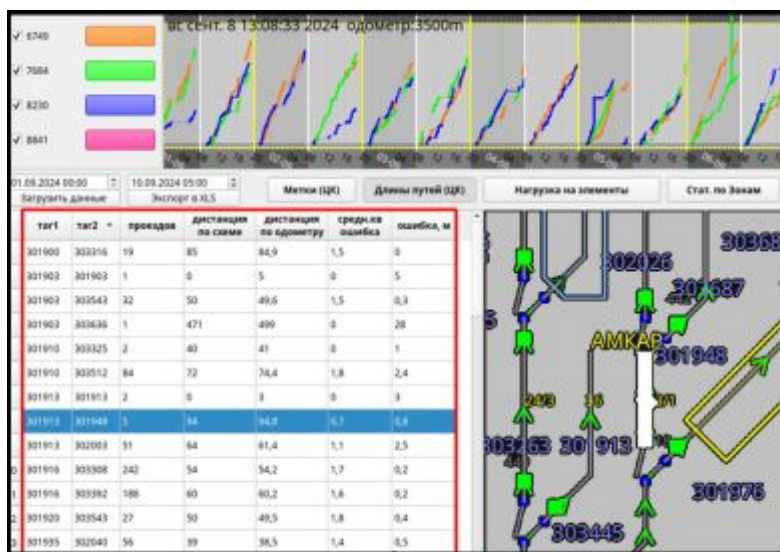


Рисунок 18 – Результат построения отчета по длинам путей

На рисунке 18 выделен путь, находящийся между метками 301913 и 301948. За выбранный промежуток времени по данному пути было осуществлено 5 проездов, дистанция по схеме и одометру составляет 94 и 94,8 м соответственно, а среднеквадратичная ошибка – 0,7 м.

При нажатии на заголовок столбца выполняется сортировка по значениям данного столбца. Например, можно отсортировать таблицу по путям с самой большой ошибкой между фактической дистанцией и дистанцией по схеме и найти таким образом ошибку в построении схемы.

3 Нагрузка на элементы – статистика по количеству проездов конкретным локомотивом по различным элементам путей. Представляет собой таб-

лицу, которая имеет четыре столбца: номер локомотива, элемент схемы, количество проездов данным локомотивом и общее количество проездов всеми локомотивами (рисунок 19).

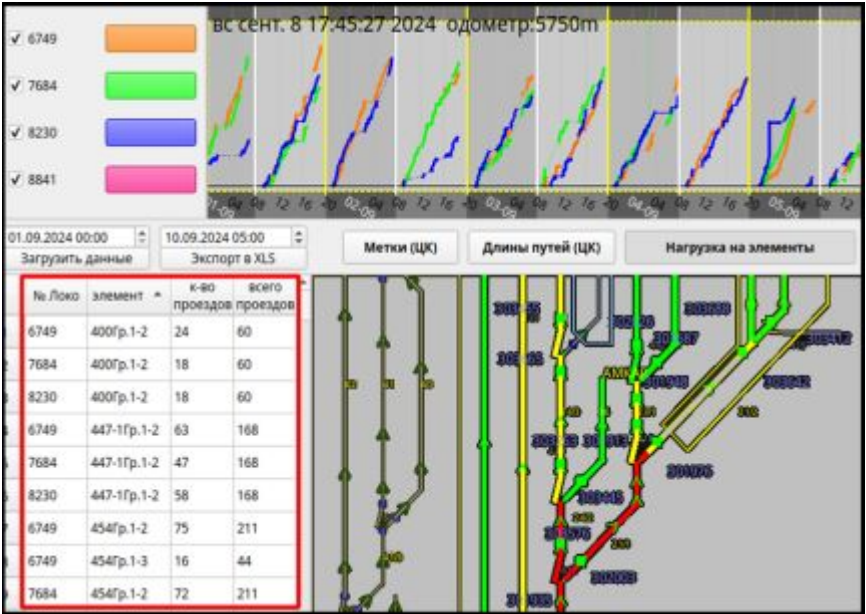


Рисунок 19 – Результат построения отчета по нагрузке на элементы

На рисунке 19 видно, что по элементу 400Гр.1-2 за выбранный промежуток времени всего совершено 60 проездов, из них 24 проезда локомотивом 6749, 18 локомотивом – 7684 и еще 18 локомотивом – 8230. При необходимости можно отфильтровать список локомотивов, участвующих в построении таблицы с помощью галочек в верхней части окна. Кроме того, общее количество проездов по элементу отображается на схеме с помощью цветовой карты (1/3 часть элементов, которые загружены больше всего окрашиваются в красный цвет; 1/3, нагруженных средне – в желтый цвет и оставшаяся 1/3 часть самых свободных элементов – в зеленый).

Аналогично другим отчетам доступна сортировка по нажатию на заголовок столбца, а при выделении строки в таблице схема центрируется на выбранном элементе.

4 Статистика по активности внутри зон представляет собой таблицу за выбранный интервал времени, которая имеет семь столбцов (название зоны, общее количество проездов всеми локомотивами, количество стоянок более 3 мин, более 45 мин, время простоя, время технических стоянок и операций (рисунок 20).

Данный вид отчета позволяет оценить каждое событие в отдельности, а также найти необходимую запись с помощью сортировок столбцов по убыванию или возрастанию. При выделении строки в таблице схема фиксируется на элементах, участвовавших в операции.

Данные по скорости (сокращенно в интерфейсе ДПС) – статистика максимальной и средней скорости на различных элементах для конкретного локомотива. Представляет собой таблицу за выбранный интервал времени, которая имеет четыре столбца: номер локомотива, осуществившего проезд, элемент и максимальная или средняя скорость проезда локомотивом по указанному элементу (рисунок 22).

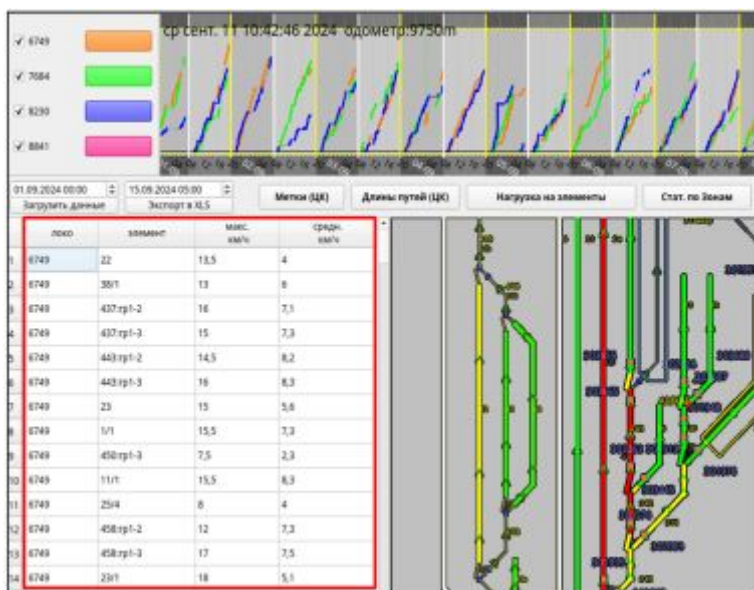


Рисунок 22 – Результат построения отчета по зонам

На приведенном примере показано, что в таблице присутствуют все элементы схемы и для каждого локомотива существует запись о максимальной и средней скоростях движения по данному элементу. Аналогично другим отчетам доступна сортировка по нажатию на заголовок столбца, а при выделении строки в таблице схема центрируется на указанном элементе.

Для общего представления работы программной среды существом запуск режима аналитики (рисунок 23).

Установим временной диапазон, например с 01.04.2024 00:00 по 16.04.2024 00:00, нажмем кнопку «Загрузить данные» и получим информационную панель с завершенной операцией (рисунок 24).

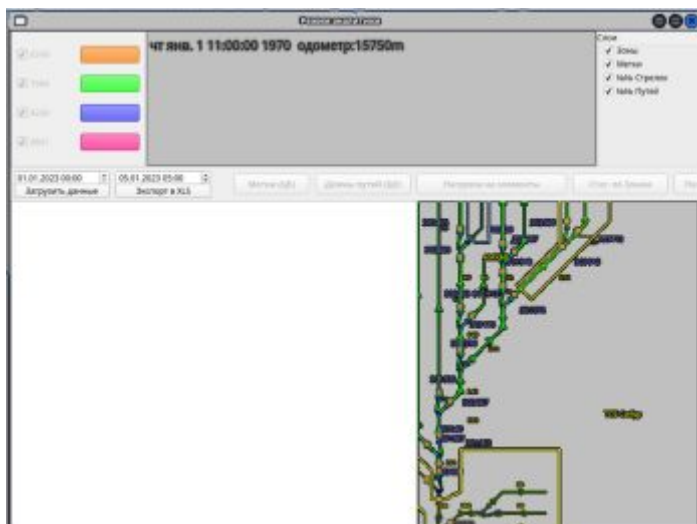


Рисунок 23 – Окно режима аналитики после запуска

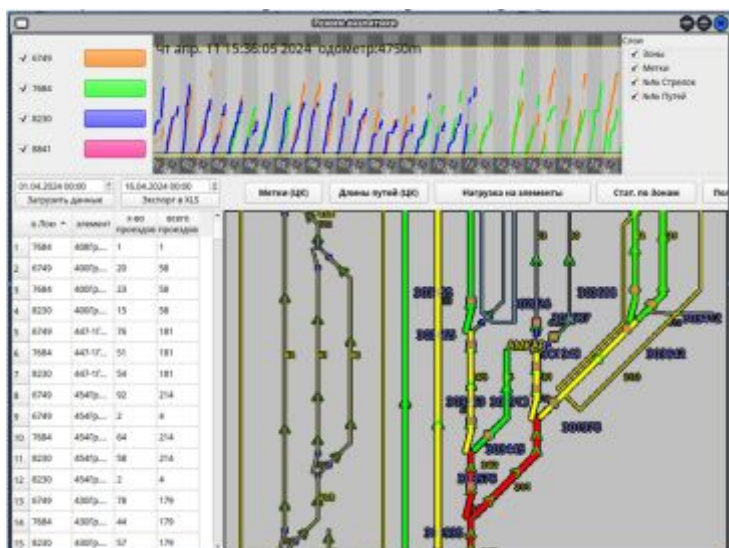


Рисунок 24 – Результат загрузки данных за 15 дней месяца

Зафиксируем временной интервал до нескольких смен путём выделения небольшой области на временной шкале и оставим в выборке только один локомотив. В результате получим статистику по одному локомотиву с нагрузкой на элементы путей в графическом и табличном виде (рисунок 25).

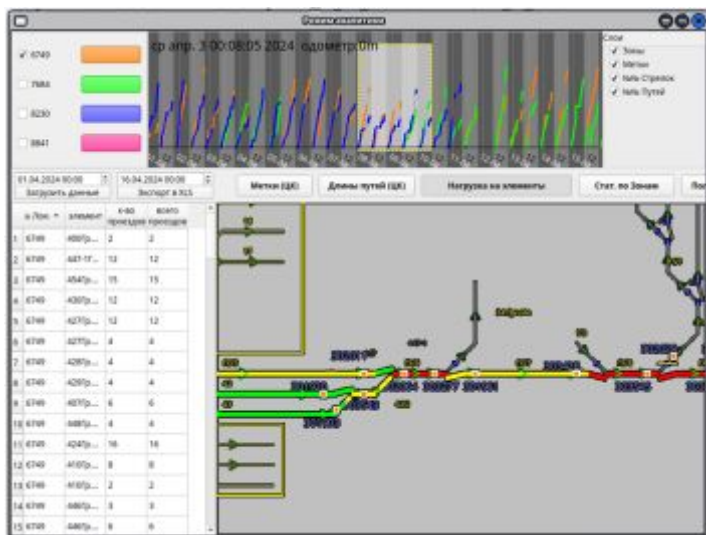


Рисунок 25 – Результат формирования выборки в режиме аналитики по одному локомотиву

При необходимости переключим на другой вид отчета или изменим сортировку таблицы путем нажатия на заголовки интересующих столбцов. Таким образом, получаем требуемую информацию для последующего анализа. При необходимости поделиться полученными результатами, экспортируем таблицу в *.xls файл, который можно будет открыть на стороннем устройстве с помощью соответствующей программы.

Для регулярного контроля скоростного режима используется форма аналитики скоростных ограничений (рисунок 26).

Окно аналитики скоростных ограничений разделено на две части.

В левой части окна располагается таблица, имеющая три вкладки: «Паспортные», «Временные» ограничения скорости и таблица превышений скорости, а также форму для задания временного интервала за который будет сформирована таблица. Кроме того, в нижней части присутствует список локомотивов, который позволяет выбрать, какие номера локомотивов будут использованы при формировании таблицы.

В правой части окна располагается временная линия фактических превышений (сверху) и тепловую карту введенных ограничений (ниже). Временная линия позволяет визуально оценить время и частоту фиксирования превышений установленной скорости. На ней точками показаны моменты превышения скоростных ограничений. Точки имеют цвета, соответствующие цветам локомотивов. Временная линия разделена на вертикальные зоны – смены (светлая зона – дневная смена, темная – ночная).

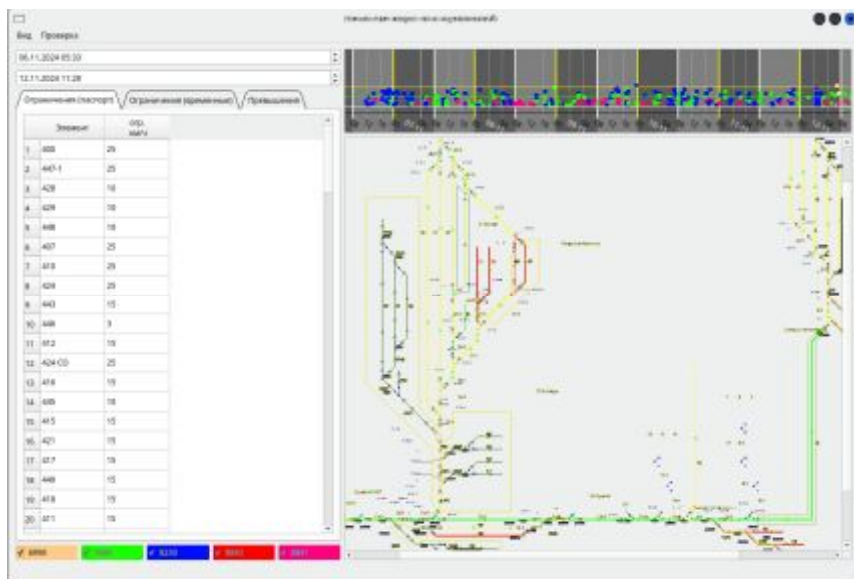


Рисунок 26 – Основное окно аналитики скоростных ограничений

Имеется возможность регулировать приближение временной линии при помощи колеса манипулятора мыши. Тепловая карта введенных ограничений позволяет наглядно оценить место и значение установленных ограничений. Чем ближе оттенок к красному, тем меньшее значение разрешенной скорости установлено на данном участке. Конкретные значения скорости можно увидеть в таблице, которая описана далее.

Таблица паспортных ограничений имеет две колонки: наименование элемента и значение максимально допустимой скорости (рисунок 27).

Ограничения (паспорт)		Ограничения (временные)	
Элемент		огр. км/ч	
1	1	4	
2	1/1	10	
3	11	3	
4	11/1	10	
5	12	3	
6	12/1	10	

Рисунок 27 – Таблица паспортных ограничений скорости

При нажатии на заголовок столбца выполняется сортировка по значениям данного столбца. При нажатии на строку на тепловой карте подсвечивается выбранный элемент схемы.

Таблица временных ограничений имеет следующие колонки:

- наименование элемента схемы, на котором начинается ограничение скорости;
- смещение от начала элемента в метрах, откуда начинается ограничение скорости;
- наименование элемента схемы, на котором заканчивается ограничение скорости;
- смещение от начала элемента в метрах, где заканчивается ограничение скорости;
- индекс кружности (вариант маршрута), (0 – кратчайший);
- значение ограничения скорости, км/ч;
- дата и время, начала и окончания действия ограничения скорости;
- название зоны на схеме станции (рисунок 28).

	Эл.1	смещ.	Эл.2	смещ.	инд.	огр. км/ч	дата от	дата до	зона
1	3	70	3	103	0	6	2024-10-24...	2024-11-05 10	Весь
2	ГХ/1	0	ГХ/1	634	0	15	2024-10-27...	2024-11-12 10	
3	6	63	6/3	12	0	20	2024-10-30...	2024-11-19 10	
4	СВр41/5	100	СВр41/2	2	0	20	2024-11-02...	2024-11-26 10	SpeedingT...
5	13	130	13	460	0	3	2024-11-05...	2024-12-03 10	МПК

Рисунок 28 – Таблица временных ограничений скорости

Аналогично представленной на рисунке 26 таблице (см. рисунок 28) при нажатии на заголовок столбца выполняется сортировка по значениям данного столбца. При нажатии на строку на тепловой карте подсвечивается выбранный элемент схемы.

Таблица превышений скорости имеет 8 колонок:

- номер локомотива, допустившего превышение скорости;
- наименование элемента схемы, на котором превышение началось;
- смещение от начала элемента в метрах, откуда началось превышение;
- наименование элемента схемы, на котором превышение завершилось;
- смещение от начала элемента в метрах, где превышение завершилось;
- индекс кружности – вариант маршрута;
- значение отклонения скорости (на сколько превышено в км/ч);
- дата и время, когда было зафиксировано превышение (рисунок 29).

Аналогично другим таблицам работает сортировка и подсветка выделенного элемента на тепловой карте.

период	элемент1	сигнал1	элемент2	сигнал2	И.Е.	превышение км/ч	дата
1	8230	448	43	428	1	0	06-11 11:50
2	8230	Г06	197	Г06	55	0	06-11 11:56
3	8230	Сбр411	33	Сбр412	53	0	06-11 12:25
4	8230	25/1	3	25/1	54	0	06-11 12:24
5	8230	449	2	34/2	214	0	06-11 12:26
6	8230	24	83	24	188	0	06-11 12:28
7	8230	Г06	4	Г06	157	0	06-11 13:35
8	8230	445	4	37/1	-12	7	06-11 13:59
9	8841	17	81	10/1	47	0	06-11 14:27

Рисунок 29 – Таблица превышений скорости

Таким образом, использование программно-технического комплекса онлайн-телеметрии маневровых локомотивов, дополненного новыми функциями контроля скоростного режима маневровой работы, предоставляет диспетчерскому персоналу, машинистам-инструкторам и руководству ранее недоступные детализированные данные, полученные и обработанные в автоматическом режиме о фактических скоростях, превышениях паспортных и временных ограничений, включая места превышений. Система онлайн-контроля и аналитики поднимает на качественно иной уровень персональную ответственность работников смены, что позволяет задействовать методики и практические варианты мотивации персонала.

Безусловно, устранение непрозрачности такого сложного технологического процесса, как маневровая работа, способствует повышению внимательности работников и снижению количества случаев опасного брака в работе. Дальнейшим этапом повышения безопасности маневровой работы является установка в кабине машиниста бортового интерфейсного устройства, интегрированного в систему позиционирования и онлайн-телеметрии. Это позволит реализовать передачу маневровых заданий с подтверждением приема и информирование машиниста в реальном режиме времени о нарушении скоростного режима, задействовать режимы программного советчика.

I. V. KOROTKEVICH

USING A HIGH DETAIL DIGITAL TWIN IN LOCOMOTIVE ONLINE TELEMETRY SYSTEM TO IMPROVE STATION SAFETY

A screen analysis of the operation computer environment for online telemetry of shunting locomotives at a railway station is presented. In the conditions of their high mobility and complexity travel routes, a developed software and hardware complex is proposed, constant detection of the position shunting locomotives by floor devices with fixation of their coordinates on a digital scale plan. All received data are visualized on the screen with the calculation of current parameters and forecasting the state of shunting locomotives and track infrastructure for loading.

Получено 28.10.2024

УДК 656.21:004.94

И. В. КОРОТКЕВИЧ

АО «Объединенная химическая компания „Уралхим”», г. Москва, Российская Федерация

ivan.korotkevich@uralchem.com

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МАНЕВРОВЫМИ ЛОКОМОТИВАМИ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И ТЕЛЕМЕТРИИ

Рассматривается возможность использования инновационных информационных систем, основанных на обработке входных массивов Big Data и высоко-производительных алгоритмов конечных автоматов, позволяющих в режиме реального времени продуктивно обрабатывать все данные телеметрии и формировать результатные параметры с визуализацией их диспетчеру на схемной модели путевого развития. Отмечается, что в условиях высокой загрузки топологически сложной инфраструктуры путевого развития подъездных путей и графической точности в обслуживании пунктов погрузки-выгрузки возникает необходимость решения задачи рационального использования ограниченных ресурсов маневровых локомотивов. Достигнутый уровень развития информационных технологий и технических средств контроля с гибкими настройками позволяют автоматизировать процессы сбора и анализа информации для решения данной задачи.

Традиционно для повышения эффективности производства технологических процессов и качества принятия управленческих решений на промышленных предприятиях используются аналитические инструменты информационных систем, позволяющих выделять проблемные позиции операционного взаимодействия и выявлять ошибки инженерно-технического и руководящего персонала. Анализ опыта использования информационно-управляющих систем на железнодорожных станциях и в узлах крупных промышленных предприятий показывает, что при выполнении маневровой работы хронометраж и нормирование операций позволяют получить эффект только в условиях, когда интенсивность работы станционных и грузовых устройств такова, что допускает в реальном масштабе времени проведение всех операций натурного съема информации. Поэтому для транспортных систем, функционирующих в условиях высокой загрузки, в настоящее время руководством крупных железнодорожных предприятий в целях обеспечения управляемости и упрощения анализа широко применяется практика ведения графика исполненной работы станции ручным способом. В ОАО «РЖД» созданы системы автоматизированного отображения графика исполненной

работы сортировочной станции на основании данных ручного ввода и разметки сортировочного листа. Однако специфика маневровой работы на промышленных предприятиях такова, что руководитель маневров не имеет возможности передавать всю информацию оператору, ответственному за ведение графика. Оператор вводит в информационную систему не все данные, а только полученные по докладу диспетчера и персонала коммерческой и вагонной служб, как правило, по завершению нескольких относительно быстро выполняемых операций. В результате к оператору-«визуализатору» поступает квантово-дозированная информация на некоторый отчетный момент времени с четким позиционированием последней операции и примерной оценкой всего того, что произошло до этого. Такие данные восстанавливаются «ручным вводом», а следовательно, не проходят валидацию и могут содержать достаточно произвольные значения времени. При этом отсутствует важная для анализа и последующей оптимизации маневровой работы информация:

- остановки перед неавтоматизированными стрелками, когда необходимо их переводить по маршруту следования маневрового состава или одиночного локомотива;
- кратковременные остановки перед стрелочными переводами при их занятии враждебными маршрутами;
- промежуточные операции на парковых путях;
- многократные маневровые полурейсы, когда для подачи нескольких вагонов из центра отцепа другие вагоны данного отцепа также участвуют в передвижениях по причине коротких соседних парковых путей, отсутствия башмаков для их закрепления или другим причинам;
- время занятия стрелок, стрелочных улиц и горловин;
- простои, стоянки и остановки локомотивов, а также конкретные позиции возникновения данных непроизводительных ожиданий.

Таким образом, получаемая информация по исполненной маневровой работе является неполной, достоверными оказываются только фиксированные времена некоторых регламентированных операций (например, завершения погрузки или выгрузки вагона).

Сопоставление координат масштабного плана путевого развития с позиционированным маршрутом следования маневрового состава позволит фиксировать и накапливать все данные по производительным и непроизводительным операциям, которые могут отражаться на контрольной панели экрана диспетчера и использоваться в дальнейшем для проведения анализа с целью оптимизации работы.

Система позиционирования и онлайн-телеметрии локомотивов (СПОТ-Л) основана на высоконадежной координатно-реперной технологии координирования объектов с обменом информацией в реальном масштабе времени между бортовыми и постовыми устройствами, предоставляя диспетчерскому аппарату визуальный динамический образ в виде мнемосхемы станции, на которой в квазимасштабном режиме отображаются текущее состояние и дислокация локомотивов [1, 2].

Следует отметить, что в отличие от традиционных систем телеметрии, передающих значения ограниченного числа параметров (скорость, линейный пробег, GPS-координату), СПОТ-Л построена по протоколу ETCS/ERTMS level 2/3 и передает полноценные координаты положения сигнализирующего объекта, vital-статус целостности, широкий набор диагностирующих параметров движения и состояния отдельных подсистем (например, исправность бортового оборудования, работу ДВС). Все бортовые устройства локомотива работают по протоколу синхронизации времени со станционным контроллером. Измеренная средняя задержка передачи данных с маневрового локомотива на пост с использованием радиоканала публичного оператора связи составляет менее 70 мс, что для систем подобного класса является высоким показателем.

Обработка массивов телеметрии, содержащих сотни миллионов записей средствами SQL-языков обработки данных, позволяет получить только средние значения скоростей локомотивов за год, их суммарного пробега и некоторые другие. Попытки получения аналитического материала, касающегося загрузки отдельных маршрутов следования маневровых составов, загрузки отдельных стрелочных переводов, посредством сопоставления посекундных координат и параметров движения средствами SQL-запросов трудновыполнимы из-за высокой вычислительной сложности. Например, для одного подобного расчета и получения конечного результата потребуются подвергнуть анализу гигантские массивы данных с большим временем выполнения расчетов на высокопроизводительном компьютере.

Важно отметить, что достигнутый в настоящее время уровень информатизации позволяет обеспечить глубокую обработку Big Data в онлайн-режиме [3]. Реализованная в СПОТ-Л бортовая система обработки телеметрии способна без участия оператора проанализировать координатные изменения локомотива по цифровой модели станции, изменения и значения параметров движения и состояния бортовых систем и автоматически сгенерировать сообщения о критических событиях для постового контроллера и АРМ диспетчера.

В настоящее время СПОТ-Л работает со следующими классами технологических событий.

1 Базовые технологические события:

- бортовые (включение и выключение дизеля и других локомотивных устройств, их неисправности, отсутствие связи и др.);
- маневровые (трогание и остановка, занятие и освобождение элементов инфраструктуры) (рисунок 1).

2 Высокоуровневые события, отражающие технологические операции маневровой и станционной работы:

- начало, завершение полурейса или движение состава;
- начало, завершение стоянки между полурейсами;
- начало, завершение стоянки в депо;
- заход, выход в зоны или маневровые районы;
- выход за пределы контролируемой зоны;
- начало, завершение смены.

1134	ЗАН	C: 445 гр: 2...	52	3...	+	+	+	+	+	0	МНВ	18:41	1...	57	37	0	8	54
1135	ОСТ	C: 445 гр: 2...	50	0...	+	+	+	+	+	0	ОСТ	18:41	1...	57	37	0	8	54
1136	ТРГ	C: 445 гр: 2... 31 м	50	0...	+	+	+	+	+	0	ОСТ	18:42	1...	57	37	0	8	54
1137	ОСВ	C: 445 гр: 2...	2	3...	+	+	+	+	+	0	МНВ	18:42	1...	57	37	0	8	54
1138	ЗАН	П: 31-1#16...	0	3...	+	+	+	+	+	0	МНВ	18:42	1...	57	37	0	8	54
1139	ОСВ	П: 31-1#16...	11	3...	+	+	+	+	+	0	МНВ	18:42	1...	57	37	0	8	54
42	КПД2	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	+	+	+	0	ОСТ	15:42	2	2	2	1	0	0
43	КПД1	П: 38#19. 2...	173	0...	-	+	+	+	+	0	ОСТ	15:44	2	2	2	1	0	0
44	КПД2	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	+	+	+	0	ОСТ	15:44	2	2	2	1	0	0
45	СФС2	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	-	+	+	0	ОСТ	15:46	2	2	2	1	0	0
46	КПД1	П: 38#19. 2...	173	0...	-	+	+	+	+	0	ОСТ	15:48	2	2	2	1	0	0
47	СФС1	П: 38#19. 2...	173	0...	-	-	+	+	+	0	ОСТ	15:48	2	2	2	1	0	0

Рисунок 1 – Скрин-файл работы СПОТ-Л по базовым технологическим событиям

Для каждого высокоуровневого события или операций кроме места и времени начала и окончания также в системе доступны входящие в них базовые события. Таким образом, можно получить необходимые для анализа маневровой и станционной работы данные по количеству остановок и троганий с места, максимальным или средним значениям скорости движения для полурейсов, количеству проездов элементов и среднему или суммарному времени занятия элементов. Благодаря интенсивному обмену данными по линии связи напольных и бортовых устройств с визуальным динамическим образом на экране диспетчера реализуются сложные задачи оперативного контроля и принятия эффективных решений на уровне узлового диспетчера.

Однако, несмотря на формирование прозрачной для анализа среды, за счет применения надежной автоматики и систем позиционирования и телеметрии, дальнейшее развитие систем аналитики с переходом от информационно-аналитических систем к информационно-управляющим и автоматическим системам сдерживается из-за преобладания традиционных подходов к разработке информационных систем. Например, при создании УВК и АРМ систем микропроцессорной и диспетчерской централизации, АСОУП-2,3, АСУ СТ, ПТК ЦУП использованы языки программирования 3-го и 4-го поколений, которые для решения задач онлайн-обработки объемов Big Data таких сложных процессов, как маневровая работа, малоэффективны.

Описание модели поведения локомотива, имеющей на входе текущие координатные значения, параметры движения и состояния бортовых устройств, не позволяет решить задачу автоматической генерации поименованного перечня технологических событий на выходе модели. Для этого необходимо добавлять во входной контур модели возможность рекурсивного чтения предыдущих значений координат и других данных телеметрии, а также реализовать в модели рекурсивный поиск и мажоритарную логику переоценки предыдущих событий относительно связанных с ними последующих.

Например, реализация такой модели поведения для весьма узкого перечня операций занимает не менее 90 страниц программного кода на языке 3-го поколения. Причем добавление новых операций или корректировка условий для старых влечет глубокую переработку кода, затрагивающую обширный список связанных функций и условий. Также следует отметить, что даже при наличии структурирования и комментариев такой код практически нечитаем (особенно для программистов, не принимавших участие в разработке исходных текстов программ). Кроме того, следует учитывать, что тестирование и отладка проведенных изменений также требует больших затрат времени. Кроме того, перенос знаний от владельцев компетенций по стационарным процессам (опытный диспетчерский персонал и руководители) подразумевает многоуровневую формализацию (согласование глоссария, обучение методологии, описание постановки задачи, разработку технического задания), что превращает любой проект в громоздкий и многолетний труд.

Предпочтительным и доступным вариантом решения данной проблемы является использование модельно-ориентированного подхода к разработке программного обеспечения (Model-driven engineering), основанного на абстрактных описаниях через артефакты. Особенностью архитектуры модели, пригодной для обработки последовательных во времени потоков данных телеметрии и синтезируемых событий-операций, является использование последовательных конечных автоматов. С точки зрения описания процессов с позиции последовательных конечных автоматов достаточно двух таблиц, первая из которых – это таблица активностей, описывающая состояния (входные, выходные и внутренние), вторая – таблица описания переходов состояний. Модель на основе последовательных конечных автоматов автоматически преобразуется в исполняемый код. Учитывая высокую абстракцию описания последовательного конечного автомата целесообразно использовать преобразование модели на последовательных конечных автоматах в соответствующую модель Крипке, которая может быть верифицирована [4].

Модель Крипке применяется при проверке моделей для представления поведения системы и является элементарной абстрактной машиной, позволяющей описать процесс в системе обработки данных. Модель представляется ориентированным графом, вершины которого описывают достижимые состояния системы, а рёбра – соответствующие переходы. Функция пометок позволяет сопоставить каждой вершине список свойств, которые выполняются в определенном состоянии.

Задача преобразования модели последовательных конечных автоматов в модель Крипке чрезвычайно сложная. Например, прямое преобразование простейшего последовательного автомата с тремя внутренними состояниями, парой логических переменных и четырьмя вариантами перехода порождает 2880 вариантов состояний модели Крипке. Использование правил преобразования позволяет снизить количество вариантов состояний модели Крипке до 64, что делает практически осуществимым выполнение валидации модели Крипке.

Следует отметить, что графическое представление модели Крипке в визуальном редакторе оказывается наиболее удобным для задания правил и условий обработки потока данных телеметрии и вторичных сообщений. Таким образом, можно избежать трудоемкой нотации таблиц, описывающей последовательные конечные автоматы, посредством обратного преобразования в визуальном графическом редакторе, что позволяет использовать компьютерное преобразование модели обработки данных на основе последовательных конечных автоматов без валидации программного кода.

Внесение изменений в систему машинной обработки телеметрии маневровой работы объемов данных уровня BigData и изменение правил определения и детектирования технологических событий позволяет существенно упростить громоздкие конструкции программного обеспечения, используемые в языках 3-го и 4-го поколений и разработать компактную среду, которая достаточно легко адаптируется к различным технологическим задачам. Наличие визуального представления модели позволяет участвовать в мероприятиях оценки качества работы программного продукта носителям компетенций по технологическому процессу, не имеющим познаний в языках программирования и опыта разработки технических заданий.

Диспетчерский аппарат получает эффективный инструмент управления маневровыми ресурсами с возможностью оперативного отклика по совершенствованию графиков обслуживания пунктов местной работы, выявления точек с максимальной загрузкой путевого развития и разработкой вариантов переустройства станций и горловин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Короткевич, И. В.* Моделирование работы железнодорожной станции по адекватному функционалу цифрового двойника / И. В. Короткевич, Ю. С. Смагин // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 140–145.

2 *Короткевич, И. В.* Инновационная система онлайн-контроля дислокации маневровых локомотивов на основе использования цифрового двойника железнодорожной станции / И. В. Короткевич // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2022. – Вып. 4. – С. 155–158.

3 *Prevos, P.* Principles of Strategic Data Science / P. Prevos. – London : Packt Publishing, 2019. – 104 p.

4 *Оноприенко, А. А.* Семантика типа Крипке для пропозиционной логики задач и высказываний / А. А. Оноприенко // Математический сборник. – 2022. – Т. 211, № 5. – С. 98–125.

I. V. KOROTKEVICH

INCREASING THE EFFICIENCY CONTROL OF SHUNTING LOCOMOTIVES IN A RAILWAY JUNCTION WITH THE INTEGRATED USE OF NAVIGATION AND TELEMETRY SYSTEMS

The organization of the efficient operation of railway transport at an industrial enterprise determines the schedule for the supply of raw materials and the exact implementation

of the schedule for the shipment of final products to consumers. In conditions of high loading of the branched complex infrastructure of railway tracks and the required accuracy in servicing loading and unloading points, it becomes necessary to solve the problem of rational use of limited resources of shunting locomotives when performing various technological operations. The achieved level of information technologies and control tools with flexible settings make it possible to automate the processes of collecting and analyzing information to solve this problem. However, the output material turns out to be so weakly structured and very diverse in typing that its processing by existing systems and software requires significant computational and time resources. The article discusses the possibility, confirmed by certain practical experience in the use of innovative process control systems based on the processing of Big Data input arrays using high-performance algorithms for the sequence of finite automata, which allow real-time efficient processing of all telemetry data and the formation of result parameters with their visualization to the dispatcher on schematic model of railway infrastructure.

Получено 29.10.2024

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024

УДК 656.029.4.004

П. В. КУРЕНКОВ, В. А. САДЧИКОВА, С. П. ВАКУЛЕНКО, А. В. АСТАФЬЕВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ РАЗДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ВАКУУМНОГО МАГНИТО-ЛЕВИТАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

По аналогии с путевым развитием железнодорожных станций рассматриваются варианты схемы раздельных пунктов вакуумного магнито-левитационного транспорта. Показано, что маглев и железнодорожный транспорт объединяет родственная технология обслуживания транспортных потоков, организованных в поезда, которые требуется перерабатывать до их поступления на конечные пункты производства грузовых операций.

110 лет назад российскими учеными в лабораторных условиях была доказана возможность существования транспорта без колес, рельсов и крыльев – вакуумного магнито-левитационного транспорта (ВМЛТ), позволяющего добиться оптимального сочетания скорости, производительности, высокой энергетической эффективности и независимости от погодных условий. Вакуумная магнито-левитационная транспортная технология (маглев) дает следующие преимущества для перевозок: высокую скорость, производительность, высокую энергетическую эффективность и независимость от любых погодных условий. Таких преимуществ не имеет ни один другой вид транспорта. Однако чтобы реализовать их в полном объеме, необходимо тщательное техническое-технологическое обоснование проекта.

На сегодня 19 стран в разной степени готовности ведут работы по маглеву, опытная эксплуатация которых идет в Японии, Китае, Германии. Вакуумный магнито-левитационный транспорт рассматривается как переход на более экологичный, бесшумный вид транспорта, отвечающий современным запросам. Для нашей страны этот вид транспорта с учетом разных погодных условий и огромных расстояний в полном объеме может реализовать свои преимущества. На базе ВМЛТ предлагается создать новую транспортную концепцию мощных и экономичных так называемых «энергопроводов», способных поставлять различного класса энергоносители (нефть, бензин, дизельное топливо, нефтепродукты) со скоростями перемещения порядка 6500 км/ч (1800 м/с) на расстояния в тысячи и десятки тысяч километров практически без ощутимых транспортных потерь.

Одной из важных задач эффективного использования маглева является взаимодействие с другими видами транспорта, связь с которыми будет осуществляться через специализированные терминалы. Груз из капсул выгружается или грузится на терминале, а затем передается на другой вид транспорта по типовой технологии.

Все работы по перегрузу будут осуществляться на отдельных пунктах, аналогичных железнодорожным станциям. На рисунке 1 приведена схема организации движения грузовых капсул от пункта сортировки до терминала.

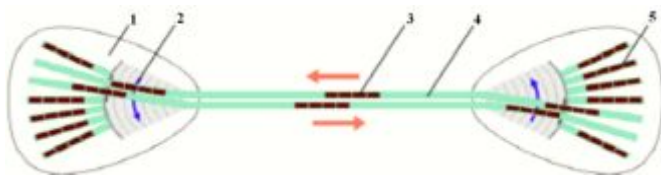


Рисунок 1 – Схема маршрутов движения капсул между терминалом и пунктом сортировки:

- 1 – станция сортировки; 2 – коммутатор; 3 – транспортная капсула;
- 4 – трубопроводная трасса; 5 – погрузо-разгрузочный терминал

В данном случае зафиксирован начальный или конечный этап перевозки и представлен процесс сортировки капсул. Для небольших размеров движения эффективной может оказаться схема односторонней системы (рисунок 2).

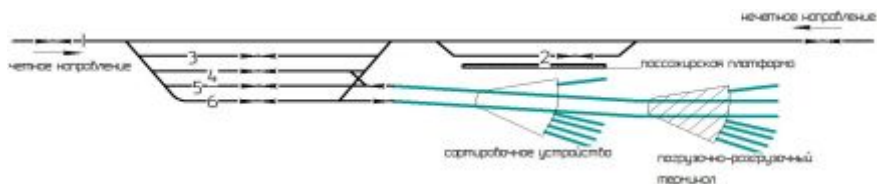


Рисунок 2 – Принципиальная схема одностороннего раздельного пункта с одним трубопроводом

Рассматриваемый схемный вариант состоит из собственно трубы I, в которой осуществляется попеременно движение в нечетном и четном направлениях, линия 3 – для приема грузовых капсул с обоих направлений и осуществления обгона и скрещения маршрутов. Принимая состав капсул на линию 3, освобождаем трубу I для пропуска, обгона, скрещения следующих составов капсул. Линии 4–6 служат для местных операций с капсулами: подачи-приема капсул на сортировочное устройство и погрузочно-разгрузочный терминал, а также для приема составов капсул. Линия 2 – пассажирская, для приема-отправления пассажирских капсул с обоих направлений. Принцип организации движения между сортировочным устройством и терминалом аналогичен схеме на рисунке 1, однако последовательное расположение данных устройств более технологично. На трубе следует иметь два шлюзовых отсека: один – для грузового, другой – для пассажирского движения. Если мы расположим пассажирскую линию в одном створе с грузовыми по другую сторону трубы, то это не избавит от необходимости строить второй шлюз для пассажирской линии или проектировать более сложную конструкцию шлюза. Располагать же пассажирскую линию с одной стороны с грузовыми нецелесообразно, так как будет возникать ситуация, когда нужно будет каким-либо образом прибывшие грузовые капсулы передавать над пассажирскими.

Более технологично и экономично выполнять операции можно в одной специально выделенной зоне, как предлагается на рисунке 3.

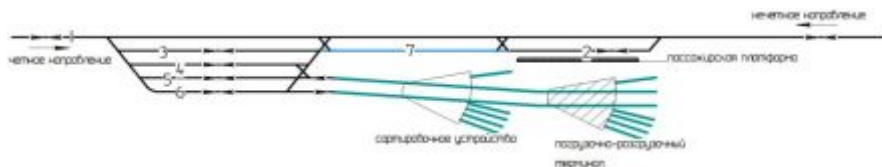


Рисунок 3 – Принципиальная схема одностороннего раздельного пункта с одним трубопроводом и вакуумным шлюзом

Технологическое решение для линии 7 связывается с вакуумным шлюзом для съема составов грузовых и пассажирских капсул с трубы I. С линии 7 должна быть обеспечена возможность перестановки капсул на все линии раздельного пункта.

На рисунке 4 представлен вариант схемы, обеспечивающей более высокие скорости доставки грузов благодаря отсутствию скрещения встречных составов капсул, т. е. каждая из двух труб работает в своем направлении.

Линии 9 и 10 – это вакуумные шлюзы для съема составов капсул с одного из направлений. Линия 3 служит для обслуживания пассажирских капсул нечетного направления. Линия 11 – для вывода капсул нечетного направления из шлюза. Далее эти капсулы должны передаваться во втором уровне, т. е. над трубами на линию 5.

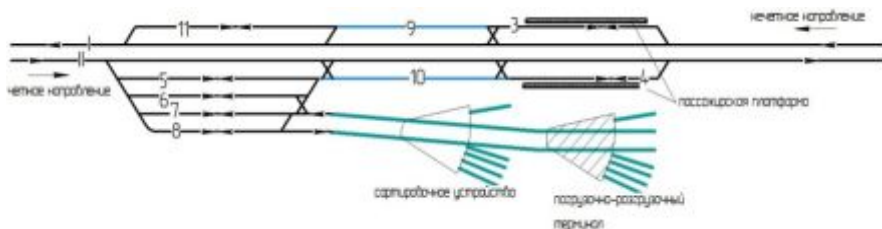


Рисунок 4 – Принципиальная схема одностороннего раздельного пункта с двумя трубопроводами

Линия 10 является шлюзом четного направления и служит для съема капсул четного направления и подачи-уборки на линию 4 для пассажирских капсул. Линии 5–8 – для перестановки капсул и выполнения передачи в район местной работы, а затем подачи их в трубу своего назначения. Линия 4 – для работы с потоком пассажирских капсул четного направления. При этом оказывается возможным нахождение на раздельном пункте одновременно пассажирских капсул с обоих направлений.

Для больших размеров движения может быть эффективной схема раздельного пункта, изображенного на рисунке 5.

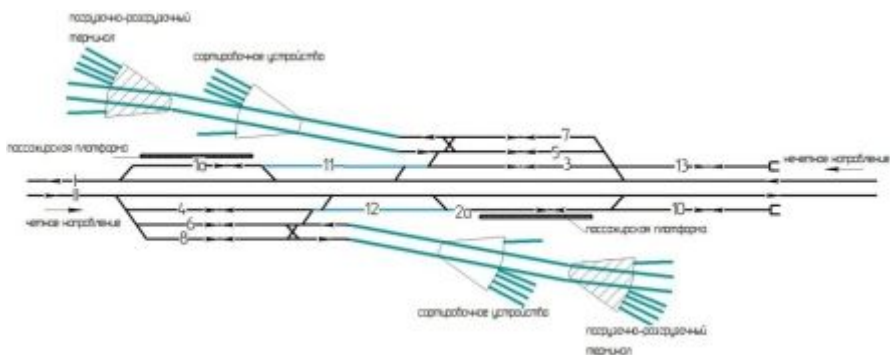


Рисунок 5 – Принципиальная схема двустороннего раздельного пункта с двумя трубопроводами

Данная схема исключает пересечение маршрутов нечетного и четного направлений, которые будут работать как две независимые системы. Линии 1a и 2a служат для приема составов пассажирских капсул, линии 11 и 12 – для шлюзов соответствующих направлений, линии 3, 5, 7 и 4, 6, 8 предназначены для приема составов грузовых капсул соответствующего направления и выполнения местной работы.

На двусторонних раздельных пунктах всегда актуален вопрос угловых потоков, которые по определенным причинам должны идти в обратном направлении. Для решения этой задачи запроектированы линии 10 и 13 с переставляющим устройством, показанным на предыдущей схеме.

В целом можно отметить, что магнито-левитационная технология имеет много общего с функционированием железнодорожных станций, обслуживание поездо- и вагонопотоков на которых может послужить убеждающе-аргументирующим технико-технологическим фундаментом для разработки высокоэффективной инфраструктуры маглева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вакуумный транспорт: перспективы XXI века / Ю. А. Терентьев [и др.] // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности : тр. 3-й Междунар. конф. (6–7 февраля 2020 г., Москва). – М. : ИПИМ им. М. В. Келдыша, 2020. – С. 149–164.

2 Проект «Квантовый гравилёт в "СИРИУСЕ"» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : sochisirius.ru/preview/obuchenie/project/smena618?uid=6557d3717f532d7dda3f632d166d1cc. – Дата доступа : 11.09.2024.

3 *Фиронов, А. Н.* Вакуумно-левитационный транспорт: перспектива или тупик? / А. Н. Фиронов // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 3 (70). – С. 44–47.

4 The development of criteria for evaluating energy efficiency and the choice of the optimal composition of the subsystems in the Russian integral transit transport system / B. A. Lyovin [et al.]. – LDIA 2017. – 11th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications. – P. 116–128.

5 Terentyev, Yu. A. Russia's integrated transit transport system (ITTTS) of on the basis of vacuum magnetic levitation transport (VMLT) / Yu. A. Terentyev // Transportation Systems and Technology. 2018. – Vol. 4, no. 3 S1. – P. 57–84.

6 Интегральная транзитная транспортная система России на базе вакуумного магнитолевитационного транспорта / В. В. Филимонов [и др.]. – Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности. – 2018. – № 1 (1). – С. 102–107.

7 Текущее состояние и перспективы развития интегральной транзитной транспортной системы (ИТТС) России на базе вакуумного магнитного левитационного транспорта (ВМЛТ) / Ю. А. Терентьев [и др.] // Транспортные системы и технологии, 2019. – Т. 5, № 4. – С. 25–62.

8 *Зайцев, А. А.* Магнит тянет в полёт / А. А. Зайцев // Эксперт. – 2021. – № 18, 19. – С. 26–33.

9 *Зайцев, А. А.* Магнитолевитационный транспорт: ответ на вызовы времени / А. А. Зайцев // Транспортные системы и технологии. – 2017. – Т. 3, № 1. – С. 5–13.

10 *Жаков, В. В.* Управление конкурентоспособностью перевозок грузов в контейнерах на основе процессного подхода : автореф. дис. ... канд. экон. наук / В. В. Жаков. – М. : МИИТ, 24.12.2014. – 24 с.

11 *Зайцев, А. А.* Вопросы оценки эффективности инновационного проекта создания грузовой магнитолевитационной магистрали / А. А. Зайцев, Я. В. Соколова // Инновации в современном мире : тр. Междунар. науч.-практ. конф., 20 февраля 2015 г. – М. : РИО ЕФПР, 2015. – С. 130–135.

12 *Зайцев, А. А.* Магнитолевитационная транспортная система для грузовых перевозок / А. А. Зайцев, Я. В. Соколова // Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии : тр. нац. науч.-практ. конф. – М. : РУТ (МИИТ), 2018. – С. 109–111.

13 *Зайцев, А. А.* Перспективы создания транзитного транспортного коридора «Восток – Запад» с применением магнитолевитационной технологии / А. А. Зайцев,

Я. В. Соколова // Транспортные системы и технологии. – 2018. – Т. 4, № 3, прил. 1. – С. 21–35.

14 *Зайцев, А. А.* Технологическое обеспечение мультимодальных межстрановых перевозок / А. А. Зайцев, Я. В. Соколова // Логистика: современные тенденции развития : материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1, Санкт-Петербург, 2018. – СПб : ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2018. – С. 178–182.

15 Магнитолевитационный транспорт в единой транспортной системе страны / А. А. Зайцев [и др.]. – СПб : Типография «НП-Принт», 2015. – 140 с.

16 *Смирнов, С. А.* Роль грузового магнитолевитационного транспорта в мировой экономике / С. А. Смирнов, О. Ю. Смирнова // Транспортные системы и технологии. – 2019. – Т. 5, № 2. – С. 106–117.

17 *Соколова, Я. В.* Алгоритм структурирования крупного инфраструктурного проекта в форме государственно-частного партнёрства / Я. В. Соколова. – 2016. – Т. 4, № 1. – С. 5–18.

18 *Соколова, Я. В.* Риски реализации инновационного проекта создания транспортно-логистической системы с применением магнитолевитационной технологии / Я. В. Соколова // Транспортные системы и технологии. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 154–164.

19 Управление инновациями на железнодорожном транспорте : [монография] / Н. П. Терешина [и др.] ; под ред. Н. П. Терешинной. – М. : МИИТ, 2014. – 304 с.

20 *Терешина, Н. П.* Экономика инноваций на транспорте : [монография] / Н. П. Терешина, В. А. Подсорин. – М. : РУТ (МИИТ). – 2019. – 401 с.

21 *Терешина, Н. П.* Конкурентоспособность интегрированных транспортно-логистических систем / Н. П. Терешина, А. В. Резер. – М. : ВИНТИ РАН, 2015. – 268 с.

22 *Терешина, Н. П.* Повышение конкурентоспособности и качества грузовых перевозок / Н. П. Терешина, В. В. Жаков, З. В. Филимонова // Экономика железных дорог. – 2017. – № 8. – С. 41–49.

23 *Терешина, Н. П.* Повышение конкурентоспособности и экономической эффективности железнодорожной транспортной системы России на основе развития сети логистических центров и контейнерных перевозок / Н. П. Терешина, В. В. Жаков, З. В. Филимонова // Актуальные проблемы управления экономикой и финансами транспортных компаний : сб. тр. нац. науч.-практ. конф. – М. : МИИТ, 2016. – С. 169–173.

24 *Терешина, Н. П.* Управление инновациями на железнодорожном транспорте / Н. П. Терешина, В. А. Подсорин. – М. : Вега-Инфо, 2012. – 477 с.

P. V. KURENKOV, V. A. SADCHIKOVA, S. P. VAKULENKO, A. V. ASTAFIEV

SCHEMATIC SOLUTIONS OF SEPARATE POINTS OF VACUUM MAGNETO-LEVITATION TRANSPORT

By analogy with the track development of railway stations, variant schemes of separate points of vacuum magnetic-levitation transport are considered. It is shown that maglev and railway transport are united by a related technology of servicing transport flows organized into trains, which need to be processed before they arrive at the final points of production of freight operations.

Получено 11.10.2024

УДК 658.7+656.07+06

П. В. КУРЕНКОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

И. А. СОЛОП, Е. А. ЧЕБОТАРЕВА

Ростовский государственный университет путей сообщения,

г. Ростов-на-Дону

УНИКАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ ВО ВРЕМЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Рассматриваются уникальные схемы транспортировки наливных грузов в годы войны, которые послужили опытом для дальнейшего эффективного развития полимодальных перевозок с применением нескольких видов транспорта.

Перевозки трубопроводным транспортом в последние годы усиливают свои позиции в реализации доставки нефтепродуктов, а следовательно, и составляют конкуренцию железнодорожному транспорту [1]. По прогнозам экспертов, снижение погрузки в 2023 году было предсказуемо, но в целом отрасль справилась с заданным планом (отставание составило 0,2 %), а по многим грузам значительно перевыполнила нормативные значения. Транспортировка нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом составляет существенную долю от общего объема погрузки (таблица 1).

Таблица 1 – Динамика погрузки на сети ОАО «Российские железные дороги»

Показатель	Год		Динамика, %
	2022	2023	
Погрузка, млн т:	1234,3	1232,3	–0,2
зерно	23,9	32,8	+37,1
каменный уголь	354,4	350,3	–1,2
нефть и нефтепродукты	216,0	210,1	–2,7
строительные грузы	133,9	129,7	–3,1
кокс	10,1	11,5	+13,7
черные металлы	66,3	67,8	+2,3
остальные, включая грузы в контейнерах	429,7	430,1	+0,1
Тарифный грузооборот, млрд тарифных т·км	2636,1	2636,7	0

Современное развитие экономики невозможно представить без нефти и нефтепродуктов, так как они служат сырьем для различных отраслей про-

мышленности и быта. Четкая и эффективная работа промышленных предприятий, а также народного хозяйства напрямую зависит от своевременных и бесперебойных поставок этой номенклатуры груза, поэтому рациональные логистические транспортные схемы доставки нефтепродуктов приобретают большое значение. Исследования данного вопроса отражены во многих научных работах [1–5]. На протяжении последних десятилетий разнообразие схем доставки и их диверсификация вызывают интерес у специалистов и являются предметом научных исследований. Поэтому будет логичным рассмотреть схемы и особенности транспортировки нефтепродуктов в историческом разрезе и при различных экономических, политических и других событиях [6, 7].

Например, интересен опыт организации перевозок нефтеналивных грузов в период военных событий, когда для задач фронта максимально были использованы технологии работы различных видов транспорта. Изучение авторами исторических фактов показывает, что применение схем перевозки нефтеналивных грузов всегда было нацелено на максимальное взаимодействие видов транспорта и использование их технических преимуществ.

С первых дней Великой Отечественной войны нефтяной Баку бесперебойно снабжал фронт нефтью и нефтепродуктами. Около 80 % горючего использовалось для заправки самолетов и советских танков. В течение 1941 года 57 предприятий и установок нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности перестроили свою работу на военный лад и стали выпускать продукцию для фронта. Использовались все возможности для транспортировки: и по железной дороге, и по суше (рисунки 1, 2), и по морю [8].



Рисунок 1 – Транспортировка нефтепродуктов по суше



Рисунок 2 – Перевозка нефти на конной тяге

Технология транспортировки по морю была сложной и неустойчивой из-за буйного Каспия. Начальник Центрального Портового Управления НКМФ В. Г. Бакаев, находившийся в то время в Баку, сделал необходимые расчеты и предложил оплавлять цистерны морем на плаву. На четвертый день после начала работ первые цистерны были спущены в море. Сначала спустили

семь порожних цистерн, но они держались неустойчиво и высоко находились над поверхностью моря. Поэтому цистерны стали заполнять нефтью, и только после этого они погрузились на три четверти высоты корпуса. К основному буксирному тросу каждая цистерна крепилась с помощью специальных захватов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Крепление цистерн к буксирному тросу

Такой метод буксировки был применен впервые в мировой практике. Используя различные речные суда: катера, баржи, буксиры, паромы и т. д., через Волгу осуществлялось снабжение советских войск. Для этих целей использовали даже катер, выполняющий перевозки личного состава. К нему была прицеплена цистерна с горючим, что служило маскировкой и одновременно экономией ресурсов.

Здесь видна роль взаимодействия видов транспорта в решении конкретных задач, что послужило в мирное время развитию полимодальных и мультимодальных систем перевозки грузов (рисунок 4).

Применялась еще и такая технология: прибывающие в Бакинский порт железнодорожные цистерны с горючим по виду сцепки и количеству осей сортировались в мини-поезда по 10–12 штук. Затем цистерны наполнялись почти на две трети объема, после чего все люки герметично закрывались. Далее составы в Бакинском порту по наклонному пути опускались в море, их цепляли к буксиру и доставляли в Красноводск. В порту с помощью крана их поднимали из воды и ставили на железнодорожные пути. Затем через Ташкент и Куйбышев заполненные до полной вместимости цистерны отправлялись на фронт и в нужные промышленные регионы. Таким же способом осуществлялось снабжение ГСМ и блокадного Ленинграда. Через Ладожское озеро – по водной «дороге жизни» – была организована и успешно действовала система доставки горючего – в полузатопленных цистернах на буксире.



Рисунок 4 – Перевозка железнодорожных цистерн на пароме

Изучение исторических фактов показывает, что применение схем перевозки нефтеналивных грузов всегда было нацелено на максимальное взаимодействие видов транспорта и использование их технических преимуществ. Сегодня перевозка нефтеналивных грузов также демонстрирует уникальные логистические схемы поставок. Например, «Газпром нефть» создана транспортно-технологическая система круглогодичной транспортировки нефти с Новопортовского месторождения, расположенного на полуострове Ямал. Основным элементом данной системы – терминал «Ворота Арктики», установленный в акватории Обской губы [9]. Это единственный в мире нефтеналивной терминал, работающий в пресных водах и сложных ледовых условиях. На старте реализации проекта рассматривались 12 вариантов отправки нефти, включая отгрузку железнодорожным транспортом и по напорному трубопроводу. Доставка углеводородов по Северному морскому пути оказалась самым эффективным вариантом, позволившим приступить к освоению месторождения, открытого еще в начале 1960-х годов. Система управления арктической логистикой «Газпром нефть» ежедневно обрабатывает около 7 тыс. входных параметров и выдает оптимальные логистические решения, просчитывая более 1 млн возможных вариантов и оперативно реагируя на возможные отклонения. За последние шесть лет несколько крупных нефтеперерабатывающих заводов (Киришский, Волгоградский, Самарская группа заводов) были подключены к системе магистральных нефтепродуктопроводов «Транснефть» (рисунок 5).

Такой опыт организации перевозок нефтеналивных грузов в период военных событий, а также исследование схем транспортировки нефтеналивных грузов в транспортно-логистических системах в историческом разрезе дает представление об уникальности отдельных способов доставки.



Рисунок 5 – Терминал «Ворота Арктики»

Благодаря подвигу нефтяников и моряков было налажено снабжение фронта через Каспий, направления Баку – Красноводск и Баку – Астрахань. Уже с первых дней Великой Отечественной войны нефтяной Баку бесперебойно снабжал фронт нефтью и нефтепродуктами. Современное развитие логистики, технологий, инфраструктуры при поставках нефтегрузов демонстрирует совершенно другой уровень промышленной и экологической безопасности, использования современных транспортно-технологических систем транспортировки нефти, получивших развитие за счет расширения и освоения логистического инструментария и принципов логистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чеботарева, Е. А. Теория и методология организации транспортного производства в припортовых транспортно-технологических системах : [монография] / Е. А. Чеботарева. – Ростов н/Д : РГУПС, 2020. – С. 257–267.
- 2 Сергеева, О. М. Логистизация перевозок нефти и нефтепродуктов на железнодорожном и морском транспорте : дис. ... канд. экон. наук / О. М. Сергеева. – Самара, 2004. – 141 с.
- 3 Анненков, А. В. Оптимизация перевозок нефтеналивных грузов на железнодорожном транспорте : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Анненков. – М., 1998. – 161 с.
- 4 Калущин, А. А. Управление потоками экспортных нефтегрузов в смешанном сообщении : дис. ... канд. экон. наук / А. А. Калущин. – 2001. – 180 с.
- 5 Егоров, А. Б. Инновационные подходы к оптимизации перевозки нефти и нефтепродуктов в смешанных сообщениях : дис. ... канд. экон. наук / А. Б. Егоров. – М., 2005. – 160 с.
- 6 Житинев, П. Ю. Анализ влияния постпандемийного кризиса на рынок железнодорожных перевозок нефтеналивных грузов / П. Ю. Житинев, Н. А. Журавлева // Экономические науки. – 2020. – № 8 (189). – С. 28–36.

7 Хусаинов, Ф. И. Перевозки угля и нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом: текущее состояние и перспективы / Ф. И. Хусаинов, М. В. Ожерельева // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4 (83). – С. 22–27.

8 Агарунов, Я. М. Нефть и победа (Героические свершения азербайджанских нефтяников в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.) / Я. М. Агарунов. – Баку : Абилов, Зейналов и сыновья, 2010. – 160 с.

9 Куренков, П. В. Логистика перевозки нефтеналивных грузов: исторические аспекты полимодальных транспортных систем / П. В. Куренков, Е. А. Чеботарева, И. А. Солоп // Логистика. – 2021. – № 3. – С. 42–45.

P. V. KURENKOV, I. A. SOLOP, E. A. CHEBOTAREVA

UNIQUE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SCHEMES FOR TRANSPORTING OIL PRODUCTS DURING THE GREAT PATRIOTIC WAR

The article examines unique schemes for transporting bulk cargo during the war, which served as experience for the further effective development of polymodal transportation using several types of transport.

Получено 18.10.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 654.6.4

LIU KANGNI

Guangzhou Railway Polytechnic, Chinese People's Republic

RESEARCH ON THE AVERAGE MINIMUM HEADWAY OF NON-OVERTAKING SECTIONS IN HIGH-SPEED RAILWAYS

With the formation of the high-speed railway network, the capacity of some sections of the high-speed railway trunk line tends to be saturated. The traditional calculation method of capacity deduction coefficient can no longer truly reflect the utilization of line capacity, and its unsuitability is becoming increasingly prominent. The average minimum train interval calculation method is a dynamic capacity calculation method that considers a certain buffer time, which can better reflect the objective conditions and actual requirements of railway capacity. Based on the analysis of the calculation characteristics of China's high-speed railway capacity, this article derives a method for calculating the average minimum train interval time suitable for China's high-speed railway by analyzing the relationship between train interval time and station structure in the operating train set. Finally, taking the Changsha South to Hengyang East section of the Beijing – Guangzhou high-speed railway as an example, the peak hour capacity of the section is calculated under a certain buffer time.

With the rapid development of high-speed railways in China, the backbone network of high-speed railways has basically formed, and the sharp increase in passenger flow has led to the saturation of capacity in some sections of busy high-speed railways. At present, there are three commonly used methods for calculating railway capacity both domestically and internationally, namely computer simulation method, deduction coefficient method, and average minimum train interval method [1, 2]. The computer simulation method has the function of graphical analysis and calculation, but there are many feasible solutions drawn by computers, making it difficult to compare and optimize [3]. The deduction coefficient method is a commonly used method for calculating the capacity of railways in China. This method is based on the capacity of parallel running trains and calculates the deduction coefficients of different types of trains to determine the capacity of non parallel running trains.

However, the deduction coefficient method calculates the capacity of tightly drawn full trains, and the calculation results are rigid and cannot truly reflect the utilization of high-speed railway capacity. The average minimum train interval method commonly used in Germany and Western European countries emphasizes the requirements for the quality of train operation work. Based on the analysis of the structural relationship between train operating lines, this method considers the elastic capacity calculation method with a certain buffer time. In principle, this method can accurately calculate the utilization of high-speed railway capacity in China and effectively improve the quality of operation services. Given that the method of using intervals as the unit of capacity calculation in foreign countries is not applicable to the passenger transport characteristics of high-speed railway sections in China, we urgently need to use the principle of this method to study the minimum train interval time of high-speed railway sections, so as to make it applicable to the average minimum train interval time capacity calculation method of high-speed railway in China.

Zhao Dong and Hu Siji [6] developed a new method for calculating the capacity of high-speed railways based on the principle of calculating the average minimum train interval time. However, the minimum train interval time is still calculated based on intervals and does not reflect the characteristics of passenger flow sections in high-speed railway capacity. Wu Xu, Cui Yanping, and others [7] analyzed the average minimum train interval time of high-speed railway sections without overtaking, but only analyzed the partial stopping structure of the operating train group, and did not obtain the average minimum train interval time of the operating train group under any universal stopping structure.

Chen Weidong [8] compared and analyzed the applicability of the average minimum train interval method in mixed passenger and freight railways, high-speed railways, etc. The calculation of minimum train interval time is still based on intervals. In summary, the current analysis of the calculation method for the average minimum tracking interval time capability is mainly based on the interval average minimum train interval time, which cannot adapt to the characteristics of high-speed railway passenger flow sections, resulting in weak practicality of this

method. The calculation of the interval average minimum train interval time is influenced by various factors such as train stop structure, train type, and number of intermediate stations. In the past, qualitative analysis was mainly used, and mathematical methods cannot be quantitatively described.

This article starts from the high-speed railway section without crossing, analyzes the stopping structure of the running train set, and obtains the calculation method of the average minimum interval time of the high-speed railway section. It significantly improves the applicability of the average minimum interval time calculation method in calculating the capacity of high-speed railways, and has important significance for the market-oriented development of high-speed railways in China.

If two adjacent tracking trains are taken as the basic structural units of the train running diagram and defined as running train groups, the train running diagram can be seen as composed of the running lines of several running train groups. The time that a train occupies a high-speed railway section during its operation includes the running time of the train in the section, the time for stopping at intermediate stations to handle passenger technical operations, and the additional time for starting and stopping (referred to as stopping time after merging the latter two items) [7].

The minimum interval time I between trains in an average section refers to the minimum interval time during which two trains of a running train set operate in the same section without interfering with each other. For high-speed railway sections that operate trains of the same type, the average minimum train interval time can be taken as the tracking train interval time [9].

Based on the experience of Western European countries, assuming that high-speed railway sections run two types of trains, A and B, as shown in Figure 1, there are four forms of train composition in the section. The calculation method for the average minimum train interval time in the section is as follows:

$$\bar{I} = \frac{I_{AA}n_{AA} + I_{AB}n_{AB} + I_{BA}n_{BA} + I_{BB}n_{BB}}{n_{AA} + n_{AB} + n_{BA} + n_{BB}}. \quad (1)$$

In the formula I – average minimum train interval time; I_{AA} , I_{AB} , I_{BA} , I_{BB} – minimum train interval time for different types of operating train sets; n_{AA} , n_{AB} , n_{BA} , n_{BB} – the number of different types of train sets operating (Figure 1).

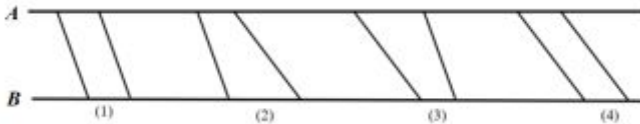


Figure 1 – Schematic Diagram of Train Operation Intervals

When calculating the minimum train interval time by section, let the number of stations in the high-speed railway section be M (including stations at both ends of the section) and the number of trains be N . The running train set is represented

by the symbol Y , and Y_j represents the running train set composed of the j th train and the $(j + 1)$ train. Therefore, N trains form a total of $N - 1$ running train sets. The interval time of the j -th running train set at station i is represented by the symbol I_{ij} . The high-speed railway section is composed of several sections, and the calculation method for the average minimum train interval time of the running train set Y_j is as follows:

$$\bar{I}_j = \frac{\sum_{i=1}^M I_{ij}}{M}. \quad (2)$$

In the formula $\bar{I}_j$ —the average minimum train interval time of the j -th running train set. The calculation method for the average minimum train interval time of a section composed of $N - 1$ running train sets in a high-speed railway section without overtaking is as follows:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} I_{ij}}{M \times (N - 1)}. \quad (3)$$

For high-speed railway sections with existing or referenced train schedules, the compressed train schedule method can be used to obtain a compact train schedule. Then, the interval time between each train group at different stations can be calculated, and formula (3) can be used to obtain the average minimum train interval time in the section.

For sections without running diagram references, due to the lack of interval time data, it is not possible to directly calculate the average minimum train interval time. Therefore, the next focus is on analyzing the relationship between train stopping structure and interval time, in order to obtain a calculation method for the average minimum train interval time of sections under universal conditions.

Due to the current high-speed railway in China mainly adopting the transportation organization mode of high-speed offline, for the convenience of research, the scope of this article is limited to the problem of the average minimum train interval time in high-speed railway passenger flow sections with full high-speed and no overtaking.

The compressed running diagram method compresses the excess interval time that can be removed between the train running lines in the running diagram to obtain the compressed running diagram with the smallest interval between each running line. Therefore, the compressed running train set must meet the minimum tracking interval time in a certain section or station, and cannot be further compressed.

The minimum tracking interval time of the compressed running train set is represented by $I_{\min}$, and the stopping situation of the train is represented by the matrix $X = [x_{ij}]_{M \times N}$, where $x_{ij} = 1$ indicates that the i -th train stops at the j -th station, and $x_{ij} = 0$ indicates that the i -th train passes through the j -th station.

The station dwell time is t_1 , the additional departure time is t_2 , and the additional parking time is t_3 . Usually, for every additional stop of the train, the running time of the train increases ($t_1 + t_2 + t_3$).

The train interval time refers to the time from the departure or passage of the first train of the operating train set from one end station of the section to the departure or passage of the second train of the operating train set from the same station or the other end station of the section [10]. According to the above definition, the departure (passing) interval between two trains in the j -th operating train set at the i -th station is I_{ij} . The interval time between $N - 1$ train sets in the running diagram is represented by the matrix $Q = [I_{ij}]_{M \times (N-1)}$.

The single stop structure refers to the situation where two trains in a running train group only make one stop within a section. Based on the relative position relationship between the stops of the preceding and following trains, the running train group can be divided into three categories (Figure 2).

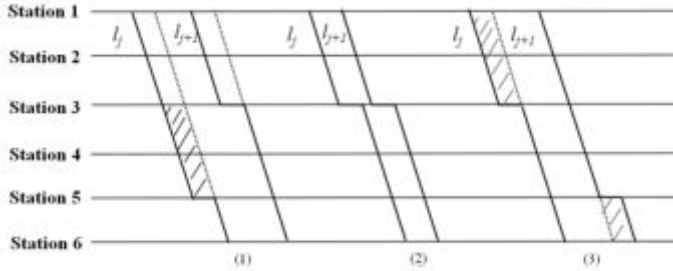


Figure 2 – Interval Time hart for Trains in a Single Station Structure Unit

As shown in Figure 2, the following train stops at the rear station of the preceding train, that is, the stopping method of passing far and passing stops is adopted. The interval time of the running train set at stations 1, 2, 5, and 6 is still the minimum interval time $I_{\min}$, but the interval time at stations 3 and 4 increases ($t_1 + t_2 + t_3$), as shown in the shaded area. Therefore, under this stopping structure, the interval time I_{ij} of the running train set Y_j at station i is:

$$I_{ij} = I_{\min} + \left(\sum_{k=i+1}^M x_{kj} - \sum_{k=i+1}^M x_{k(j+1)} \right) (t_1 + t_2 + t_3) I_{ij}. \quad (4)$$

Both trains in the running train set stop at the same station, and the train stop has no effect on the train interval time. That is, the interval time of the running train set at any station is $I_{\min}$. Therefore, under this stopping structure, the interval time I_{ij} of the running train set Y_j at station i is:

$$I_{ij} = I_{\min}. \quad (5)$$

The following train stops at the front station where the preceding train stops. The interval time $I_{\min}$ between the running train sets at stations 3 and 4 is still not the minimum interval time, and the interval time at stations 1, 2, 5, and 6 in-

creases $(t_1 + t_2 + t_3)$, as indicated by the shaded area. Therefore, under this stopping structure, the interval time I_{ij} of the running train set Y_j at station i is:

$$I_{ij} = I_{\min} + \left| \sum_{k=i+1}^M x_{ij} - \sum_{k=1}^i x_{k(j+1)} \right| (t_1 + t_2 + t_3). \quad (6)$$

For any running train set Y_j , usually train j and train $(j+1)$ may have several stops at M intermediate stations. The combination of stops in the two workshops of the running train set is numerous and complex, as shown in Figure 3. Therefore, in order to better analyze the relationship between the interval time of the running train set and the stop structure, the stop structure of the running train set is decomposed in the following way:

Using all trains passing through the section as the reference train, the departure time of the preceding reference train at the starting station is consistent with that of the preceding train, and the arrival time of the following reference train at the final station is consistent with that of the following reference train. The reference trains of the running train set meet the minimum tracking interval time $I_{\min}$ requirement, as shown in Figure 4. The departure time difference between the preceding (following) train and the reference train in the running train set is defined as the distance, represented by the symbol l . The distance between the j -th train and the reference train at station i is l_{ij} , and the distance between the $(j+1)$ -th train and the reference train at station i is $l_{i(j+1)}$. Every time the train stops at a station, the distance between the train and the reference train increases by $t_1 + t_2 + t_3$, which means adding one station stop time, additional departure time, and additional parking time.

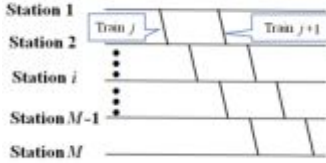


Figure 3 Schematic diagram of running train set

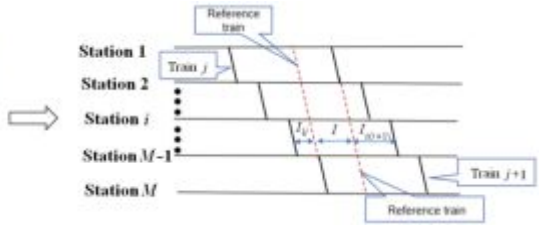


Figure 4 Schematic diagram of train set decomposition during operation

When the stopping structure $X = [x_{ij}]_{M \times 2}$ of the operating train set Y_j is known, according to the graph analysis, the distances l_{ij} and $l_{i(j+1)}$ between the j -th and $(j+1)$ -th trains of the operating train set and the reference train are:

$$l_{ij} = \sum_{k=i+1}^M x_{ij} (t_1 + t_3) + \sum_{k=1}^i x_{ij} t_2, \quad (7)$$

$$l_{i(j+1)} = \sum_{k=2}^i x_{ij} (t_1 + t_3) + \sum_{k=1}^{i-1} x_{ij} t_2. \quad (8)$$

For tightly drawn train operation diagrams without buffer time, according to the idea of compressing the operation diagram, the decomposed operation train set is compressed. Therefore, the interval time between the two trains in the operation train set at a certain station must satisfy the minimum tracking interval time $I_{\min}$. Therefore, compressing the running train set in Figure 4 to $\min \{l_{ij} + l_{i(j+1)}\}$ yields Figure 3, which includes:

$$I_{ij} = l_{ij} + I_{\min} + l_{i(j+1)} - \min \{l_{ij} + l_{i(j+1)}\}, \quad (9)$$

where $i \rightarrow [1, 2, 3, \dots M]$.

According to whether there is an actual train schedule reference, the calculation of the average minimum train interval time can be divided into the schedule related method and the schedule unrelated method.

Referring to the actual train operation diagram, the stopping matrix X of the train can be obtained. According to formulas (7), (8), and (9), the interval time I_{ij} of any running train group can be calculated. Therefore, the average minimum train interval in the passenger flow section is:

$$\bar{I} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} \frac{I_{ij}}{M \times (N-1)}. \quad (10)$$

Due to the lack of actual train operation diagram reference, the stopping matrix of the train is constructed from a probabilistic perspective. Assuming that the stopping rate of each station is represented by the symbol R , where R_i is the stopping rate of station i , the probability of any train stopping at station i ($x_{ij} = 1$) is R_i , and the probability of passing through station i ($x_{ij} = 0$) is $(1 - R_i)$.

For a single train j , there are two states at station i : stopping ($x_{ij} = 1$) and passing ($x_{ij} = 0$). Train j has a total of 2^M stopping modes at M stations, and 2^M stopping matrices $[x_{ij}]_{M \times 1}$. For the operating train set Y_j , there are a total of $2^M \times 2^M = 4^M$ types of stopping structures, namely 4^M stopping matrices $[x_{ij}]_{M \times 2}$. The s -th stopping structure matrix of the running train set is represented by $[x_{ij}s]_{M \times 2}$, and the probability of the s -th stopping structure is represented by p_s . Therefore, we have

$$p_s = \prod_{i=1}^M [(x_{ij}^s R_i + (1 - x_{ij}^s)(1 - R_i)) (x_{i(j+1)}^s R_i + (1 - x_{i(j+1)}^s)(1 - R_i))]. \quad (11)$$

Due to the known s -th stopping structure $[x_{ij}s]_{M \times 2}$ of the running train set, the interval time I_{ijs} of the running train set Y_j at any station i can be calculated according to formulas (7), (8), and (9). Therefore, the average minimum train interval time of the running train set Y_j in the passenger flow section is:

$$\bar{I}_j = \sum_{s=1}^{4^M} \frac{p_s \sum_{i=1}^M I_{ijs}}{M}. \quad (12)$$

The average minimum interval time for high-speed railway sections is:

$$\bar{I} = \sum_{j=1}^{N-1} \frac{\bar{I}_j}{N-1}. \quad (13)$$

According to the principle of calculating the average minimum train interval time, the formula for calculating the capacity of railway sections is as follows:

$$N = \frac{T}{I + t_r}. \quad (14)$$

In the formula N calculates the passing capacity during the time period, pair/day; T calculation period, min; t_r – average necessary buffer time.

The Beijing – Guangzhou high-speed railway starts from Beijing West Station, passes through six provinces and cities including Beijing, Hebei, Henan, Hubei, Hunan, and Guangdong, and ends at Guangzhou South Station. It has a total length of 2298 kilometers and 36 stations, with a designed maximum speed of 350 kilometers per hour and an operating speed of 300 kilometers per hour. According to the train schedule data for the third quarter of 2023, the Changsha South to Hengyang East section of the Beijing – Guangzhou high-speed railway is the busiest section of the line, with 137 pairs of trains running per day. Taking the downward direction during the morning rush hour from 8:00 to 10:00 as an example, there are four stations in the section: Changsha South, Zhuzhou West, Hengshan West, and Hengyang East.

According to the train schedule, a total of 17 trains were operated between 8:00 and 10:00. The 4×17 train stopping structure matrix X can be obtained as follows:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

According to the current operation status of the Beijing – Guangzhou high-speed railway, the train tracking interval is 4 minutes, the additional time for starting is 2 minutes, and the additional time for stopping is 3 minutes. According to formulas (7), (8), and (9), use MATLAB software to calculate the interval time matrix Q of the 16 running train sets in the running diagram:

$$Q = \begin{bmatrix} 4 & 11 & 4 & 4 & 11 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 9 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & 11 & 4 & 4 & 6 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 9 & 4 & 4 & 4 & 9 \\ 9 & 6 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 9 & 4 & 4 & 9 & 6 \\ 11 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 9 & 4 & 6 & 4 \end{bmatrix}.$$

According to formula (5), the average minimum train interval time can be calculated as $I = 327 / (16 \cdot 4) = 5,1$ minutes. According to relevant research [5] and foreign high-speed railway operation experience, in order to ensure the quality of busy high-speed railway transportation services, the allowable total delay time should not exceed 160 minutes, and the buffer time is 1,5 minutes. Accord-

ing to formula (14), the peak hour capacity of the Changsha South to Hengyang East section of the Beijing – Guangzhou high-speed railway can be calculated as 9 pairs/h. During peak hours, a total of 17 high-speed trains were operated in the downward direction of the timetable, with a capacity utilization rate of 95 % during peak hours, reflecting the current tight capacity utilization in this section during peak hours.

On the basis of analyzing the characteristics of China's high-speed railway capacity, this article derives a formula for calculating the average minimum train interval time of high-speed railways by analyzing the relationship between the stopping structure of operating train sets within the section and the train interval time. Based on the reference of actual train operation diagrams, two types of average minimum train interval times, namely the operation diagram correlation method and the operation diagram non correlation method, are obtained. Finally, taking the Changsha South to Hengyang East section of the Beijing – Guangzhou high-speed railway as an example, according to the existing train operation diagram structure, the peak hour capacity of the section is calculated as 9 pairs/h using the average minimum train interval time method. This article focuses on the calculation of the average minimum train interval time in high-speed railway passenger flow sections, providing the possibility of using the average minimum train interval time method to calculate the capacity of high-speed railway sections. It is of great significance for adapting to the market-oriented development of high-speed railways in China and improving the quality of transportation services.

REFERENCES

- 1 Luo, S. Research on the average minimum train interval time in non crossing sections of high-speed railways / S. Luo, X. Jian, T. Feng. – Comprehensive Transportation, 2024. – P. 89–94.
- 2 Li, M. High-speed Railway Carrying Capacity Calculation Method / M. Li, S. Ni, D. Chen // Journal of Transportation Engineering and Information. – 2016. No. 14 (1). – P. 19–24.
- 3 Duan, J. Research on Improvement of Calculation Method for High speed Railway Capacity / J. Duan. – Chengdu : Southwest Jiaotong University, 2012. – P. 3–12.
- 4 Leeuw, F. The Concept of Capacity / F. Leeuw // Publications of the American Statistical Association. – 1962. – P. 826–840.
- 5 Peng, Q. Organization of Passenger Dedicated Line Transportation / Q. Peng. – Beijing : Science Press, 2007. – P. 272–279.
- 6 Zhao, D. Research on a new method for calculating the capacity of high-speed railway passenger flow sections / D. Zhao, S. Hu // Journal of Railway. – 2018. – No. 40 (9). – P. 6.
- 7 Wu, X. Calculation method for capacity of high-speed railway without crossing sections / X. Wu, Y. Cui, S. Hu. – China Railway Science. – 2015. – No. 36 (5). – P. 6.
- 8 Chen, W. Study on the Applicability of the Average Minimum Train Interval Calculation Method / W. Chen. – Chengdu : Southwest Jiaotong University, 2017. – P. 3–28.
- 9 Li, Z. Research on Capacity Optimization of Harbin Dalian High speed Railway / Z. Li, N. He // Integrated operation Lost. – 2021. – No. 43 (10). – P. 27–33.
- 10 Peng, Q. Railway Operation Organization / Q. Peng, C. Wang. – Beijing : China Railway Press, 2015. – P. 231–262.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ БЕЗ ОБГОНА

Традиционный метод расчета коэффициента съема пропускной способности не позволяет корректно определять расчетные значения на высокоскоростной железной дороге. Предлагаемый метод расчета минимального интервала движения поездов представляет собой динамический прием расчета пропускной способности, который учитывает дополнительное время, что отражает объективные условия и фактические требования к наличной пропускной способности участка. На основе анализа расчетных характеристик высокоскоростной железной дороги производится расчет минимального интервала движения между поездами путем анализа взаимосвязи между интервалом движения поездов и конкретными станциями участка. В качестве примера приводится участок Чанша-Южный – Хэньян-Восточный высокоскоростной железной дороги Пекин – Гуанчжоу.

Получено 28.10.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 629.4-599

В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ, К. А. СКОПЕЦ, Д. Д. ГОРДЕЙКО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
uer@bsut.by, pgsergey2006@yandex.by, karina_skopec28@mail.ru,
dashagordeiko76@gmail.com

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПАРКАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА

Рассмотрены современные системы закрепления и их преимущества перед традиционными. Изучены технические особенности механических устройств и возможности применения на различных объектах железнодорожной инфраструктуры. При расчете потребного количества закрепляющих устройств учитывались структура и масса составов грузовых поездов, уклоны путей, ветровая нагрузка и другие параметры, влияющие на безопасность применения механических закрепляющих устройств. На основе ТЭО установлено рациональное количество и расположение закрепляющих устройств для обеспечения безопасности движения поездов в различных условиях.

Несанкционированное движение подвижного состава – один из наиболее опасных видов нарушений безопасности перевозок, основной причиной которого является нарушение технологии процесса закрепления. В настоящее время проводятся работы по стандартизации процесса закрепления, контролю над его выполнением и внедрению различных технических средств, предназначенных для автоматизации и снижения влияния человеческого фактора.

Для повышения безопасности технологических процессов и достижения ряда значимых эффектов целесообразно применение современных технических средств закрепления и удержания подвижного состава на парковых путях станций, позволяющих вывести работников, непосредственно связанных с движением поездов, из травмоопасной зоны и автоматизировать процесс закрепления составов и вагонов, ускорить выполнение технологических операций на станциях, сократить простой подвижного состава [2, 4].

В настоящее время применяются различные механические устройства закрепления, позволяющие автоматизировать этот процесс: упор тормозной стационарный «УТС-380» и его модификации УТС(1)-380, УТСП-380, УТС-1-160. Также используются устройства закрепления составов УЗС-280, УЗС 86Р (РК) системы Н. И. Пачеса; балочные заграждающие устройства различных типов, например, «БЗУ-ДУ-СП2К»; фрикционно-рельсовые устройства нажимного действия АСУ-ЗР-65; закрепляющие устройства балочные рычажные «ЗУБР» для приемо-отправочных путей станций; устройства весовые удерживающие «УВУ»; домкратовидные устройства закрепления и другие [2].

Устройство «ЗУБР» предназначено для закрепления составов на приемо-отправочных путях, где нет риска выдавливания легких вагонов при закреплении, что позволило повысить усилие удержания. Оно разработано на основе «БЗУ-ДУ-СП2К».

В настоящее время проходит эксплуатационные испытания клещевидновесовое удерживающее гидравлическое устройство («УВУ»), разработанное Молодечненским электромеханическим заводом. Создаваемое усилие нажатия тормозных рельсов эквивалентно нагрузке колеса на ходовой рельс (до 150 кН), что позволяет предотвратить «выдавливание» колес вагонов из устройства при закреплении и обеспечить большее усилие удержания $F_{уд}$ [2].

Разработанный специалистами НПЦ «Промэлектроника» (РФ) комплекс технических средств автоматизированного закрепления подвижного состава (КТС АЗС) позволяет автоматизировать не только закрепление составов поездов на приемо-отправочных путях железнодорожных станций, но и процесс их прицельной остановки. Каждый из упоров обеспечивает возможность закрепления и удержания состава массой от 5 до 10 тыс. т на путях с уклоном от 0,006 до 0,003 соответственно [3]. Данное устройство находится в опытной эксплуатации на станции Билимбай Свердловской железной дороги Холдинга «РЖД».

Для определения объемов капитальных вложений в закупку и выполнение строительно-монтажных работ по установке удерживающих устройств

на путях парков станций необходимо надежно определять удерживающее усилие в фактических условиях нахождения подвижного состава с учетом действия различных факторов и парирования возможных рисков нарушения условий безопасности перевозочного процесса [1]. В самых неблагоприятных условиях для удержания состава на парковых путях станций, когда попутный ветер создает дополнительную движущую силу $\bar{f}_{\text{св}}$, способствующую сдвигу вагонов с места во время стоянки и их движению, выражение для определения удерживающего усилия $\bar{F}_{\text{уд}}$, кН, имеет вид

$$\bar{F}_{\text{уд}} \geq Q_{\text{бр}} g' (i_{\text{спр}} + \bar{f}_{\text{св}}) - \bar{w} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{бр}}$ – масса брутто состава (группы вагонов или отцепа), т; g' – коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии вагона с учетом инерции вращающихся частей колес, т. е. является поправкой на инерционность, м/с²; $i_{\text{спр}}$ – спрямленный уклон пути, ‰; $\bar{f}_{\text{св}}$ – удельная дополнительная движущая сила ветровой нагрузки, Н/кН; $\bar{w}$ – суммарное сопротивление движению состава на пути, Н/кН,

$$\bar{w} = \bar{w}_{\text{тр}} + \bar{w}_{\text{o}} + \bar{w}_{\text{кр}}, \quad (2)$$

$\bar{w}_{\text{тр}}$, $\bar{w}_{\text{o}}$, $\bar{w}_{\text{кр}}$ – соответственно удельное сопротивление движению при трогании с места, основное удельное сопротивление, от кривых участков пути. В неблагоприятных условиях для удержания подвижного состава $\bar{w}_{\text{кр}} = 0$.

Оценка величины коэффициента g' имеет важнейшее значение с момента формирования теории расчета сопротивлений, сил и динамики движения подвижного состава. В настоящее время рекомендуемое выражение для g' имеет вид

$$g' = g / [1 + (n/q)g(I'/R^2)]$$

или

$$g' = (g^2 p) / (gq + 4,2n) = g / (1 + (0,42n)/q), \quad (3)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; n – количество осей в отцепе; q – масса отцепа, т; I' – момент инерции колесной пары, кг·м²; R – радиус колеса, м. Однако в условиях постоянного совершенствования конструкции вагонов это выражение также видоизменяется. Так, в работе [5] при массе новой колесной пары $m_k^{\text{max}} = 1,85$ т приводится следующее выражение для g' :

$$g' = g / (1 + (m_k^{\text{max}} n) / 2q) \quad \text{или} \quad g' = g / (1 + (0,925n) / q). \quad (4)$$

С учетом износа колесных пар в процессе эксплуатации и уменьшения их массы [6], авторами предлагается использовать выражение для g' общего вида:

$$g' = g / [1 + (m_k^{\text{max}} - t_{\beta} \sigma_{\text{МК}}) n / 2q], \quad (5)$$

где t_β – параметр доверительной вероятности. Принимается $t_\beta = 1,5...3$; $\sigma_{мк}$ – среднеквадратическое отклонение массы колесной пары, изменяющейся в процессе эксплуатации.

Потребное удерживающее усилие с учетом вероятностного характера сил сопротивления движения и изменяющихся условий, кН:

$$F_{уд} \geq \bar{F}_{уд} + t_\beta \sigma_{\bar{F}_{уд}} \quad \text{или} \quad F_{уд} \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где σ_w – среднеквадратическое отклонение суммарного сопротивления движению состава относительно величины $\bar{w}$, Н/кН,

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\bar{w}_0}^2 + \sigma_{\bar{w}_{тр}}^2 + \sigma_{\bar{w}_{кр}}^2 + \sigma_{\bar{f}_{св}}^2}, \quad \text{при} \quad \sigma_{w_j} = \gamma_j \bar{w}_j, \quad (7)$$

$\sigma_{\bar{w}_0}, \sigma_{\bar{w}_{тр}}, \sigma_{\bar{w}_{кр}}, \sigma_{\bar{f}_{св}}$ – среднеквадратическое отклонение соответственно основного удельного сопротивления, сопротивления при трогании вагонов с места, от кривых участков пути и движущей силы ветра, Н/кН; γ_j – коэффициент вариации величин удельных движущей силы ветра и сопротивлений движению вагонов. Принимается $\gamma_0 = \gamma_{кр} = 0,1$; $\gamma_{тр} = 0,15$; $\gamma_{св} = 0,3$.

Количество устройств для закрепления и удержания состава на парковых путях определяется как

$$K_3 \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w) \cdot 10^{-3} / (F_{уд}^{устр} - t_\beta \sigma_{уд}), \quad (8)$$

где $F_{уд}^{устр}$ – удерживающее усилие в фактических условиях нахождения подвижного состава с учетом действия различных факторов, кН; $\sigma_{уд}$ – среднеквадратическое отклонение фактической величины усилия удержания устройства относительно его номинальной величины.

Существенное влияние на результаты расчетов потребного количества удерживающих устройств оказывает значение ветровой нагрузки и конструкция вагонов. Соответственно чем больше воздействие ветра, тем потребное количество удерживающих устройств будет больше, т. к. удельная дополнительная движущая сила от ветровой нагрузки

$$\bar{f}_{св} = (c v_p^2) / q, \quad (9)$$

где c – аэродинамический коэффициент,

$$c = (C_x \rho S) / 2, \quad (10)$$

C_x – коэффициент воздушного сопротивления вагонов (C_{xx} – для вагонов в сцепе, кроме головного),

$$C_x = C_0 e^{(d_1 \alpha - d_2 \alpha^2)}, \quad (11)$$

C_0, d_1, d_2 – угловые коэффициенты для различных родов вагонов, полученные в работах ВНИИЖТ [7] путем аппроксимации экспериментальных данных методом наименьших квадратов, радиан; α – угол между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения вагонов, градус; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ,

$$\rho = (0,04737P) / (273 + t^0), \quad (12)$$

P – атмосферное давление. Для средних условий принимается $P = 750$ мм рт. ст.; t^0 – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; S – площадь поперечного сечения вагона, м^2 ; v_p – скорость движения вагона с учетом направления ветра, м/с ; q – масса вагона, т.

Систематизация результатов экспериментальных работ различных авторов по определению коэффициентов воздушного сопротивления вагонов и, соответственно, удельного сопротивления движению от воздушной среды и ветра показала, что обладают наибольшим аэродинамическим сопротивлением с и, следовательно, в большей степени подвержены самопроизвольному сдвигу на станционных путях от ветровой нагрузки платформы, груженные контейнерами, и 8-осные полувагоны (в группе) в широком диапазоне углов обдувки ветром (0 – 62° в первом и 0 – 51° – во втором случае), а не вагоны-хопперы (рисунок 1).

В настоящее время объем перевозок грузов в контейнерах резко увеличился, постоянно возрастает также доля 8-осных полувагонов и цистерн в вагонном парке, что может неблагоприятно сказываться на условиях надежного удержания такого подвижного состава на железнодорожных путях, особенно в их неблагоприятном сочетании в структуре грузовых поездов.

Дополнительная движущая сила от ветра для состава поезда (группы вагонов или отцепы с двумя и более вагонами) с учетом выражений (10)–(12)

$$\bar{f}_{\text{св}} = \frac{17,8(C_{x1}S_1 + \sum_{j=2}^n C_{xj}S_j)}{(273 + t_p) \sum_{j=1}^n q_j} v_p^2, \quad (13)$$

где n – количество вагонов в составе поезда (группе или отцепе).

В соответствии с приведенными теоретическими положениями выполнены расчеты по определению потребного удерживающего усилия и количества устройств для условий существующих сортировочных станций М-С и М. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

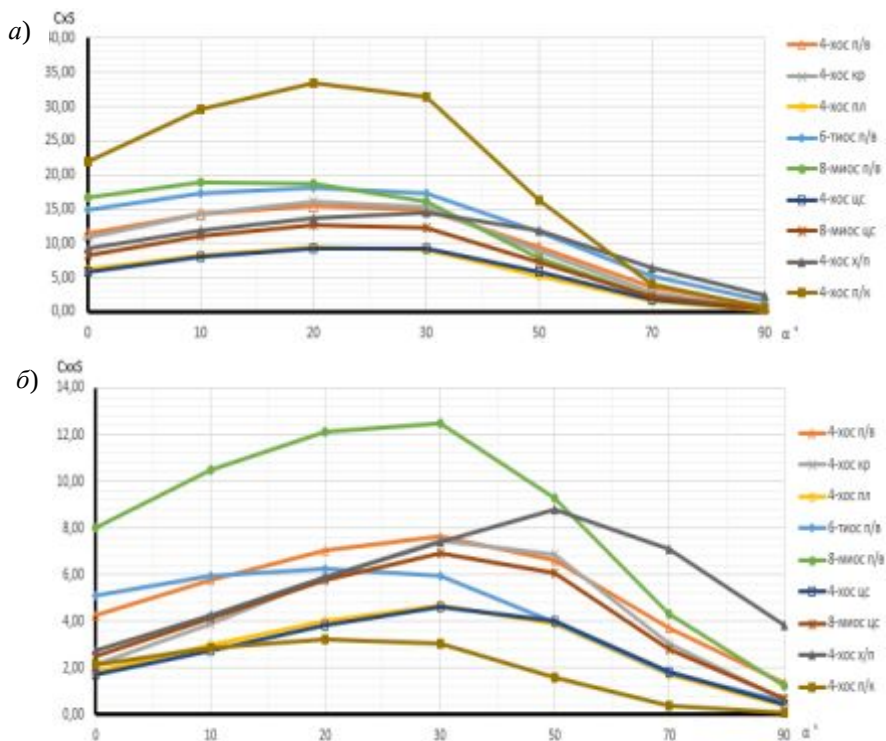


Рисунок 1 – Зависимость величин произведения $C_x S$ от угла α :
 а – для одиночных или головных вагонов в составе; б – для вагонов в сцепе,
 за исключением головных

Так, в результате расчетов получено, что потребное количество устройств, например «ЗУБР» ($F_{уд}^{устр} = 60$ кН), при $t_\beta = 1,65$ в парке станции М для путей № 40 а, 46, 53, 56 составляет по одному комплекту, для путей № 51, 53 – по два комплекта; в парке станции М-С для путей № 32, 34–36, IV а – один комплект, для путей № 31, 33 – два комплекта. Таким образом, на каждом пути приемо-отправочного парка потребуется не более одного-двух устройств. Однако решение об их установке во многом зависит от интенсивности использования тех или иных путей в парке и эффективности инвестиций.

Целесообразность применения механических устройств и автоматизированных систем закрепления подвижного состава устанавливается на основе решения технико-экономической задачи, принципиальная постановка которой заключается в следующем.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета потребного количества устройств закрепления

Исходные данные	
Приемо-отправочный парк железнодорожной станции М (6 путей)	Средняя масса брутто состава 4200 т; количество вагонов в составе 60 ваг.; средняя температура в летний период +24 °С; минимальная температура воздуха –29 °С; максимальная скорость ветра 15,0 м/с (порывы до 22 м/с); структура по роду вагонов в наиболее неблагоприятном сочетании состава грузового поезда: 4-осные платформы с контейнерами (15 вагонов), 8-осные полувагоны (15 вагонов), 4-осные цистерны (15 вагонов), 4-осные хопперы (15 вагонов)
Приемо-отправочный парк железнодорожной станции М-С (6 путей)	Средняя масса брутто состава 3096,5 т; количество вагонов в составе 56 ваг.; средняя температура в летний период +24 °С; минимальная температура воздуха –29 °С; максимальная скорость ветра 15,0 м/с (порывы до 22 м/с); структура по роду вагонов в наиболее неблагоприятном сочетании состава грузового поезда: 4-осные платформы с контейнерами (14 вагонов), 8-осные полувагоны (14 вагонов), 4-осные цистерны (14 вагонов), 4-осные хопперы (14 вагонов)

С увеличением количества устройств закрепления, устанавливаемых на станционных путях, возрастают приведенные затраты, связанные с проектированием и монтажом устройств, а также с содержанием новых устройств в процессе эксплуатации, но в то же время возникает эффект в сокращении простоя подвижного состава на станциях (вагоно-часы, локомотиво-часы) и задержек поездов (поездо-часы), вагонов на путях необщего пользования, следовательно, и эксплуатационных расходов, платежей. При больших размерах движения поездов, для железнодорожных путей на уклонах этот эффект будет проявляться значительней, а при малых размерах движения – в меньшей степени, или даже отсутствовать. Применяется также и комбинированный вариант – с использованием как существующей, так и прогрессивной технологии закрепления подвижного состава на станциях.

Технико-экономическая оценка заключается в определении таких показателей инвестиционного проекта, как капитальные вложения в модернизацию технического оснащения станции, закупку и установку необходимого оборудования; получаемая чистая прибыль; рентабельность инвестиций; срок окупаемости и период возврата инвестиций в системе дисконтирования и др.

Результаты расчета экономических показателей инвестиционного проекта для оценки эффективности установки до четырех устройств на приемо-отправочных путях парков сортировочных станций М и М-С приведены в таблице 2.

Инвестиции считаются эффективными, если период их возврата менее нормативной величины, обычно 10–12 лет, но этот период может соответствовать сроку службы оборудования. Окупаемость инвестиционного проекта достигается за счет экономии эксплуатационных расходов.

Таблица 2 – Расчетные экономические показатели инвестиционного проекта

Показатель	Расчетное выражение	Сортировочная станция	
		М	М-С
Капитальные вложения К, руб.	$K = C_{устр} n_{устр}$	1 200 000	
Экономия вагоно-часов,руб./сут	$\Delta \mathcal{E}_в = C_{в-ч} \Delta t m N_{сут}$	244,53	273,87
Средневзвешенное значение расходной ставки локомотиво-часов $C_{л-ч}^{cp}$, руб.	$C_{л-ч}^{cp} = ((C_{л-ч}^T + C_{б-ч}^T) N_T + (C_{л-ч}^{эл} + C_{б-ч}^{эл}) N_{эл}) / (N_T + N_{эл})$	78,86	79,43
Экономия локомотиво-часов $\Delta \mathcal{E}_л$, руб./сут	$\Delta \mathcal{E}_л = C_{л-ч}^{cp} \Delta t N_{сут}$	130,11	157,27
Сокращение годовых эксплуатационных расходов, связанных с экономией вагоно-часов простоя $\Delta \mathcal{E}'_в$, руб./год	$\Delta \mathcal{E}'_в = 365 \Delta \mathcal{E}_в$	89 253,45	99 963,86
Сокращение годовых эксплуатационных расходов, связанных с экономией локомотиво-часов простоя $\Delta \mathcal{E}'_л$, руб./год	$\Delta \mathcal{E}'_л = 365 \Delta \mathcal{E}_л$	47 493,03	57 404,06
Годовая норма амортизации H_A при $T_n = 15$ лет, %	$H_A = 100 / T_n$	6,67	
Амортизационные отчисления А, руб./год	$A = (H_A / 100) K$,	80 040	
Дополнительные эксплуатационные расходы (материалы, запасные части, электроэнергия) $\mathcal{E}_д$, руб./год	$\mathcal{E}_д = 0,015 K$	18 000	
Общая годовая экономия (доход) Д за вычетом $\mathcal{E}_д$, руб./год	$D = (\Delta \mathcal{E}'_в + \Delta \mathcal{E}'_л) + A - \mathcal{E}_д$	198 786,5	219 407,9

Экономия эксплуатационных расходов заключается в сокращении вагоно-и локомотиво-часов простоя Δt за счет уменьшения времени закрепления составов. Определяющими факторами этой экономии являются: величина Δt , размеры движения поездов и фактические условия работы станции (парка).

По результатам расчетов установлено (таблица 2), что для существующих сортировочных станций М и М-С ежегодный доход в случае реализации инвестиционного проекта достигает значимой величины даже при минимальном сокращении продолжительности установки и снятия средств закрепления подвижного состава $\Delta t = 2$ мин и максимальном количестве устройств. Для решения вопроса об установке этих устройств требуется оценка эффективности инвестиций, результаты которой приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение эффективности инвестиций в системе дисконтирования

Показатель	Расчетное выражение	Приемо-отправочный парк станции	
		М	М-С
Норматив дисконтирования E_n	При $T_n = 10 \dots 12$ лет	0,10	
Дисконтированные инвестиции ДИ, руб.	Формируются за счет экономии эксплуатационных расходов с учетом E_n	81 557,35	70 210,54
Чистый дисконтированный доход ЧДД в конце периода возврата инвестиций T_b , руб.	$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t} - K_n$	7 501,91	39 654,78
Срок окупаемости инвестиций $T_{ок}$, лет	$T_{ок} = K / Д$	5,29	5,47
Период возврата инвестиций T_b , лет	$T_b = T + (\text{ЧДД} / \text{ДИ})$	9,1	10,6

Итерационный расчет величины периода возврата инвестиций в системе дисконтирования выполняется до тех пор, пока не будет достигнуто условие $ДИ > 0$ (см. таблицу 3). Количество устройств в парке варьируется от минимальной потребной величины до максимальной возможной по условию экономической целесообразности при фиксированных размерах движения поездов (до четырех устройств). На основе анализа данных таблицы 3 можно отметить, что период возврата инвестиций напрямую зависит от суммарного количества механических устройств, которые могут быть установлены на путях парков. Так, в заданных условиях (см. таблицу 1) период возврата не превышает срока службы устройства (10–15 лет), соответственно, применение механических устройств на путях парков станций М и М-С эффективно. На рисунке 2 приведены зависимости рационального количества устройств от размеров движения поездов и от уклона пути при различной массе составов.

В соответствии с рисунком 2 можно определить рациональное количество механических устройств, которое потребуется при уклонах 1–2,5 ‰. При сравнении полученных результатов для условий существующих железнодорожных станций М и М-С оказалось, что установка устройств закрепления окупится быстрее на станции М-С. Это связано с большим поездопотоком, следующим с примыкающих направлений, при равных прочих условиях.

Таким образом, несмотря на значительную стоимость одного устройства (для УВУ, ЗУБР, БЗУ-ДУ-СП2К ориентировочно 300 тыс. рублей), применение механических устройств и на их основе автоматизированных средств закрепления подвижного состава может повысить безопасность и эффективность работы станции, сократить количество ошибок и ускорить технологические процессы за счет их механизации и автоматизации.

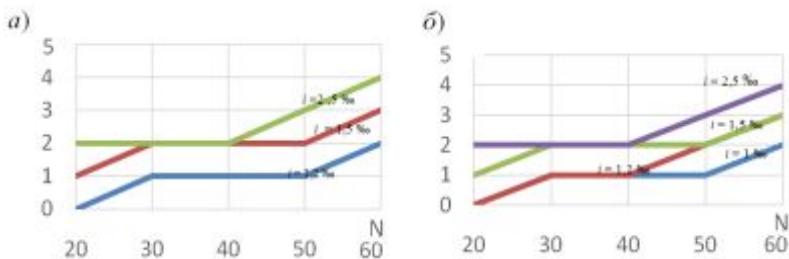


Рисунок 2 – Зависимость количества устройств закрепления в парках от размеров движения и уклона пути при средней массе составов: а – 4200 т; б – 3096,5 т

На основе проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы.

1 Апробация логико-вероятностных моделей расчета параметров систем закрепления и удержания подвижного состава на станционных путях для условий существующих станций позволила выявить ряд проблемных вопросов, связанных с оценкой величины удерживающего усилия и учетом рисков и вероятностного характера различных факторов. Оказалось, что требуемое количество устройств в парках сортировочных станций М и М-С не превышает 1–2 на отдельном пути. Там, где установка механических устройств не требуется, должна использоваться технология закрепления подвижного состава тормозными башмаками.

2 На основе технико-экономического обоснования определено рациональное количество устройств в парках станций с учетом изменения основных определяющих факторов: массы брутто состава, количества вагонов в составе, скорости ветра, структуры состава грузового поезда по роду вагонов, продолжительности закрепления составов, спрямленного уклона и других. Получены числовые зависимости рационального количества устройств от основных влияющих факторов. Так, при заданных условиях рациональное количество устройств составило до четырех комплектов. Рациональное количество устройств – это такое их количество, которое целесообразно использовать не только по технологическим требованиям и условиям обеспечения безопасности перевозочного процесса, но и экономической эффективности, т. е. когда достигается экономический эффект в системе дисконтирования при применении механических устройств.

3 Сравнительные результаты расчета экономической эффективности применения механических устройств и автоматизированных систем закрепления подвижного состава в системе дисконтирования показали, что период возврата инвестиций колеблется от 12 до 7 лет в зависимости от количества таких устройств, что соответствует нормативным требованиям и показывает экономическую целесообразность внедрения проектных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Негрей, В. Я. Логико-вероятностные модели расчета систем безопасности на железнодорожных станциях / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. под общ. ред. Л. А. Баранова. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – С. 600–606.

2 Негрей, В. Я. Совершенствование подходов к оценке безопасности сортировочных процессов при нахождении подвижного состава в парках сортировочных станций / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, В. П. Чаевский // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 49–51.

3 КТС АЗС. Новое слово в закреплении составов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.npcprom.ru/sites/default/files/kcfinder/files/%D0%9A%D0%A2%D0%A1%20%D0%90%D0%97%D0%A1.pdf>. – Дата доступа : 22.05.2023.

4 Негрей, В. Я. Развитие методологии оценки безопасности перевозочного процесса в проектах железнодорожных станций и узлов / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 46–47.

5 Смирнов, В. И. Динамические особенности скатывания вагонов с сортировочной горки / В. И. Смирнов, С. А. Видюшенков, А. С. Кухарев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – Вып. 2. – Т. 16. – СПб. : ПГУПС, 2019. – С. 11–18.

6 Пожидаев, С. А. Определение параметров расчетных бегунов при проектировании сортировочных горок с учетом изменения массы комплектующих частей вагонов и их фактического состояния / С. А. Пожидаев, Е. С. Киселевский // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. работ ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : Изд-во Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2019. – Вып. 18 – С. 88–96.

7 Соппротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок. / под ред. Е. А. Сотникова // Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М. : Транспорт, 1975. – Вып. 545. – 104 с.

V. Ja. NEGREJ, S. A. POZHIDAEV, K. A. SKOPEC, D. D. GORDEIKO

JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF USING TECHNICAL MEANS FOR SECURING ROLLING STOCK IN RAILWAY STATION PARKS AND INCREASING THE SAFETY OF THE TRANSPORTATION PROCESS

Modern securing systems and their advantages over traditional ones are considered. Technical features of mechanical devices and the possibilities of their application at various railway infrastructure facilities are studied. When calculating the required number of securing devices, the structure and weight of freight trains, track slopes, wind load and other parameters affecting the safety of using mechanical securing devices were taken into account. Based on the feasibility study, a rational number and location of securing devices was established to ensure the safety of train traffic in various conditions.

Получено 21.10.2024

УДК 656.222.6

Н. И. ОСИПОВ

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
N-I-Osipov@yandex.ru*

ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

Для оценки эффективности интервального регулирования движения поездов использовано многоподходное имитационное моделирование в среде AnyLogic. В разработанном комплексе имитационных моделей процессный метод определяет логику действий дежурного персонала во время движения поездов, агентный метод имитирует работу локомотивного хозяйства на участковой станции и выбор машинистом режима движения поезда. Системная динамика используется для тяговых расчетов. С целью определения возможности задействования авторского комплекса для принятия управленческих решений по развитию интервального регулирования проведена трехуровневая верификация и валидация на одном из железнодорожных направлений. В ходе тестирования были сопоставлены фактические и моделируемые величины ходовых, технических, участковых и маршрутных скоростей, а также нормативный и построенный по результатам моделирования графики работы участковой станции. Гипотеза о совпадении фактических и моделируемых значений по критериям Колмогорова – Смирнова и Манна – Уитни для части выборок принята только на уровне значимости 0,01. Для повышения точности комплекса требуется алгоритм динамического регулирования доли используемой силы тяги.

На современном этапе развития технологий имеет место наличие на рынке достаточного количества развитых сред и систем имитационного моделирования для воспроизведения процессов на железнодорожном транспорте [1]. Наиболее известными инструментами для поиска и ликвидации узких мест работы железнодорожных станций и линий являются комплексы ИСТРА, ИМЕТРА (обе разработки – ООО «Транспортный алгоритм»), МСУ (разработка НИИАС). Однако доступность данных комплексов ограничена вследствие их проприетарности. При этом имеет место возможность дополнения данных комплексов, которые реализуют дискретно-событийный подход, являющийся самым распространенным [2] на основе модулей, основанных на агентном моделировании и системной динамике для оптимизации архитектуры моделей [3] и получения результатов принципиально нового качества.

На современном этапе при принятии управленческих решений по развитию железнодорожных полигонов обязательным становится учет разгонов и замедлений поездов [4]. Одним из наиболее универсальных способов интеграции тяговых расчетов в оценку пропускной способности является аналитический [5]. Достоинством данного подхода является простота применения в сочетании с относительно высокой точностью, достаточной для ускоренного принятия решений высокого уровня абстракции. В то же время аналитические модели делают возможным анализ незначительного количества факторов.

Следующим уровнем детализации анализа тяговых расчетов является статистический метод, заключающийся в многократном воспроизведении функционирования реального объекта за определенный период с последующей обработкой полученных данных. В работе [6] на основании статистических данных о движении 105 поездов различной массы и длины по одному из существующих участков для прогнозирования ускорения поезда построена модель линейной регрессии, применение которой позволяет строить кривые скорости поезда.

Значительное развитие в последние годы получает метод нейросетевого моделирования тяговых расчетов. В работе [7] представлен метод построения регулятора движения поезда на основе искусственных нейронных сетей. Его достоинствами является непрерывная адаптация нейронной сети и возможность параллельного применения тысяч нейросетей для подбора наиболее подходящей для конкретного поезда. В то же время применение данного метода требует детального исследования основ нейросетевого моделирования для настройки модели.

В исследовании [8] для моделирования движения поезда на основе машинного обучения задействован относительно простой в понимании и интерпретации алгоритм случайного леса (Random Forest), при котором разрабатывается множество решающих деревьев с признаками «рёбер», определяющими значения целевой функции.

В рамках данного исследования предлагается альтернативный метод моделирования тяговых расчетов, основанный на концепции многоподходного моделирования. Наиболее сложной частью комплекса имитационных моделей является симуляция тяговых расчетов с задействованием элементов системной динамики. С помощью представленных на рисунке 1 взаимосвязей между накопителем, параметрами, табличными функциями, простыми и динамическими переменными методом Эйлера решается основное уравнение движения поезда и выполняется расчет тормозного пути методом интервалов скорости в соответствии Правилами [9].

Агентный подход моделирования применяется для выбора режимов движения поезда (тяга, холостой ход или торможение). Данная имитация в авторской модели осуществляется с помощью приведенной на рисунке 2 диаграммы состояний агента-поезда.

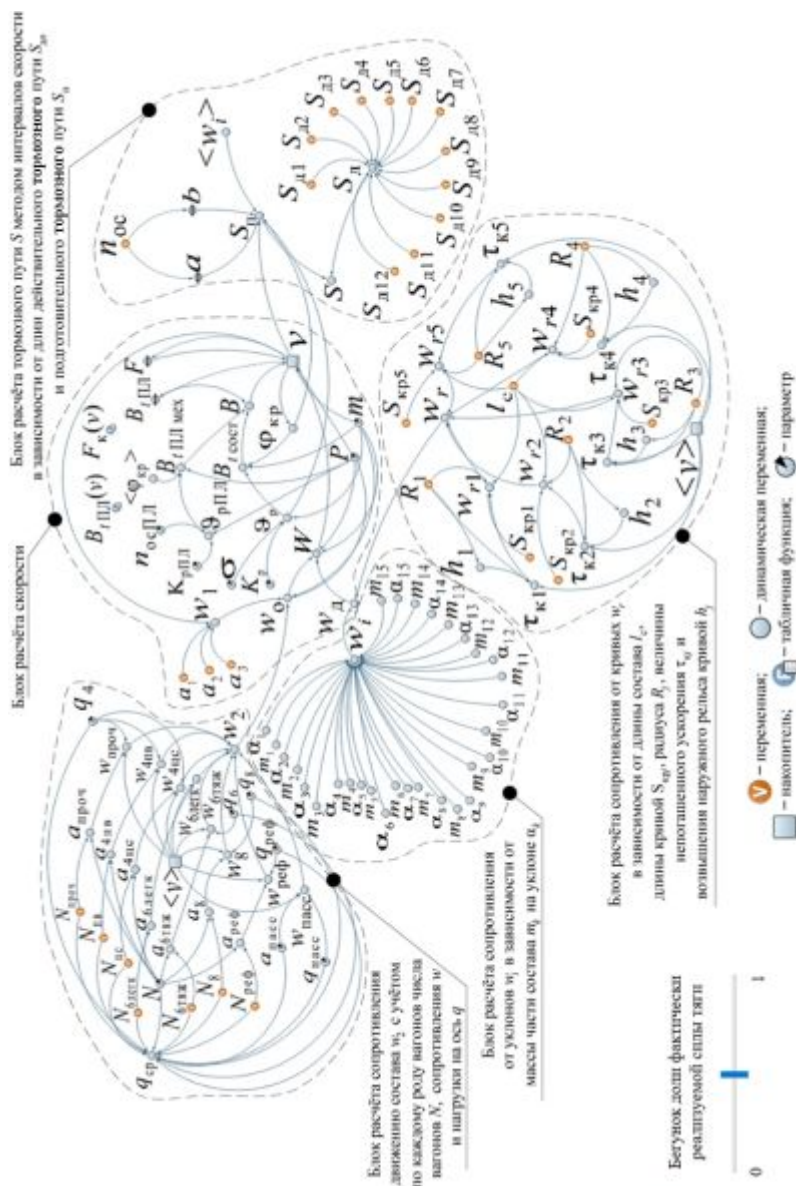


Рисунок 1 – Графическая интерпретация основного уравнения движения поезда в форме взаимосвязи элементов системной динамики

На основе функционирования перехода, имитирующего работу непрерывной локомотивной сигнализации (АЛСН) или многозначной локомотивной сигнализации (АЛСЕН) каждым поездом осуществляется доступ к коллекции «Блок-участки». В зависимости от состояния впередилежащих блок-участков (занят/свободен) для поезда устанавливается максимальная скорость движения.

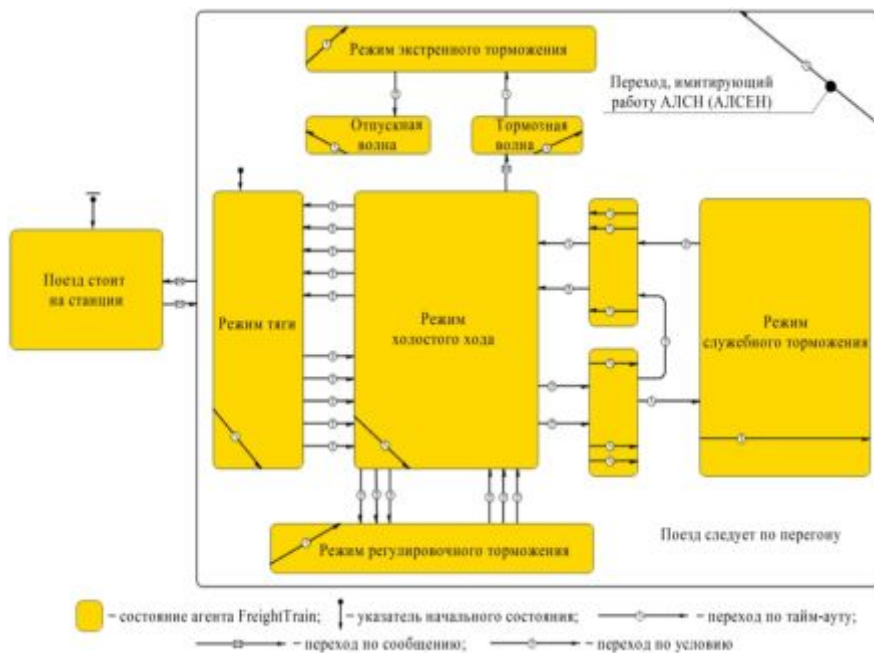


Рисунок 2 – Выбор режима движения поезда (агентное моделирование)

В рамках процессного подхода, потоковые диаграммы которого представлены на рисунке 3, пользователь разработанной модели принимает на себя роль поездного диспетчера и осуществляет принятие управленческих решений о продвижении поездопотока по направлению.

Для подтверждения возможности применения разработанного комплекса имитационных моделей для оценки эффективности интервального регулирования на однопутном направлении требуется проведение трехуровневых верификации и валидации, структура которых представлена на рисунке 4.

Для повышения степени доверия к результатам работы авторского комплекса имитационных моделей валидация ходовой скорости движения проведена для четырех различных сценариев, представленных в таблице 1.

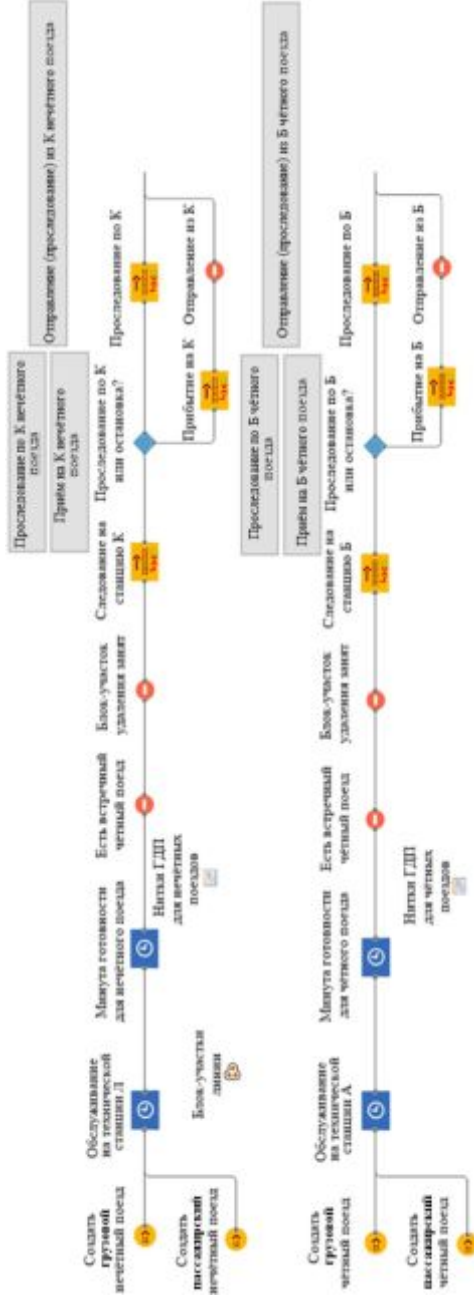


Рисунок 3 – Логика модели по пропуску поездов (процессный подход)



Рисунок 4 – Структура трехуровневой верификации и валидации

Таблица 1 – Сценарии для валидации при движении поезда по перегону

Номер сценария	Масса поезда, т	Количество осей, шт.	Наличие разгона	Наличие замедления
1	2927	236	Нет	Нет
2	3573	236	Да	Да
3	4437	220	Нет	Нет
4	2635	248	Да	Да

На рисунках 5–8 представлено сравнение ходовых, технических, участковых, маршрутных скоростей движения поездов фактических и полученных по результатам моделирования. Результаты трехуровневой валидации авторского комплекса моделей сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты трехуровневой валидации комплекса имитационных моделей

Перевозочный процесс	Сравниваемые параметры	Размер каждой выборки, ед.	Статистический критерий	Принятие при уровне значимости	
				0,01	0,05
На перегоне	Ходовая скорость (сценарий № 1)	136	Колмогорова – Смирнова	Да	Да
	Ходовая скорость (сценарий № 2)	209		Да	Нет
	Ходовая скорость (сценарий № 3)	174		Да	Нет
	Ходовая скорость (сценарий № 4)	192		Да	Да
На участке	Техническая скорость	60	Манна – Уитни	Да	Нет
	Участковая скорость	60	Манна – Уитни	Да	Да
На направлении	Маршрутная скорость	37	Манна – Уитни	Да	Да

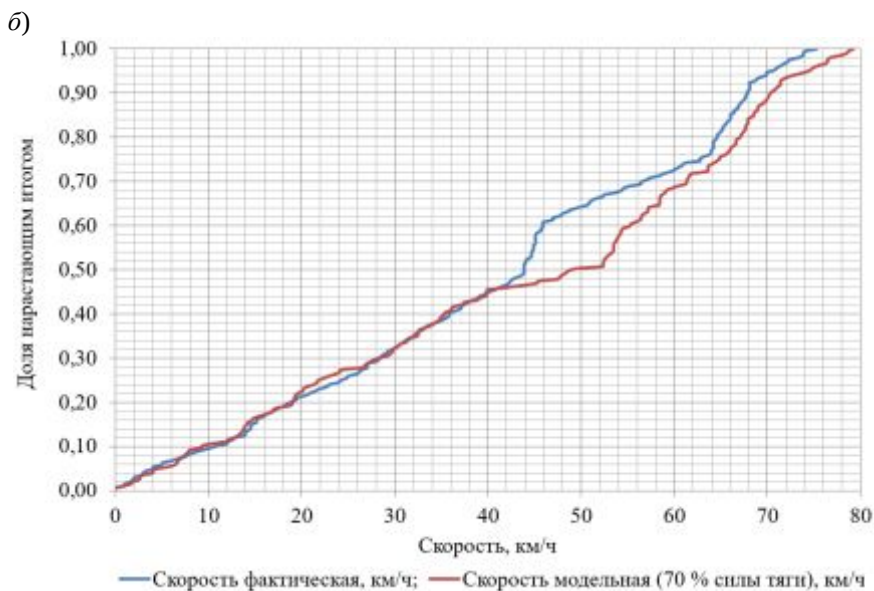
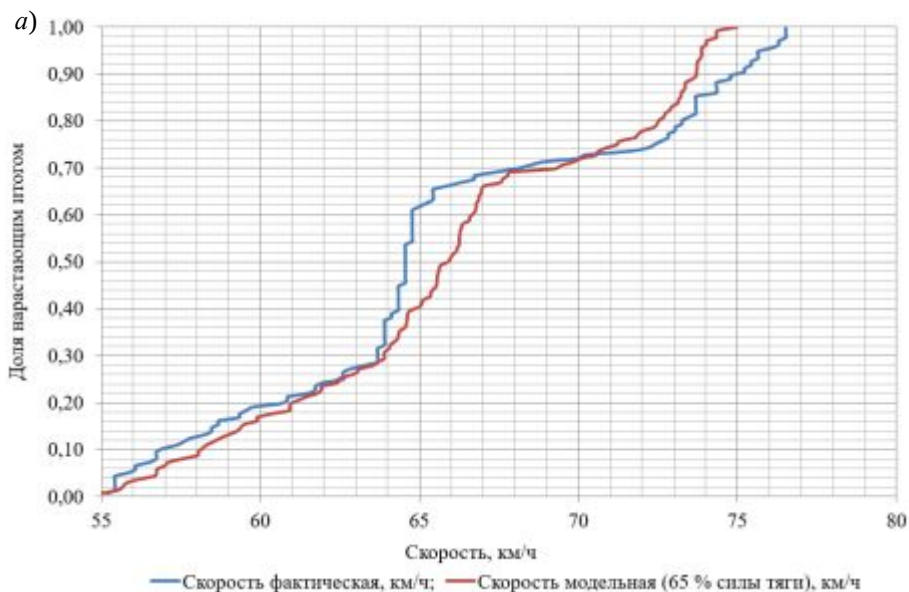


Рисунок 5 (начало) – Результаты фактического и моделируемого движения поезда по перегону: а – сценарий № 1, 65 % реализации силы тяги;
б – сценарий № 2, 70 % реализации силы тяги

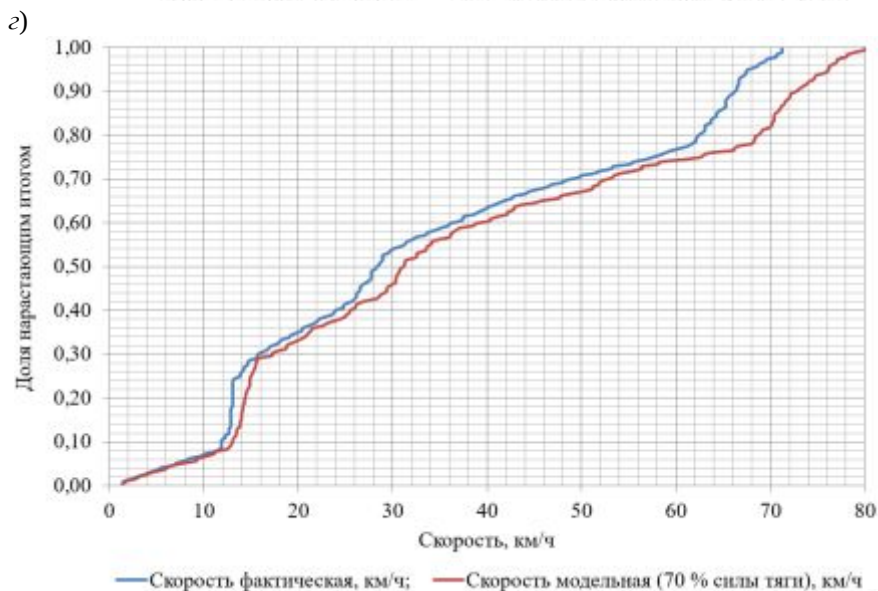
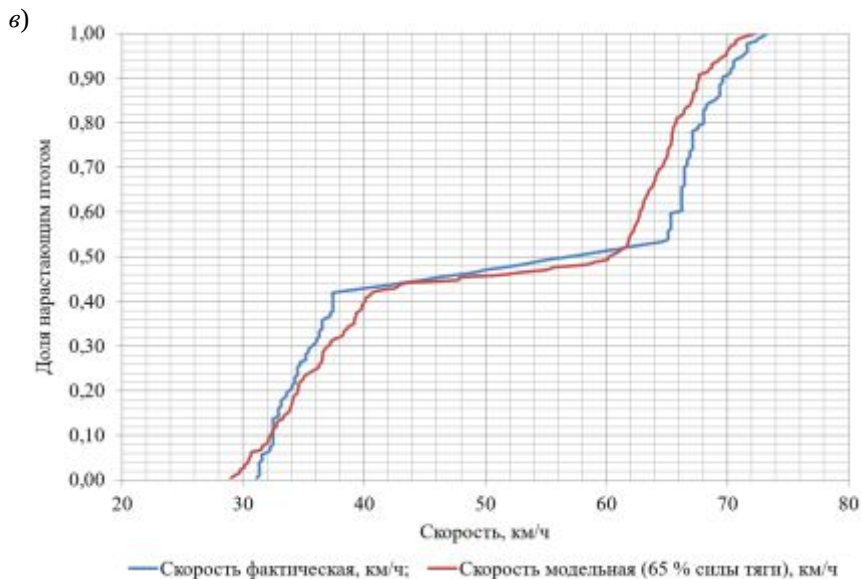


Рисунок 5 (окончание) – Результаты фактического и моделируемого движения поезда по перегону: 6 – сценарий № 3, 65 % реализации силы тяги;
2 – сценарий № 4, 70 % реализации силы тяги

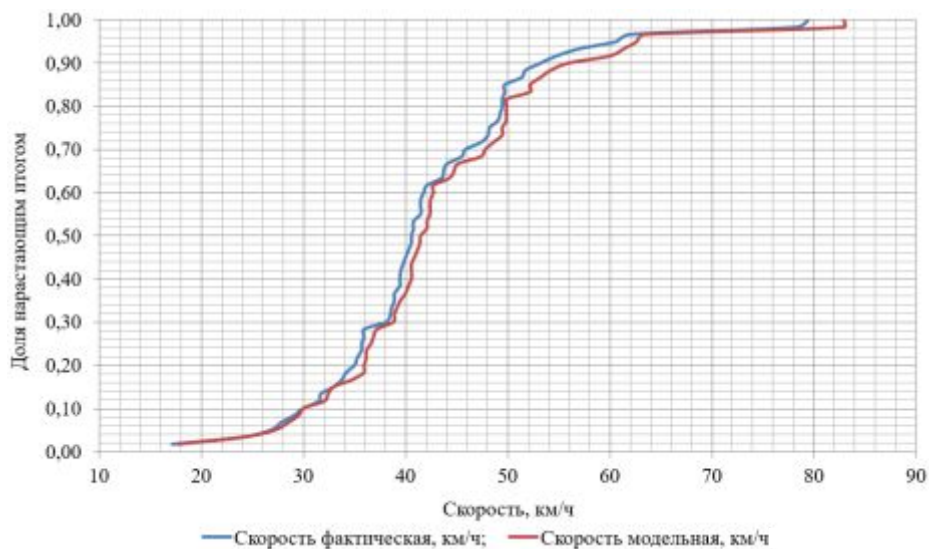


Рисунок 6 – Сравнение фактической и моделируемой участковых скоростей движения поездов по однопутному участку

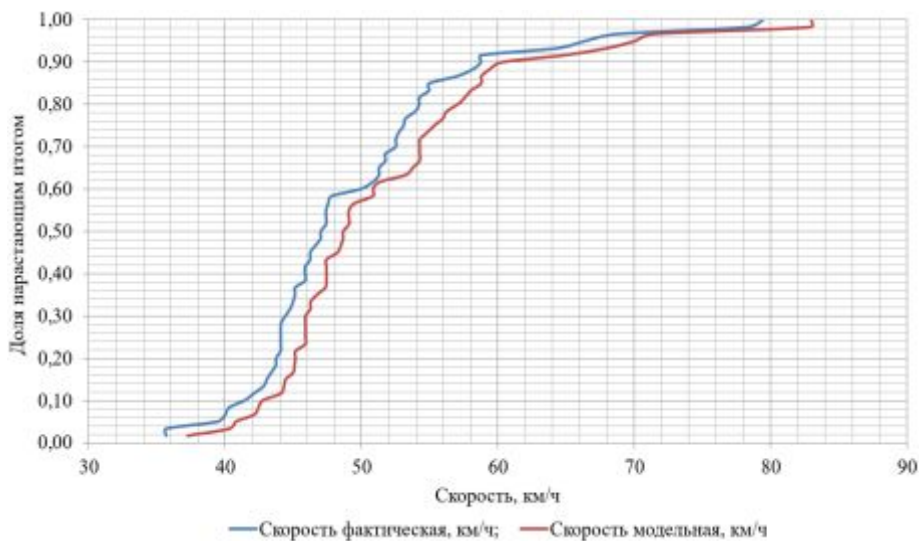


Рисунок 7 – Сравнение фактической и моделируемой технических скоростей движения поездов по однопутному участку

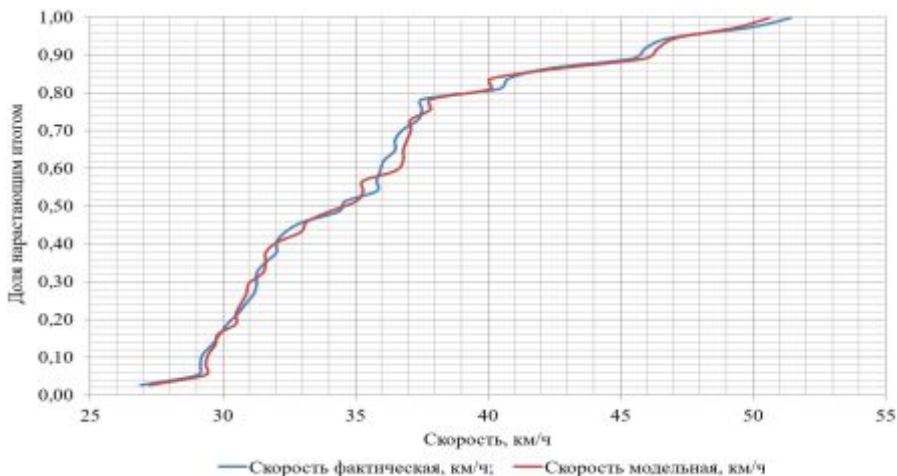


Рисунок 8 – Сравнение фактической и моделируемой маршрутной скорости движения поездов по однопутному направлению

Разработанный комплекс имитационных моделей способен воспроизводить перевозочный процесс на участке с достаточной степенью точности. При этом необходимо отметить, что вследствие сложности детальной имитации процесса следования поездов по перегонам эмпирическое значение критерия Манна – Уитни для выборок с технической скоростью существенно более близко к критическому его значению на уровне значимости 0,01 в сравнении с выборками с участковой скоростью. Данное обстоятельство объясняется возможностью введения поездов в график за счет изменения продолжительности стоянок на промежуточных станциях.

С целью проверки возможности имитации работы участковой станции с помощью авторского комплекса моделей воспроизведен нормативный суточный план-график ее работы. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод о возможности задействования данного комплекса для имитации работы участковой станции. При этом следует отметить, что при моделировании приемо-отправочный путь выбирается из путей на основе соответствия полезной длины пути длине поезда, а не задается вручную, что является причиной расхождения моделируемого плана-графика и нормативного в части порядка задействования приемо-отправочных путей станции.

Таким образом, главный результат исследования – возможность использования разработанного комплекса имитационных моделей, основой которого является многоподходное моделирование, для принятия управленческих решений по развитию интервального регулирования движения поездов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Осипов, Н. И. Применение имитационного моделирования для оценки влияния величины интервала прибытия поездов на работу станций стыкования родов тягово-

го тока / Н. И. Осипов // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. – 2022. – № 4 (7). – С. 16–22.

2 *Осипов, Н. И.* Имитационное моделирование тяговых расчетов как основа адекватной оценки эффективности интервального регулирования / Н. И. Осипов // Наука и молодежь XXI века : материалы Регион. форума. – Новосибирск : Сибирский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 41–47.

3 *Осипов, Н. И.* Многоподходное имитационное моделирование как основа качественной оценки эффективности интервального регулирования на однопутных линиях / Н. И. Осипов // Современные тенденции развития транспортной отрасли : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Нижний Новгород : Самарский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 112–118.

4 *Марченко, М. А.* Совершенствование аналитического метода расчета наличной пропускной способности с применением имитационного моделирования / М. А. Марченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 194–206.

5 *Марченко, М. А.* Математическая модель и способ расчета пропускной способности / М. А. Марченко // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 28–37.

6 *Голочалов, Н. С.* Повышение пропускной способности железных дорог за счет совершенствования работы устройств автоматики и телемеханики : дис. ... канд. техн. наук / Н. С. Голочалов. – Екатеринбург : УрГПУС, 2023. – 183 с.

7 *Малахов, С. В.* Метод построения адаптивного субоптимального стационарного регулятора движения поезда на основе искусственных нейронных сетей / С. В. Малахов, М. Ю. Капустин // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – № 1. – С. 13–19.

8 *Бушуев, С. В.* Моделирование движения поезда на основе применения статистических данных / С. В. Бушуев, Н. С. Голочалов // Инновационный транспорт. – 2024. – № 1 (51). – С. 52–57.

9 Распоряжение ОАО «РЖД» от 12.05.2016 г. № 867р «Об утверждении Правил тяговых расчетов для поездной работы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/557088840>. – Дата доступа : 25.10.24.

Н. И. OSIPOV

VERIFICATION AND VALIDATION OF SIMULATION MODELS COMPLEX FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF TRAIN INTERVAL CONTROL SYSTEMS

Multi-approach simulation modelling in AnyLogic environment was used to evaluate the efficiency of interval train control. In the developed complex of simulation models, the process method defines the logic of actions of on-duty personnel during train movement, the agent-based method simulates the operation of locomotive facilities at a section station and the driver's choice of train mode, and system dynamics is used for traction calculations. In order to determine the possibility of using the author's complex for making managerial decisions on the development of interval regulation, a three-level verification and validation was carried out on one of the railway lines. In the course of testing, actual and modelled values of running, technical, section and route speeds, as well as normative and modelled schedules of section station operation were compared. The hypothesis of coincidence of actual and modelled values by Kolmogorov-Smirnov and Mann-Whitney criteria for a part of samples is accepted only at the significance level of 0.01. To improve the accuracy of the complex, an algorithm of dynamic regulation share of the used traction force is required.

Получено 29.10.2024

УДК 656.029.4.004

В. А. ПАДАЛИЦА

ООО «Цифра-1520», г. Минск

pva1520@gmail.com

С. А. ТУМЕЛЬ

Международный технологический консорциум цифровизации цепей

поставок (МТК ЦЦП), г. Минск

tumel375@gmail.com

РАЗВИТИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ С ОПТИМИЗАЦИЕЙ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК В ПРОГРАММЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛОГИСТИКИ

Рассматривается возможность моделирования работы международных транспортных коридоров на цифровых аналогах, которые в динамическом режиме способны воспроизводить технологию обслуживания поездо-, вагоно- и грузопотоков на полном маршруте их зарождения, продвижения и погашения. Программа национальной системы электронной логистики должна использовать целый ряд информационных продуктов, обеспечивающих сопровождение реальных потоков цепей поставок товаров, перевозимых по международным транспортным коридорам. Экосистема цифрового транспортного коридора в этом отношении должна стать базовой платформой, обеспечивающей эффективность работы всей транспортно-логистической системы.

В Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг. запланирована разработка Цифровой транспортно-логистической платформы (ЦТЛП) как основы Национальной системы электронной логистики (НСЭЛ). Целевое назначение ЦТЛП состоит в создании механизма информационно-аналитической поддержки решения задач, поставленных в «Концепции развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2030 года», на основе цифровой трансформации транспортно-логистического сектора Беларуси.

Экспортно-ориентированная направленность белорусской экономики и негативная геополитическая ситуация определяют требования по транспортной связанности национальных экспортёров и импортёров с рынками стран «дальней дуги». Особую значимость для них представляют транспортные коридоры, интегрированные в международное торгово-экономическое пространство. Инструментом такой интеграции может быть «Экосистема цифровых транспортных коридоров» (ЭЦТК), разработка которой предусмотрена Цифровой повесткой ЕАЭС.

Национальная система электронной логистики (НСЭЛ) определяется как организованная в рамках национального законодательства совокупность программно-технических и телекоммуникационных средств, методов и стандартов, предназначенных для объединения национальных участников товародвижения в едином доверительном цифровом пространстве, создаваемом Интеграционной цифровой платформой НСЭЛ, с целью оптимизации доставки товаров до конечного потребителя и создания новых межотраслевых и международных цепочек поставок.

НСЭЛ должна разрабатываться как система эффективной реализации государственных проектов в сфере транспорта, направленных на достижение целей устойчивого развития экономики Республики Беларусь на основе цифровой трансформации её транспортно-логистического сектора.

Экономически эффективная реализация потенциала производственно-сервисных мощностей транспортно-логистического сектора может быть достигнута путём реализации коммерческих предложений белорусских производителей и поставщиков транспортно-логистических сервисов (перевозчиков всех видов транспорта, операторов объектов инфраструктуры и транспортных средств) на внутреннем и внешнем рынках товародвижения.

Учитывая экспортно-ориентированную направленность белорусской экономики, НСЭЛ должна обеспечить интеграцию национальных экспортёров и импортёров в международное экономическое пространство и взаимодействовать с аналогичными системами соседних стран. Кроме этого, необходимо взаимодействие НСЭЛ с системами транзитных стран, через которые пролегают транспортные коридоры и маршруты из Беларуси в страны, где находятся рынки сбыта белорусских товаров и рынки необходимых для Беларуси импортных товаров. Для организации такого взаимодействия необходимо создание международных систем, которые должны объединять и координировать взаимодействие национальных систем стран, по которым проходят транспортные коридоры. Такие системы называют «Экосистемами цифровых транспортных коридоров» (ЭЦТК).

Органичная связь НСЭЛ и ЭЦТК указывает на необходимость параллельной работы над созданием этих информационных систем во всех странах, по которым проходит международный транспортный коридор. Для координации этих работ необходимо создание такой структуры, как координационный проектный офис (КПО), и его цифрового инструмента в форме интеграционной цифровой платформы.

Теория и многолетняя практика международной транспортной логистики доказывают, что наиболее эффективной формой организации товародвижения являются цепи поставок. Поэтому представляется целесообразным проектировать НСЭЛ и ЭЦТК как системы цифровой трансформации и поддержки функционирования ручных, неавтоматизированных цепей поставок и создания цифровых. Одной из основных задач управления цепью

поставок является координация всех вышеуказанных процессов, включая взаимодействие их участников, деятельность которых должна быть направлена на качественное выполнение поставки. В этой связи представляется целесообразным вовлекать в НСЭЛ и ЭЦТК всех ключевых участников товародвижения, которых следует распределить по четырём основным процессам цепи поставок (рисунок 1).

Транспортно-логистический блок в этой структуре занимает ведущее место, вовлекая в перевозочный процесс перевозчиков всех видов транспорта, владельцев и операторов объектов транспортно-логистической инфраструктуры и транспортных средств, транспортно-логистические центры, грузоотправителей, грузополучателей, экспедиторов. Цифровые технологии НСЭЛ с помощью инструментов и благоприятных нормативных условий (правовых, технических, технологических и тарифных) должны ускорять производство товаров и их последующую доставку и реализацию, при этом максимально снижая операционные издержки всех участников.

НСЭЛ создаётся как двухуровневая цифровая система. Первый, базовый её уровень представляет собой множество всех ключевых национальных участников товародвижения: потребители, производители и поставщики товаров и транспортно-логистических сервисов всех форм собственности и всех видов транспорта, а также государственные регулирующие и контролирующие органы. Второй уровень НСЭЛ создаётся на базе Интеграционной цифровой транспортно-логистической платформы (ИЦТЛП), которая объединяет субъектов первого уровня НСЭЛ и обеспечивает информационно-коммуникационные условия для их деятельности на внутреннем и внешнем рынках товародвижения. ИЦТЛП создаёт технический базис НСЭЛ в форме её цифровой инфраструктуры и цифрового доверительного пространства участников товародвижения (рисунок 2).

Внедрение НСЭЛ должно осуществляться путём планомерной цифровой трансформации действующих транспортно-логистических процессов с переводом их на качественно новый уровень за счёт внедрения облачных технологий, технологий обработки больших данных, платформенных решений и искусственного интеллекта. Этот процесс отличается от простой цифровизации тем, что предусматривает коренной реинжиниринг всей системы управления товародвижением на внутреннем и международном рынках. Регламентирующие технологии, нормативные акты и правила (правовые, технические, организационные, экономические) должны быть пересмотрены и адаптированы к возможностям цифровых инструментов и систем. Новая нормативная база должна обеспечить использование возможностей инновационных цифровых инструментов и систем для достижения максимального эффекта при их внедрении.

Структура международного транспортного коридора как товаропроводящей системы цепей поставок

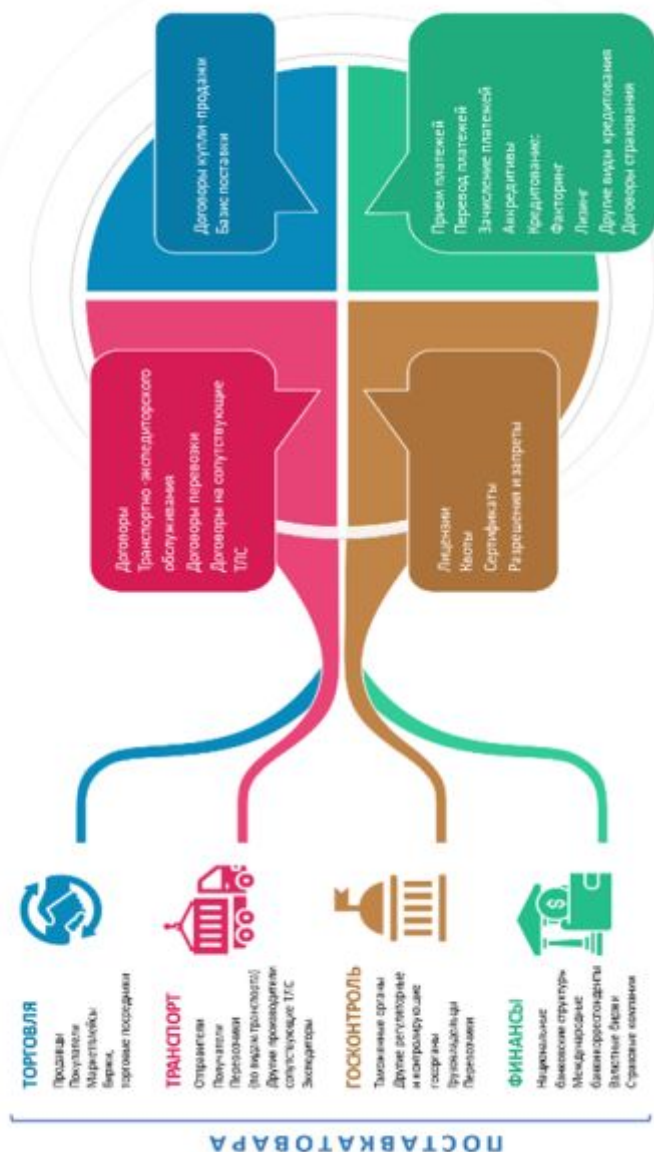


Рисунок 1 – Структура МПК как товаропроводящей системы цепи поставок

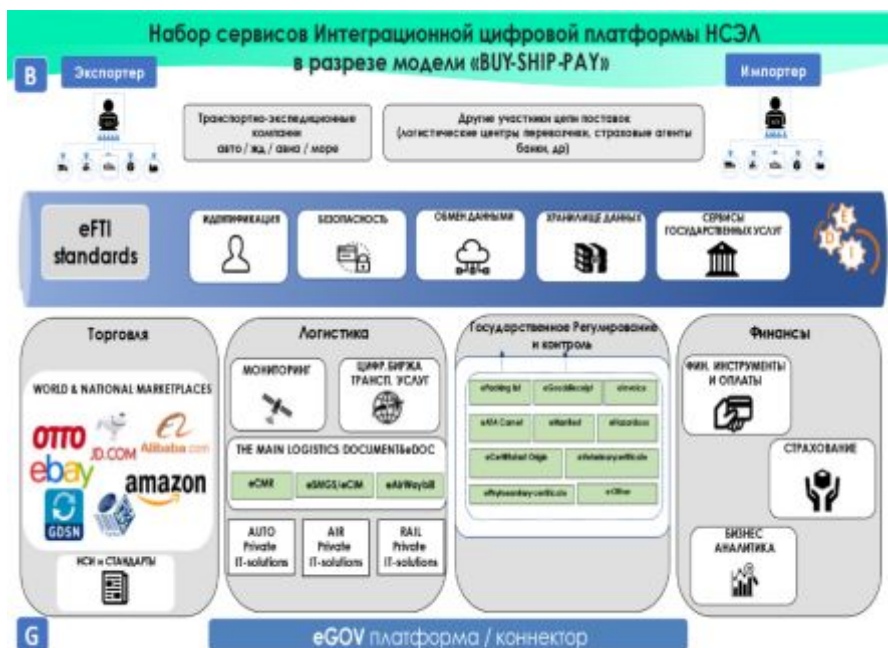
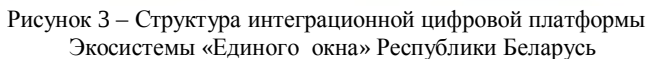


Рисунок 2 – Сервисы интеграционной цифровой платформы НСЭЛ

При этом очевидна необходимость постепенного эволюционного перехода к новым цифровым технологиям в масштабах всего государства и на всех международных транспортных коридорах только после их апробирования на пилотных проектах ограниченных опытных полигонов.

Внедрение НСЭЛ не должно ограничиваться границами национального государства, так как для продвижения национальных товаров на внешние рынки требуется обеспечить единство процесса поставки на всём протяжении маршрута международной цепи поставок, пролегающего через транспортные коридоры «Запад – Восток» и «Север – Юг». Для этого требуется цифровая трансформация действующих процессов на протяжении всего маршрута. Это возможно при гармонизации нормативных условий организации перевозки во всех странах, по которым проходят маршруты цепей поставок; внедрении во всех НСЭЛ интероперабельных инструментов, сопрягаемых по границам стран в единую сквозную бесшовную технологию; создании во всех НСЭЛ организационных структур для координации перевозочной работы логистики на национальных участках международных маршрутов и стыках национальных транспортных инфраструктур, которая формируется по принципу «единого окна» (рисунок 3).



Параллельно с разработкой НСЭЛ проектные структуры Республики Беларусь должны участвовать в разработке Экосистем цифровых транспортных коридоров (ЭЦТК). При этом ЭЦТК должны проектироваться как двухуровневые системы, где первый уровень – это НСЭЛ стран, через которые проходит транспортный коридор. Второй уровень ЦТК должен создаваться операторами НСЭЛ стран, по которым проходит транспортный коридор. Такой подход обеспечит возможность эффективного управления перевозками по всему международному транспортному коридору (МТК) при сохранении суверенитета национальных транспортно-логистических систем. Суверенитет будет обеспечиваться тем, что непосредственное операционное управление транспортным комплексом страны будет осуществляться на первом уровне, т. е. в рамках НСЭЛ. А на втором, международном, уровне ЦТК будет выполняться только координация работы НСЭЛ стран, по которым проходят МТК в части синхронизации перевозочного процесса на стыках этих стран для достижения синергетической цели, выражаемой в качественной поставке грузов. Для реализации управленческих координационных функций в НСЭЛ должен создаваться Национальный координационный транспортно-логистический центр (НКТЛЦ), а на международном уровне – Международный координационный транспортно-логистический центр (МКТЛЦ).

ИЦТЛП не должна подменять собой корпоративные АСУ (ИТ-системы) участников товародвижения, а создаваться на их основе и обеспечивать интеграцию участников в НСЭЛ и ЭЦТК для безопасного цифрового взаимодействия с иностранными участниками товародвижения. При подключении участника к НСЭЛ оператор ИЦТЛП должен анализировать ИТ-систему этого участника, определять уровень её цифровой зрелости по сравнению с потенциальными партнёрами в рамках технологий НСЭЛ и ЭЦТК и давать рекомендации по совершенствованию, включая модернизацию.

В целях устранения цифрового неравенства НСЭЛ государств, по которым проходят Международные транспортные коридоры, включая «Север – Юг» и «Запад – Восток», представляется целесообразным модернизировать ИТ-системы Белорусской железной дороги с учётом опыта ОАО «РЖД» и других администраций железных дорог.

Цели и задачи НСЭЛ и ЭЦТК связываются с оптимизацией производства и реализацией товаров исходя из возможностей торгово-транспортно-логистической поддержки продвижения их на внутренние и внешние рынки товародвижения. В условиях неопределённости конъюнктуры внешних рынков сбыта продукции и санкций недружественных стран возникают значительные риски перепроизводства товаров. Для минимизации этих рисков Экосистеме «Единого окна» должны быть цифровые механизмы маркетингового поиска альтернативных рынков сбыта странах глобального Юга (стран дальней дуги). Параллельно с этим в НСЭЛ должны создаваться цифровые механизмы формирования транспортно-логистических составляющих цепей поставок товаров на эти рынки. В Республике Беларусь такая задача особенно актуальна для производителей продовольствия. В настоящее время многие сельскохозяйственные предприятия вынуждены сдерживать объёмы производства и выращивания картофеля, свёклы, зерновых и других культур из-за отсутствия современных плодоовощных баз, зерновых элеваторов для переработки и хранения культур. Сдерживающим фактором является дефицит пропускных, провозных и перерабатывающих способностей объектов транспортно-логистической инфраструктуры. Для решения этой задачи в НСЭЛ должны быть цифровые технологии моделирования баланса спроса и предложения определённых товаров на внутреннем и внешнем рынках товародвижения с учётом имеющихся транспортно-логистических ресурсов для продвижения товаров на эти рынки.

В этих условиях в числе первоочередных задач следует рассматривать необходимость оптимизации распределения национальных транспортно-логистических ресурсов, включая пропускные способности инфраструктуры по видам транспорта для максимально возможного и качественного удовлетворения платежеспособного спроса на перевозки и сопутствующие транспортно-логистические сервисы национальной экономики, а также высокоэффективной реализации транзитного потенциала страны.

Основой НСЭЛ должна быть создаваемая на ИЦТЛП обобщенная цифровая модель физической (материальной) национальной транспортно-логистической системы с указанием её взаимодействия с моделями иностранных объектов международных транспортных коридоров, которые создаются в ЭЦТК. Цифровая модель НСЭЛ должна отражать организационную структуру системы; правовую, административную, техническую, технологическую, тарифную базу; цифровую инфраструктуру целостной системы и по видам транспорта; предложение транспортно-логистических сервисов (далее – ТЛС) по видам транспорта; спрос на транспортно-логистические сервисы; динамический баланс спроса и предложения. Цифровая модель НСЭЛ создаётся на базе Интеграционной цифровой национальной транспортно-логистической платформы, транспортно-логистических сервисов, банковских и страховых структур, а также государственных регулирующих и контролирующих.

Цифровая обобщённая модель национальной транспортно-логистической системы создаётся путём объединения вокруг интеграционной цифровой платформы ИТ-систем всех ключевых производителей и потребителей транспортно-логистических сервисов, а также причастных регулирующих и контролирующих государственных органов. На базе интеграционной платформы создаётся единое доверительное цифровое транспортно-логистическое пространство на основе единых национальных и международных стандартов.

НСЭЛ обеспечивает оптимизацию функционирования транспортно-логистической составляющей национальной экономики Республики Беларусь путём цифровой трансформации её технологий производства и реализации транспортно-логистических сервисов ТЛС). На ИЦТЛП должны создаваться цифровые модели спроса и предложения ТЛС, а также динамики баланса спроса и предложения ТЛС.

Схема ключевых целевых задач НСЭЛ и ЭЦТК приведена на рисунке 4.

Модель спроса ТЛС формируется производителями товаров всех отраслей национальной экономики. Для этого производители размещают на ИЦТЛП в формализованном виде заявки на перевозки, отражающие потребности в определённых ТЛС на определённый плановый период с разделением по четырем базовым процессам цепи поставок (внутриреспубликанские перевозки, экспорт, импорт и транзит).

Модель предложения ТЛС формируется производителями и поставщиками ТЛС по четырем базовым процессам цепи поставок. Эта модель должна отражать готовность перевозчиков, объектов инфраструктуры, транспортных средств к выполнению заявок грузоотправителей с указанием нормативных количественных, качественных и экономических показателей.

Таким образом, системы НСЭЛ и ЭЦТК должны разрабатываться и внедряться параллельно, так как они предназначены для создания сквозных бесшовных технологий свободного товародвижения по международным транспортным коридорам с целью оптимизации цепей поставок товаров.

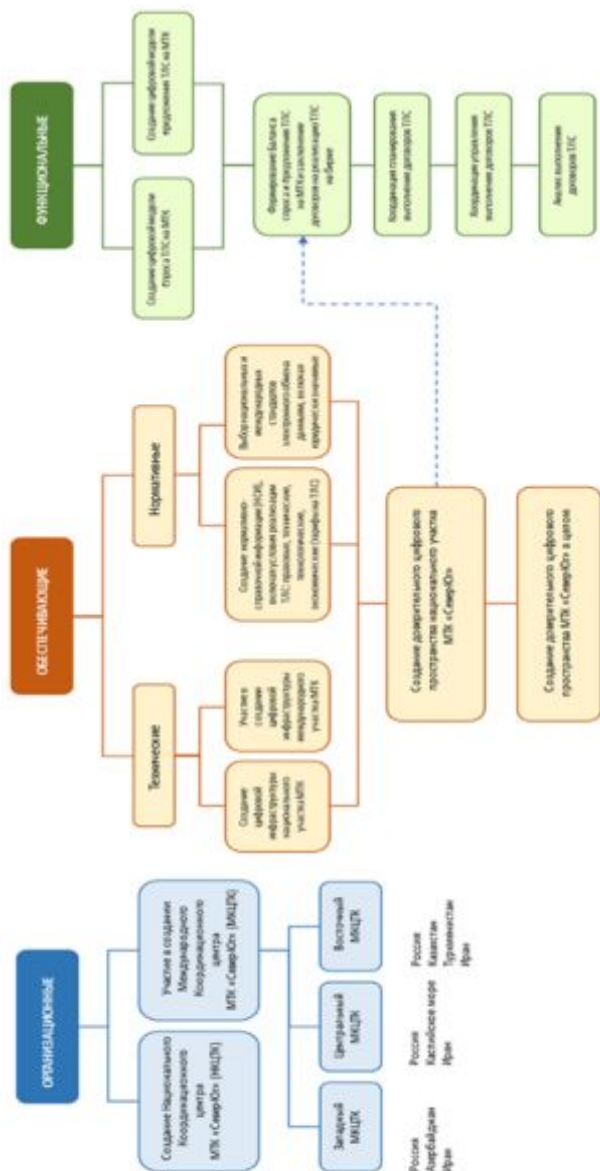


Рисунок 4 – Структурная схема целевых задач НСЭЛ и ЭЦТК

Эти системы должны обеспечить координацию деятельности ИТ-систем национальных участках МТК, которые обеспечивают управление:

- информационными потоками цепей поставок, включая юридически значимые цифровые данные и документы, на основе организации взаимного признания документов разной юрисдикции при трансграничном обмене;
- материальными товаро-транспортными потоками на основе организации рационального использования пропускных, провозных и перерабатывающих ресурсов транспортной инфраструктуры и транспортных средств на национальных участках МТК.

Системы НСЭЛ и ЭЦТК должны основываться:

- на гармонизации и адаптации к цифровым технологиям, а также к новым геополитическим вызовам, регулятивных и нормативных (правовых, экономических (тарифных), эксплуатационно-технических, экологических и иных) условий и правил организации сквозного товародвижения по МТК через его национальные участки;
- цифровой трансформации действующих технологий товародвижения и организации транспортных потоков, создания цифровых инструментов для координационных органов МТК на национальном и международном уровнях;
- создания национальных и международных координационно-управляющих органов, обеспечивающих организацию свободного товародвижения по МТК, включая товаропроводящие звенья каждой МЦП, при соблюдении национального технологического суверенитета всех национальных участков МТК;

Эти системы должны создаваться как интеграционные, объединяющие ИТ-системы участников товародвижения и формирующие на их основе цифровую инфраструктуру МТК и его доверительное цифровое пространство. В рамках этого цифрового пространства должны создаваться бесшовные информационно-коммуникационные технологии МТК в целом и его национальных участков, а также товаропроводящих звеньев цепей поставок, обслуживаемых МТК.

Для цифровой трансформации технологий товародвижения по МТК должна быть создана система регулирования баланса спроса и предложения транспортно-логистических сервисов (ТЛС). В основе этой системы должны быть обобщённые цифровые модели спроса и предложения ТЛС.

Основной целью НСЭЛ является цифровое обеспечение принятия управленческих решений по распределению национальных ресурсов транспортно-логистической инфраструктуры и транспортных средств для максимально возможного и качественного удовлетворения платежеспособного спроса на перевозки и сопутствующие транспортно-логистические сервисы национальной экономики, социальной сферы и государства при обеспечении кибербезопасности и минимизации эксплуатационных расходов при высокоэффективной реализации транзитного потенциала страны (экспорт услуг) при обеспечении национального технологического суверенитета.

Для достижения названной цели НЦЭЛ должна осуществлять цифровое обеспечение решения следующих задач на этапе планирования перевозок:

- прогнозирования спроса на транспортно-логистические сервисы (внутригосударственные, экспортные, импортные и транзитные);

- оптимизации распределения пропускных, провозных и перерабатывающих способностей национальной транспортно-логистической инфраструктуры (по видам транспорта), способствующие удовлетворению спроса на перевозки и сопутствующие ТЛС национальной экономики, социальной сферы и государства при обеспечении кибербезопасности и минимизации эксплуатационных расходов;

- разработки национальных транзитных ниток расписания поездов как комплексных сервисов железнодорожной инфраструктуры инфраструктуры с указанием стартовой цены, требований к стандартам электронного документооборота, условий таможенного оформления и контроля, способов признания юридической значимости электронных документов, способов оплаты сервисов;

- передачи транзитных ниток расписаний в ЭЦТК для Координационного центра МТК (КЦТК);

- продвижения на внешние рынки экспортных товаров путём предварительного резервирования объектов национальной инфраструктуры и других государств (через ЭЦТК), по которым проходят МТК;

- приёма от КЦТК плановых расписаний по заключённым договорам и предварительное распределение между НЦЭЛ торговой маржи;

- доведения до национальных операционных структур плановых расписаний по заключённым КЦТК договорам, информирование причастных о предварительном распределении между НЦЭЛ торговой (биржевой) маржи.

ЭЦТК через КЦТК должна осуществлять цифровое обеспечение решения следующих задач на этапе планирования перевозок:

- приёма от НЦЭЛ транзитных ниток расписаний движения поездов по национальным участкам;

- формирования сквозных расписаний как предложений ТЛС инфраструктуры МТК (целиком или по нескольким национальным участкам);

- приема заявок от потенциальных покупателей ниток расписаний;

- проведения электронных торгов в случаях превышения спроса над предложением ТЛС;

- заключения договоров на продажу ниток расписаний победителю торгов с приёмом от победителя торгов торговой маржи (денежных средств);

- доведения до НЦЭЛ заключённых договоров и планов распределения между НЦЭЛ торговой маржи;

- учёта неудовлетворённого спроса на сквозные перевозки, а также неиспользованных резервов пропускных способностей инфраструктуры (в соответствующих случаях).

НЦЭЛ должна осуществлять цифровое обеспечение решения следующих задач на этапе реализации перевозок:

- контроль приёма грузов к перевозке соответствующей национальной транспортной структурой по правилам СМГС и на условиях договоров, заключённых КЦТК;

- организация мониторинга перевозки поезда с ведением исполненного расписания, расчёт возможных отклонений от нормативных расписаний;

- передача в КЦТК информации мониторинга движения поезда;

- ввод поезда в расписание регуляторными методами в случаях некри- тичных отклонений от нормативов по различным причинам, включая за- держки контейнеров таможенными или другими контролирующими орга- нами;

- информирование КЦТК в случаях невозможности ввода поезда в рас- писание регуляторными методами с указанием причин;

- участие в разработке нового расписания (по рекомендации КЦТК);

- приём к исполнению нового расписания от КЦТК, осуществляющего на этапе реализации перевозок цифровое обеспечение решения следующих задач:

- ведение исполненных расписаний движения сквозных поездов и срав- нение их с согласованными расписаниями, а также выявление отклонения с возможностью ввода поезда в расписание;

- координация исполнения сквозных расписаний поездов для националь- ных перевозчиков или организация разработки новых расписаний в случаях отсутствия такой возможности без вмешательства в непосредственное управ- ление перевозками;

- анализ исполненных сквозных расписаний МКП на основе монито- ринга МКП создания доказательной базы для распределения ответственности за нарушение договорных условий продажи ниток МКП и мест в кон- тейнерных поездах;

- осуществление арбитражных функций в претензионных вопросах.

Прошедшая в сентябре 2024 г. «Транспортная неделя Республики Бела- русь» показала, что существует ряд принципиальных вопросов, решение ко- торых позволит ускорить развитие национальной электронной логистики, достигнуть уровня ЕАЭС, включая Россию и Казахстан, где уже созданы цифровые транспортно-логистические платформы. Одним из путей выхода на новый уровень межгосударственных отношений с созданием ЦТЛП- НСЭЛ в Республике Беларусь является, по мнению авторов, проведение следующих предпроектных мер, предлагаемых учёными БелГУТа:

- комплексный анализ транспортно-логистического комплекса Респуб- лики Беларусь в части цифровизации процессов организации и реализации логистических цепей товародвижения и определение системных требований к условиям их функционирования в Едином информационном пространстве;

- системный анализ и оценка реализации цифровой инфраструктуры транспортно-логистического комплекса в части взаимодействия с междуна- родными информационными системами, в том числе в рамках проектов цифровых транспортных коридоров;

– определение основных тенденций и направлений развития цифровой логистики, оценка существующих решений и инновационных технологий в соответствии с установленными требованиями, определение возможностей для улучшения эффективности функционирования транспортно-логистического комплекса Республики Беларусь на основе инновационных цифровых возможностей, достижимых в условиях создания Единой национальной цифровой транспортно-логистической платформы;

– систематизация информации о существующем состоянии, определение потенциальных направлений цифровой трансформации транспортно-логистического комплекса Республики Беларусь, анализ их эффективности, преимуществ и недостатков;

– определение целей и задач, функциональных требований и возможностей создания Единой национальной цифровой транспортно-логистической платформы с анализом рисков, связанных с разработкой и её внедрением; определение последовательности этапов для разработки и внедрения платформы; описание состава её структурных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Цифровая повестка Евразийского экономического союза до 2025 года: перспективы и рекомендации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/864/Obzor-VB.pdf>. – Дата доступа : 10.09.2024.

2 Концепция развития логистической системы Республики Беларусь на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C21701024>. – Дата доступа : 10.09.2024.

3 Аналитический доклад Евразийской экономической комиссии (ЕЭК ЕАЭС) по международным контейнерным перевозкам [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.eurasiancommission.org/ru/act/energetikaiinfr/transport/Pages/info.aspx. – Дата доступа : 10.09.2024.

4 *Ерофеев, А. А.* Теория построения интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08. – А. А. Ерофеев. – Гомель : БелГУТ, 2024. – 46 с.

5 *Падалица, В. А.* Концепция создания цифровой платформы координации Евразийских грузопотоков в рамках экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС / В. А. Падалица, С. А. Тумель, С. В. Енин // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 180–188.

V. PADALITCA, S. TUMEL

DEVELOPMENT OF RAILWAY INFRASTRUCTURE ON THE ROUTES OF INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS IN THE PROGRAM OF THE NATIONAL SYSTEM OF ELECTRONIC LOGISTICS

The possibility of modeling the operation international transport corridors on digital analogues is considered, which are capable of dynamically reproducing the technology of

servicing train, wagon and freight flows on the full route of their origin, movement and cancellation. The program the national electronic logistics system should use a number of information products that provide support for real flows running along international transport corridors. In this regard, the digital transport corridor should become a basic platform that ensures the efficiency of the entire transport and logistics system.

Получено 20.09.2024

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024

УДК 656.21

Е. Н. ПОТЫЛКИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ДОСТАВКЕ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ РАЗЛИЧНЫХ СОБСТВЕННИКОВ

Рассмотрены основные положения расчета параметров процесса взаимодействия железнодорожных станций на путях общего и необщего пользования в условиях наличия вагонов различной принадлежности. Сформированы различные варианты целевых функций, учитывающих как детерминированную, так и случайную составляющую транспортного процесса.

Современный этап развития железнодорожного транспорта на пространстве СНГ характеризуется: переходом от вагонов железных дорог (перевозчиков) к подвижному составу грузоотправителей, грузополучателей (приватным); формированием рынка вагонов и соответствующих ему структур (бирж); увеличением доли специализированных вагонов с целью улучшения сохранности перевозимых грузов, повышения уровня механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ и сокращения соответствующих издержек и др. В этих условиях формируется актуальность определения оптимальных параметров железнодорожных станций с учетом появления рисков как в процессе перевозки, так и в начально-конечных пунктах [1].

Вышеперечисленные обстоятельства порождают потребность в разработке методического обеспечения, учитывающего не только детерминированную, но и случайную составляющую в процессах выполнения технологических операций на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования. В связи с этим предлагается методическое обеспечение расчета параметров железнодорожного транспорта, базирующееся на детерминированных и недетерминированных целевых функциях, учитывающих наличие сетевых и част-

ных перевозчиков и системный подход к поставке продукции между станциями отправления и назначения, а также транзитными [2].

В статье исследуются вид и характер детерминированной целевой функции. В первом варианте порожние вагоны различной формы собственности могут подаваться из-под выгрузки под погрузку как с грузовых комплексов общего, так и необщего пользования. Кроме того, рассматриваемые порожние вагоны могут прибывать по регулировочному заданию из других регионов, проследуя при этом достаточно большие расстояния. Регулирование порожних вагонов операторских компаний и других собственников может осуществляться с участием экспедиторских организаций и компаний, что порождает дополнительные посреднические операции как по стоимости, так и оперативности их выполнения. При этом существовавшая железнодорожная система организации вагонопотоков, включая регулирование порожних вагонов многих собственников, сохранилась и в полной мере не адаптировалась к новым условиям по причине участия экспедиторских организаций и компаний, а также появления достаточно большого количества собственников вагонов, которые преследуют другие цели и имеют иные критерии оценки своей деятельности, например, получение максимальной выгоды. Переход в ряде стран от вагонов железных дорог к частным имеет как свои преимущества, так и недостатки. В частности, была введена плата за пользование вагонами как железной дороги, так и за нахождение частного подвижного состава на инфраструктуре перевозчика. При этом предполагалось, что частные вагоны, включая собственные вагоны предприятий и арендованные, могут использоваться как склад на колесах, что приведет к уменьшению количества грузовых операций как при погрузке-выгрузке, так и на складах общего и необщего пользования. Вышеперечисленные изменения требуют корректировки нормативно-правовой базы, технологических процессов и разработки соответствующего методического обеспечения для расчета их технологических и технических параметров.

Вагоны различных собственников после выгрузки у грузополучателей должны следовать в порожнем состоянии к грузоотправителям под погрузку. Вопросы регулирования порожних вагонов осуществляются с участием посреднических экспедиторских организаций и содержат в себе элемент случайности, обусловленный во многом большим количеством участников в лице как перевозчиков, так и участников в процессах нахождения перевозочных средств в состоянии покоя или движения. В конечном итоге они будут следовать в определенных направлениях группами в соответствии с заявками на перевозку. За перевозку частного подвижного состава взывается провозная плата за каждый вагон. В этих условиях возникает задача – до каких пределов накапливать группу вагонов, чтобы издержки в процессе накопления были сопоставимыми с затратами на доставку рассматриваемой группы до одного или нескольких получателей. Для детерми-

нированной модели накопление в пункте отправления будет в простейшей ситуации осуществляться по закону треугольника (рисунок 1).

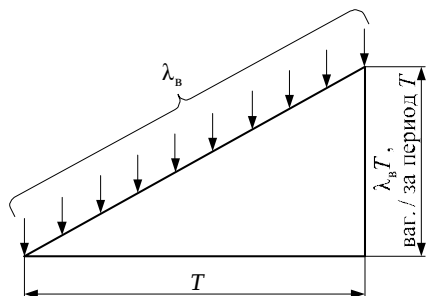


Рисунок 1 – Графическое изображение процесса накопления вагонов на станции

На рисунке 1 использованы следующие условные обозначения: λ_v – интенсивность потока в процессе накопления на группу порожних вагонов или состав поезда; T – продолжительность накопления вагонов.

При этом вагоно-часы за период накопления за период T равны $B = \lambda_v T^2 / 2$, тогда издержки на накопление в пункте отправления будут определяться по формуле

$$I_B^0 = C_{вч}^{пр} \lambda_v T^2 / 2, \quad (1)$$

где $C_{вч}^{пр}$ – стоимость вагоно-часа подвижного состава грузоотправителя, грузополучателя (приватного вагона).

Аналогично в пункте назначения

$$I_B^H = C_{вч}^{пр} \lambda_v T^2 / 2. \quad (2)$$

Общие издержки, руб./за период T ,

$$I_B = I_B^0 + I_B^H = C_{вч}^{пр} \lambda_v T^2. \quad (3)$$

Издержки при перевозке порожних частных вагонов, руб./за T , будут определяться по формуле

$$I_{пор}^{пр} = C_T^H \lambda_v T, \quad (4)$$

где C_T^H – нормативная тарифная ставка за перемещение порожнего частного вагона (руб./ваг.), которая включает две составляющие:

$$C_T^H = I_{пор}^0 + I_{пор}^H, \quad (5)$$

$I_{пор}^0$, $I_{пор}^H$ – соответственно инфраструктурная и локомотивная составляющие тарифа.

В соответствии с действующими на Белорусской железной дороге нормами величина C_T^H определяется на основании уравнения

$$C_T^H = (0,7061 + 0,3819)L_{тр} \alpha_{пор} + 0,4226, \quad (6)$$

где $L_{тр}$ – тарифное расстояние при перевозке груза, км;

$\alpha_{\text{пор}}$ – коэффициент порожнего пробега вагона.

После преобразования получаем

$$C_T^H = 0,4226 + 1,088L_{\text{тр}}\alpha_{\text{пор}}. \quad (7)$$

С учетом вышеизложенного целевая функция будет иметь вид

$$F(T) = C_{\text{вч}}^{\text{пр}}\lambda_{\text{в}}T^2 + C_T^H\lambda_{\text{в}}T. \quad (8)$$

Целевая функция (8) будет принимать минимальные значения при пересечении ее первого элемента со вторым (рисунок 2).

Приравнивая первый и второй элементы целевой функции, получаем

$$C_{\text{вч}}^{\text{пр}}\lambda_{\text{в}}T_0^2 = C_T^H\lambda_{\text{в}}T_0. \quad (9)$$

Из уравнения (9) оптимальное значение T_0 :

$$T_0 = C_T^H / C_{\text{вч}}^{\text{пр}} \quad (10)$$

или, в развернутом виде,

$$T_0 = (0,4226 + 1,088L_{\text{тр}}\alpha_{\text{пор}}) / C_{\text{вч}}^{\text{пр}}. \quad (11)$$

Анализ формулы (11) показывает, что оптимальное значение T_0 с увеличением расстояния перевозки груза $L_{\text{тр}}$ и коэффициента порожнего пробега вагона $\alpha_{\text{пор}}$ также становится большим. В то же время при увеличении $C_{\text{вч}}^{\text{пр}}$ величина T_0 уменьшается.

Во втором варианте детерминированной целевой функции полученное из уравнения (11) значение T_0 характеризует точку безразличия, когда владельцу вагона и клиенту в данной точке будет одинаково выгодно доставлять приватные порожние вагоны в место их погрузки. При этом величина группы будет равна $\lambda_{\text{в}}T_0$. Величина нормативной тарифной ставки (C_T^H), которая рассчитывается по формуле (7), не зависит от величины группы. Данное положение соответствует существующим тарифам Белорусской железной дороги. На практике, как показали выполненные исследования, расходы могут зависеть от величины группы, что корректируется коэффициентом, описываемым следующей аналитической зависимостью:

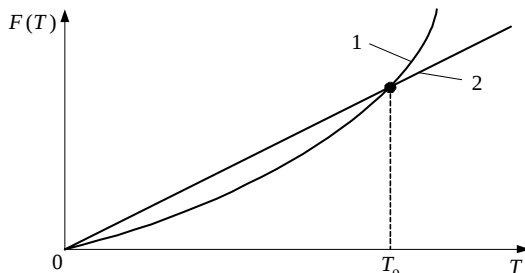


Рисунок 2 – Графическое изображение элементов целевой функции

$$K_{mL} = 1,00 \left(0,998 + \frac{0,04}{\lambda_B T_0} - 0,0014 \lambda_B T_0 \right) (9,1 \cdot 10^{-9} L_{\text{пор}} - 5,4 \cdot 10^{-5} L_{\text{пор}} + 1,0471), \quad (12)$$

где $L_{\text{пор}}$ – расстояние следования вагона грузоотправителя (грузополучателя) в порожнем состоянии, $L_{\text{пор}} = L_{\text{гр}} \alpha_{\text{пор}}$.

Графическое изображение аналитической зависимости (12) приведено на рисунке 3.

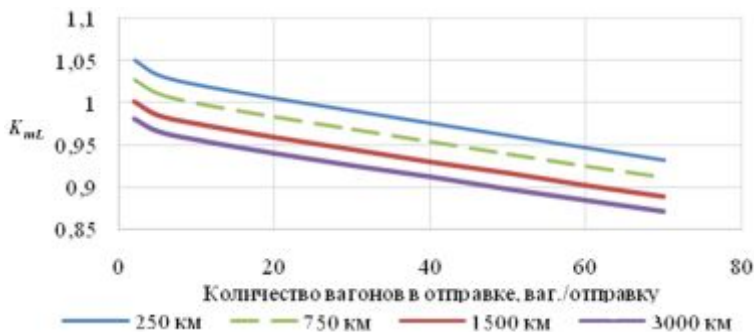


Рисунок 3 – Графическое изображение аналитической зависимости (12)

С учетом формулы (12) уравнение (9) преобразуется следующим образом:

$$C_{\text{вч}}^{\text{пр}} \lambda_B T_0^2 = C_{\text{т}}^{\text{н}} \lambda_B T_0 K_{mL}. \quad (13)$$

После преобразований и решения уравнения (13) находим выражение для оптимального значения периода накопления:

$$T_0 = \frac{0,998 \frac{C_{\text{т}}^{\text{н}}}{C_{\text{вч}}^{\text{пр}}} A + \sqrt{0,996228 \left(\frac{C_{\text{т}}^{\text{н}}}{C_{\text{вч}}^{\text{пр}}} \right)^2 + \frac{0,16 C_{\text{т}}^{\text{н}}}{\lambda_B C_{\text{вч}}^{\text{пр}}} A (1 + 0,0014 \lambda_B C_{\text{т}}^{\text{н}} A / C_{\text{вч}}^{\text{пр}})}}{2(1 + 0,0014 \lambda_B C_{\text{т}}^{\text{н}} A / C_{\text{вч}}^{\text{пр}})}, \quad (14)$$

где $A = (9,1 \cdot 10^{-9} L_{\text{пор}}^2 - 5,4 \cdot 10^{-5} L_{\text{пор}} + 1,0471)$.

В основу рассматриваемой недетерминированной целевой функции закладываются аналогичные экономические величины: $C_{\text{вч}}^{\text{пр}}$, $C_{\text{т}}^{\text{ч}}$, $C_{\text{т}}^{\text{н}}$ – ставки за группу-ч, руб. Рассчитанное оптимальное значение $T_{\text{сл}}$ рассматриваемой функции не будет совпадать с T_0 для детерминированного процесса.

Величина $T_{\text{сл}}$ рассчитывается на основании вероятностного процесса из условия: что лучше, чтобы вагоны стояли или чтобы приносили доходы. В этом состоит смысл решения данной задачи. Для отстоя вагонов требуется соответствующее путевое развитие. В связи с этим $T_{\text{сл}}$ используется для рас-

чета коэффициента неравномерности $K_n = 1/\rho$, где $\rho = t_{\text{пор}}^c / T_{\text{сл}}$, а $t_{\text{пор}}^c$ – продолжительность следования приватного вагона в порожнем состоянии. В этих условиях $K_n = T_{\text{сл}} / t_{\text{пор}}^c$. Как известно, из формулы теории массового обслуживания должно выполняться условие $t_{\text{пор}}^c < T_{\text{сл}}$. Тогда коэффициент неравномерности будет всегда больше единицы.

Следовательно, коэффициент неравномерности рассчитывается из условия или уравнения экономического баланса, которое характеризует оптимальное соотношение между нахождением вагонов в движении и в покое.

Таким образом, установлено, что тарифная ставка C_T^n зависит от состояния следования порожнего вагона грузоотправителя (грузополучателя): $C_T^n = f(L_{\text{пор}})$. По формулам (11) и (13) рассчитывается оптимальное значение периода накопления T_0 для детерминированного процесса перевозочного процесса.

Величина T_0 , полученная на основе детерминированной математической модели процесса доставки, может закладываться в основу расчета путевого развития для отстоя вагонов грузоотправителя (грузополучателя) как по прибытии, так и по отправлении на железнодорожных станциях. Однако ранее указывалось, что в условиях наличия большого числа «ниток графика» и достаточной пропускной способности железнодорожных участков можно приватные порожние вагоны отправлять при необходимости с меньшим интервалом, так в пунктах отправления и назначения не потребуются дополнительные пути для отстоя, а будет использоваться только технологическое путевое развитие станций. Такая технология применялась в Советском Союзе, где практически все вагоны принадлежали железным дорогам общего пользования. При этом следует отметить, что в пути следования собственные порожние вагоны могут объединяться в большие группы на железнодорожных станциях, чем отправлялись из начальных пунктов.

Порожние вагоны грузоотправителя (грузополучателя) могут накапливаться в группы как на путях необщего пользования, так и на станции призывания, а также других станциях общего пользования.

В недетерминированной целевой функции в качестве требования выступает величина группы вагонов грузоотправителя (грузополучателя), которая рассчитывается из соотношения $\lambda_v T_{\text{сл}}$. Данная группа доставляется со станции отправления на станцию назначения в течение продолжительности времени $t_{\text{пор}}^c$.

Продолжительность накопления партии $T_{\text{сл}}$ рассчитывается с учетом неравномерности потока вагонов, которая основана на спросе на производимый товар и находит свое отражение в контракте на поставку. Данная

особенность учитывается с помощью формул теории массового обслуживания, где неравномерность спроса и продолжительности обслуживания характеризуется соответствующими коэффициентами вариации.

При использовании интервалов взаимодействия $T_{сл}$ между модулями функциональной модели процесса движения вагонопотоков различной принадлежности в станционной и узловой системе путей общего и необщего пользования появляется возможность рассчитать оптимальные технические и технологические параметры рассматриваемого комплекса, обеспечивающего максимальную погрузку готовой продукции по прямому варианту «производство – вагон».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Еловой, И. А. Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : [монография] / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

2 Оптимизация процессов грузовой работы / А. А. Смехов [и др.]. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.

Е. Н. POTYLKIN

CALCULATION OF RAILWAY STATION PARAMETERS WHEN DELIVERING EMPTY WAGONS OF VARIOUS OWNERS

The article considers the main provisions for calculating the parameters of the interaction process of railway stations on public and non-public tracks in conditions of the presence of wagons of various accessories. Various variations of objective functions have been formed, taking into account both deterministic and random components of the transport process.

Получено 12.08.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 656.21

Е. Н. ПОТЫЛКИН, И. А. ЕЛОВОЙ, С. А. ПЕТРАЧКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ НАКОПЛЕНИИ НА СТАНЦИИ ГРУПП ВАГОНОВ

Исследован процесс движения собственных вагонов в порожнем состоянии и их временного размещения на путях отстоя. Обоснованы составляющие целевой функции, на основании которой выполнено определение оптимального среднего периода накопления групп собственных вагонов на станции.

Нитка графика движения поезда связана с грузовым или порожним рейсом вагона, так как в составе поезда могут быть как гружёные, так и порожние вагоны. Аналогичная ситуация может быть и с подачей-уборкой вагонов на погрузочно-разгрузочные фронты. При этом следует указать, что в большинстве случаев на местах необщего пользования промышленных предприятий выполняется погрузка или выгрузка грузов. В этих условиях за достаточно большой период времени будет соблюдаться баланс, например, прибывших гружёных и убывших порожних вагонов. Однако из-за неравномерных спроса на отгружаемую продукцию, обеспечения порожними вагонами, различного количества подвижного состава в группах вагонов и других обстоятельств в подаче-уборке может быть различное число вагонов, а в отдельных случаях маневровый или поездной локомотив может следовать без перевозочных средств.

На участках железных дорог могут проводиться плановые виды ремонта и ряд других вспомогательных операций, что ухудшает их использование во времени. В целом процессы подачи-уборки вагонов на погрузочно-выгрузочные фронты будут в своём большинстве подобными с участками железных дорог и их нитками графика движения поездов. На основании существующего положения можно сделать следующие обобщения.

1 Теоретически продолжительность нахождения поезда в пути следования на участке железной дороги может быть принята постоянной, так как нормативная (коммерческая) скорость доставки в соответствии с Правилами перевозок или Соглашением о международном грузовом сообщении остаётся одинаковой, составляя 200 км/сут.

2 При увеличении количества ниток на графике движения поездов при неизменной интенсивности вагонопотока ($\lambda_{\text{в}}^{\text{с}}$) время накопления на состав поезда в пунктах отправления также будет уменьшаться. Например, если вместо одной нитки графика для доставки определённого вагонопотока использовать две, то продолжительность накопления также будет уменьшена в два раза.

3 Провозные платежи в части инфраструктурной и локомотивной составляющих при существующей методике расчёта тарифов будут иметь следующее закономерности:

- инфраструктурная составляющая при избытке резерва пропускной способности не изменится, так как тарифная ставка рассчитывается в рублях за вагон. В условиях недостатка резерва пропускной способности на маршруте следования грузопотока потребуются дополнительные капитальные вложения для её наращивания;

- локомотивная составляющая при избытке локомотивов и использовании существующих тарифов будет зависеть от количества вагонов в составе поезда, а при их уменьшении теоретически должна быть увеличена, так как при увеличении количества ниток графика при постоянном вагонопотоке потребуются больше поездных локомотивов и бригад машинистов.

Вышеизложенные положения по инфраструктурной и локомотивной составляющим требуют разделения реальных издержек при их расчёте на зависящие и не зависящие от количества вагонов в составе поезда.

4 Издержки владельцев вагонов при увеличении ниток графика в части вагонной составляющей при заключении договоров за пользование вагонами и оказания транспортно-экспедиционных услуг, в свою очередь, должны учитывать следующие особенности:

- при увеличении количества ниток на графике и их использовании простой вагонов под накоплением в пунктах отправления и назначения будет уменьшаться;

- расчётная продолжительность нахождения вагонов в пути следования при большем количестве ниток график будет уменьшаться за счёт более частого прибытия и отправления из начальных и конечных, а также транзитных пунктов.

Однако следует отметить, что при увеличении количества ниток на графике движения поездов загрузка обслуживающего устройства (направления перевозок, железнодорожного участка и др.) будет увеличиваться, а резервы пропускной способности и дополнительного количества поездных локомотивов будут сокращаться.

5 Оборот вагонов любой принадлежности состоит из гружёного рейса и порожнего. Причём последний элемент связан с коэффициентом порожнего пробега вагонов.

Расчётные формулы [1, с. 92–110] позволяют определить величину вагонного парка грузоотправителей (частных перевозчиков), зависящего от многих технологических параметров. В упрощенном виде оборот вагона складывается из трёх составляющих.

1 Вспомогательные операции, выполняемые с обслуживающим устройством: предоставление «окон» на графике движения поездов для капитального ремонта верхнего строения железнодорожного пути, его текущего содержания, то же устройств железнодорожной автоматики и др. В итоге коэффициент полезной загрузки рассматриваемого устройства во времени будет меньше единицы за счёт необходимости выполнения вышеперечисленных вспомогательных операций $t_{всп}^y$.

2 Технологическая часть оборота, которая зависит от коэффициента порожнего пробега вагона, продолжительности гружёного и порожнего рейсов вагона и других параметров, а также межоперационных простоев $\Delta t_{ож}^{ij}$.

3 Случайный элемент оборота вагона, обусловленного вероятностным спросом на вагоны на грузовых фронтах путей необщего пользования. Для погашения данной случайной составляющей могут использоваться:

- склад готовой продукции в производственном цехе (вариант 1);
- запас порожних вагонов различной принадлежности (вариант 2).

Первый вариант относится к традиционному, где в большинстве случаев готовая продукция поступает на склад, а затем в вагон или в любое другое транспортное средство. При этом выполняется дополнительная грузовая операция. Здесь в качестве экономических величин в целевой функции используется стоимость хранения готовой продукции на складе $c_{\text{хр}}$ и стоимость функционирования грузового фронта $c_{\text{фр}}$. В стоимость ставки грузового фронта включаются также неустойка за несвоевременную отгрузку из контракта на поставку готовой продукции и другие элементы.

Второй вариант предусматривает загрузку с производства «по прямому» варианту в вагон. Здесь предусматриваются соответствующие ставки функционирования грузового фронта $c'_{\text{фр}}$ и вагонов различной принадлежности $c^c_{\text{вч}}$.

Система доставки порожних вагонов из-под выгрузки под погрузку может рассматриваться в качестве модуля. Доставка груженого или порожнего вагона грузоотправителя связана с тарифами железнодорожного транспорта общего пользования (рисунок 1).

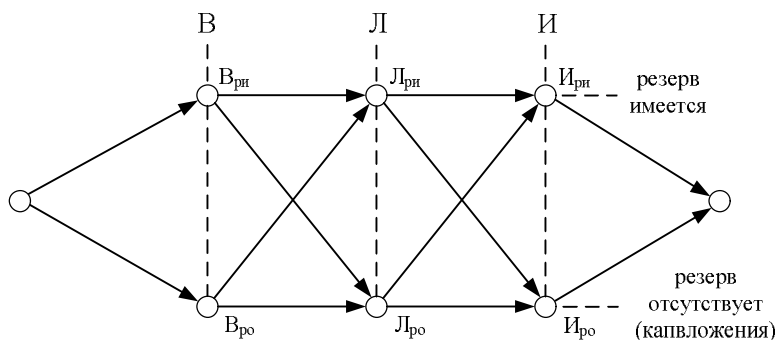


Рисунок 1 – Возможные сочетания составляющих железнодорожного тарифа

На рисунке 1 приведены возможные сочетания составляющих железнодорожного тарифа: вагонной (В), локомотивной (Л) и инфраструктурной (И). При этом, например в вагонной составляющей, обозначения В_{ри} или В_{ро} соответственно отражают, что резерв (запас) вагонов имеется или отсутствует. Аналогично по другим составляющим тарифа. В случае отсутствия резерва вагонов, локомотивов или пропускной (перерабатывающей) способности инфраструктуры необходимо вкладывать инвестиции в увеличение рассматриваемых параметров. В данном исследовании не рассматривается инвестиционная составляющая в тарифе, так как в настоящее время в большинстве случаев имеется их достаточный резерв. При необходимости в тарифе с помощью коэффициента или дополнительной рентабельности может быть учтена инвестиционная составляющая.

С учётом вышеизложенного рассмотрим вывод формулы для расчета параметров, связанных с вагонной составляющей. К таким параметрам относятся интенсивность вагонопотока λ_{ij}^c , оборота вагона $\bar{\theta}_{ij}$ и коэффициента неравномерности $K_n^{ij} = 1/\rho_{ij}$, где ρ_{ij} – коэффициент загрузки обслуживающего устройства между пунктами i и j . Здесь в качестве обслуживающего устройства рассматривается вся инфраструктура от момента выгрузки вагона и до момента погрузки груза в рассматриваемый подвижной состав. В практической деятельности продолжительность порожнего пробега вагона грузоотправителя $t_{\text{пор}}^c$ рассчитывается с использованием его срока доставки, где с помощью трёх суток учитывается продолжительность всех операций в начально-конечных пунктах. Теоретически такой подход можно считать правильным. При этом коэффициент загрузки системы обеспечения порожними вагонами грузоотправителя или железной дороги рассчитывается по формуле

$$\rho_k = t_{\text{пор}}^c / T. \quad (1)$$

где T – расчетный интервал между требованиями в системе обеспечения порожними вагонами ($t_{\text{пор}}^c < T$).

В приведенной формуле $t_{\text{пор}}^c$ рассчитывается для больших расстояний доставки порожних вагонов. Соответственно величина T будет принимать также достаточно большие значения. Здесь T рассчитывается исходя из одной нитки графика движения поездов для одноканальной системы обслуживания (рисунок 2).

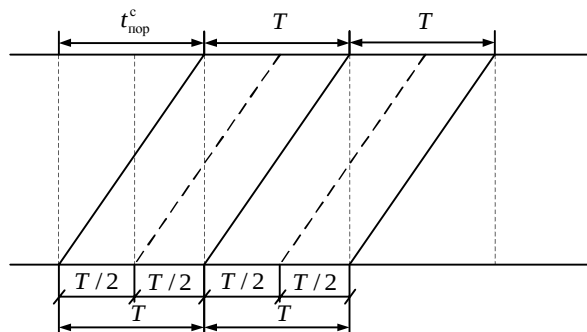


Рисунок 2 – Условный график движения поездов

При увеличении количества ниток графика, с использованием которых будут отправляться приватные вагоны или вагоны отправителя через интервал T , который будет рассчитываться из соотношения

$$T_n = T / n, \quad (2)$$

где n – количество ниток графика, по которым отправляются вагоны грузоотправителя.

Рассматриваемое количество ниток графика рассчитывается исходя из тарифных ставок перемещения порожних вагонов. Для данной нитки графика величина T представляет интервал между поездами, а для двух ниток интервал равен $T / 2, \dots$, для n ниток – T / n . Для определения оптимального количества используемых ниток на графике движения поездов задача должна решаться на основании технико-экономических расчетов с учетом заинтересованных сторон, включая грузоотправителей и грузополучателей. При этом необходимо также учитывать наличие резервов вагонов, поездных локомотивов и пропускной способности на маршруте перевозки.

На условном графике движения поездов (см. рисунок 2) показано, что продолжительность следования поезда по участку $t_{\text{пор}}^c$ совпадает с интервалом отправления между поездами T . Однако при случайном интервале между поездами и требований расчётных формул теории массового обслуживания обязательно должно выполняться условие $t_{\text{пор}}^c < T$, а для детерминированного процесса $t_{\text{пор}}^c = T$. При этом величина $t_{\text{пор}}^c$ относится практически к постоянной величине ($t_{\text{пор}}^c = \text{const}$).

Следовательно, величина T характеризует интервал между требованиями, под которыми понимаются нитки графика отправления групп вагонов грузоотправителя (собственных, операторских компаний, арендованных). При использовании дополнительной нитки графика (показана пунктиром на рисунке 2) продолжительность времени уменьшается в соответствии с формулой

$$T_d = T / (n_d + 1), \quad (3)$$

где n_d – количество дополнительных ниток внутри периода времени T . Например, в соответствии с рисунком 2 величина $n_d = 1$.

Тогда $T_d = T / (1 + 1) = T / 2$.

Интенсивность потока требований определяется из соотношений $\lambda = 1 / T$ или $\lambda_d = 1 / (T / 2) = 2 / T$. В формуле (1) величина $T_3 = T$. Подставляя в формулу (1) величину T и соотношения (3), получаем

$$\rho_k = t_{\text{пор}}^c / (T(n_d + 1)). \quad (4)$$

Причём в формуле (4) должно выполняться условие $t_{\text{пор}}^c / T(n_d + 1)$ или $t_{\text{пор}}^c / T$, если $n_d = 0$. В данной ситуации мы рассматриваем одноканальную систему обслуживания. На рисунке 2 приведена n -канальная система, где

каждая нитка графика движения представляет собой один канал обслуживания. Общеизвестно, что $\rho_k / n < 1$. Если $\rho_k / n > 1$, очередь растёт до бесконечности.

Обобщая вышеизложенное, следует указать следующее.

1 В соответствии с рисунком 2 в уравнении баланса компенсации случайной составляющей используется период времени T для определения величины группы $\lambda_b^c T$, где λ_b^c – среднечасовая интенсивность потока вагонов грузоотправителя. Данная величина группы вагонов грузоотправителя может отправляться с использованием ближайшей нитки графика движения поездов. По своему существу такой подход характеризует существующую технологию перевозочного процесса, в которой вагонная составляющая и её ставка определяются на бирже $c_{вч}^c$. В свой состав $c_{вч}^c$ включает: амортизацию вагона; затраты на ремонт вагонов, зависящие от времени; затраты связанные с отстоем на путях общего и необщего пользования в ожидании отправления порожних вагонов грузоотправителя по назначению (они включаются в детерминированную модель); получение владельцем перевозочных средств прибыли от перевозки в своих вагонах и др. Рассматриваемые случайные требования появляются через расчётный интервал T , который подчиняется закону Эрланга n -го порядка. Нитка графика может рассматриваться как одноканальная система.

2 Целевая функция $F(T)$ или уравнение баланса рассматривается исходя из интересов собственников вагонов, т. е. что ему выгодно – накапливать свои вагоны до конкретного предела на определённую нитку графика или отправлять небольшими оптимальными группами. В настоящее время данная задача решается для условий отправления оптимальными группами. Однако данный подход может быть адаптирован для обоснования целесообразности использования и стоимости нитки графика при наличии собственных поездного локомотива и вагонов. Для одноканальной системы должно выполняться условие $t_{пор}^c / T$. В реальных условиях группа вагонов может отправляться с интервалом меньше T (см. рисунок 2). Соответственно целевая функция должна быть преобразована с требованием данного условия, которое может рассматриваться с различных точек зрения.

1 Пропускной способности достаточно и даже имеется её существенный резерв. В такой ситуации загрузка обслуживающего устройства не изменится. Однако в таком случае потребуется дополнительный парк локомотивов и бригад машинистов, что должно быть учтено в железнодорожной тарифной ставке. Кроме того, при постоянном вагонопотоке уменьшится состав поезда, увеличится расход топлива на единицу перевозимого груза и др.

2 Пропускной способности недостаточно. В данной ситуации следует в тарифной ставке учесть инвестиционную составляющую, а в случае госу-

дарственной поддержки откорректировать соответствующим образом целевую функцию.

В дальнейшем принимаются условия: используется одноканальная система; загрузка обслуживающего устройства определяется соотношением (5); величина требования определяется по формуле $q_{\text{тр}} = \lambda_{\text{в}}^c T$.

Для решаемой задачи целевая функция будет иметь вид

$$F(T) = \rho_{\text{к}}^2 \lambda_{\text{в}}^c T c_{\text{вч}}^c (\gamma_{\text{вх}} + \lambda_{\text{об}}) t / [2(1 - \rho_{\text{к}})] + (1 - \rho_{\text{к}}) c_{\text{тч}} t, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{к}}$ – коэффициент загрузки по времени системы обеспечения порожними вагонами грузоотправителя в цепочке обслуживания «спрос на вагоны – грузовой комплекс», $\rho_{\text{к}} = t_{\text{пор}}^c / (nT)$; $\gamma_{\text{вх}}, \gamma_{\text{об}}$ – соответственно коэффициенты вариации входящего потока вагонов и продолжительности их обслуживания; $c_{\text{тч}}$ – тарифная ставка, руб./группу-ч.

Расчётная формула для определения $c_{\text{тч}}$ имеет вид

$$c_{\text{тч}} = c_{\text{т}}^{\text{пор}} \lambda_{\text{в}}^c T v_{\text{пор}} / l_{\text{пор}}^c, \quad (6)$$

где $c_{\text{т}}^{\text{пор}}$ – тарифная ставка за перевозку порожнего вагона грузоотправителя, руб./ваг.; $l_{\text{пор}}^c$ – расстояние перевозки порожнего вагона грузоотправителя, км; $v_{\text{пор}}$ – скорость доставки порожнего вагона, км/ч.

Величина $v_{\text{пор}}$, км/ч, может быть принята нормативной и определяется из соотношения

$$v_{\text{пор}} = v_{\text{д}} / 24, \quad (7)$$

где $v_{\text{д}}$ – нормативная скорость доставки, $v_{\text{д}} = 200$ км/сут.; $t_{\text{пор}}^c$ – продолжительность следования приватного вагона в порожнем состоянии, ч,

$$t_{\text{пор}}^c = v_{\text{пор}} / l_{\text{пор}}^c. \quad (8)$$

С учётом вышеприведённых выражений целевая функция примет вид

$$F(T) = \frac{\rho_{\text{к}}^2 \lambda_{\text{в}}^c T c_{\text{вч}}^c (\gamma_{\text{вх}} + \gamma_{\text{об}}) t}{2(1 - t_{\text{пор}}^c / (nT))} + (1 - t_{\text{пор}}^c / (nT)) c_{\text{т}}^{\text{пор}} \lambda_{\text{в}}^c T \frac{v_{\text{пор}}}{l_{\text{пор}}^c} t, \quad (9)$$

В результате решения уравнения $dF(T) / dT = 0$ получено

$$T_0 = 24 l_{\text{пор}}^c / (n v_{\text{д}}) + \sqrt{12 l_{\text{пор}}^c c_{\text{вч}}^p (v_{\lambda}^2 + v_{\mu}^2) / (n^2 v_{\text{д}} c_{\text{т}}^{\text{пор}})}. \quad (10)$$

После установления оптимального значения T_0 появляется возможность произвести следующие действия.

1 Определить оптимальную партию вагонов $\lambda_{\text{в}}^c T_o$ из условия равенства издержек на накопление вагонов в условиях вероятностного характера спроса на вагоны и издержек на их перемещение.

2 Рассчитать дополнительные издержки, связанные с содержанием излишнего парка вагонов и соответствующего этому подвижному составу резерву пропускной способности системы обслуживания. Причём развитие инфраструктуры обеспечивает её владелец или государство из своего бюджета, а приобретение и содержание вагонного парка осуществляет его владелец, включая также дополнительные провозные платежи на перемещение данного подвижного состава.

3 Определить средний простой требования или вагона в очереди в ожидании выполнения технологических операций [2], ч/требование

$$t_{\text{ож}}^{\text{TP}} = (\rho_{\text{к}}^o)^2 / [\lambda_{\text{тр}}^o (1 - \rho_{\text{к}}^o)], \quad (11)$$

где $\rho_{\text{к}}^o$ – оптимальное значение загрузки системы обслуживания;

$$\rho_{\text{к}}^o = t_{\text{пор}}^c / (T_o);$$

$\lambda_{\text{тр}}^o$ – оптимальная интенсивность потока требований, требований/ч,

$$\lambda_{\text{тр}}^o = 1 / T_o. \quad (12)$$

Тогда средний простой вагона в очереди, ч/ваг.

$$t_{\text{ож}}^{\text{B}} = (\rho_{\text{к}}^o)^2 / [\lambda_o^{\text{B}} (1 - \rho_{\text{к}}^o)]. \quad (13)$$

В соответствии с первым элементом формулы (5) количество вагонов в очереди будет определяться по формуле [3]

$$L_{\text{оч}}^{\text{B}} = (\rho_{\text{к}}^o)^2 \lambda_o^{\text{B}} T_o (1 - \rho_{\text{к}}^o), \text{ ваг./в очереди}; \quad (14)$$

4 Определить по формуле (14) количество вагонов в очереди, обусловленное неравномерным спросом на вагоны и вероятностной продолжительностью обслуживания в системе их доставки до грузоотправителя от места выгрузки. Величина $L_{\text{оч}}^{\text{B}}$ может быть применена для обоснования запаса вагонов в местах необщего пользования, где они используются для отгрузки готовой продукции в соответствии со спросом. В случае отсутствия запаса порожних вагонов в местах их погрузки простой грузового фронта в ожидании вагонов рассчитываться по формуле (11).

5 Оптимальный коэффициент загрузки рассматриваемой системы обслуживания $(\rho_{\text{к}}^o = t_{\text{пор}}^c / T_o)$ ограничивает верхний предел, который не должна превышать сумма коэффициентов, учитывающая вспомогательные $(\Delta\rho_{\text{всп}})$ и технологические $(\rho_{\text{тех}})$, операции:

$$\rho_k^o = \rho_{\text{тех}} + \Delta\rho_{\text{всп}}. \quad (15)$$

К рассмотренным выше коэффициентам следует добавить прирост $\Delta\rho_d$ на простой системы обслуживания, обусловленные неоптимальными сочетаниями выполняемых операций, которые решаются с использованием теории расписаний и других математических методов. Таким образом:

$$\rho_k^o = \rho_{\text{тех}} + \Delta\rho_{\text{всп}} + \Delta\rho_d. \quad (16)$$

Вероятность простоя обслуживающего устройства определяется из уравнения

$$\Delta\rho_{\text{обсл}} = 1 - \rho_k^o. \quad (17)$$

Таким образом, в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1 Целевая функция составлена из условия равенства издержек собственника вагонов, связанных со случайным спросом на них, и сопоставления издержек владельца вагонов, обусловленных перемещением рассматриваемых порожних вагонов до станции их погрузки. По существу, здесь идёт речь о величине части общей группы порожних вагонов после достижения которой её экономически целесообразно перемещать до станции погрузки. Причём рассматриваемая часть группы вагонов грузоотправителя обусловлена случайными процессами как на оси времени, так и продолжительности обслуживания данных требований. В результате будут учитываться издержки в виде потерь из-за простоя порожних вагонов грузоотправителя как в очереди в ожидании обслуживания в рассматриваемой системе, так и дополнительных провозных платежей на их передвижение подвижного состава до запланированной станции назначения.

2 В условиях наличия резерва пропускной способности рассматриваемых участков железнодорожных линий дополнительных инвестиций в их развитие не потребуется. Данное положение в полной мере относится и к вагонному парку. В случае отсутствия резерва пропускной способности железнодорожных участков и запаса вагонного парка грузоотправителя появится потребность в дополнительных инвестициях для ее увеличения.

3 Внедрение интеллектуальных технологий на основе цифровизации позволит в уравнениях (16) и (17) существенно снизить элементы $\Delta\rho_{\text{сл}}$ и $\Delta\rho_d$, повысив тем самым коэффициент загрузки во времени системы обслуживания и эффективность её функционирования. В то же время наличие допустимых значений коэффициента загрузки системы обслуживания позволит оценить потребность в дополнительном резерве пропускной способности или её избытке.

4 В основу расчета технологических параметров закладывается детерминированная целевая функция, связанная с обеспечением порожними ваго-

нами грузоотправителей в цепочке обслуживания «спрос на вагоны – грузовой комплекс». При этом в качестве ограничения выступает коэффициент ($\rho_{\text{тех}}$) загрузки системы обслуживания порожними вагонами. С учетом данного ограничения осуществляется разработка мероприятий по адаптации $t_{\text{пор}}^c$ и T_o реальным условиям. Данная задача решается с использованием разработанной схемы адаптации параметров функциональной модели процесса движения и взаимодействия вагонопотоков с учётом требований железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

5 Процессы движения и взаимодействия вагонопотоков в функциональной модели на транспорте общего и необщего пользования зависят от случайной и детерминированной составляющих. В связи с этим в основу исследования закладываются детерминированная и вероятностная целевые функции. При составлении критерия оценки случайной составляющей процесса за основу берутся удельные стоимостные показатели детерминированной целевой функции. При этом все расчетные показатели относятся на систему обслуживания и на поток требований в ней. Например, в системе доставки порожних вагонов грузоотправителя удельная тарифная ставка рассматриваемого подвижного состава, состоящая из инфраструктурной и локомотивной составляющих, продолжительности выполнения маневровых операций отнесена на систему обслуживания. На поток требований отнесены соответствующие удельные стоимостные ставки, связанные с простоем порожних вагонов под накоплением, со сроком доставки подвижного состава, несвоевременной отгрузкой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Еловой, И. А. Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : [монография] / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

2 Оптимизация процессов грузовой работы / А. А. Смехов [и др.]. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.

3 Вентцель, Е. С. Задачи и управления по теории вероятностей : учеб. пособие для студ. вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – 5-е изд., испр. – М. : Академия, 2004. – 448 с.

E. N. POTYLKIN, I. A. ELOVOY, S. A. PETRACHKOV

DETERMINATION OF TIME PARAMETERS WHEN GROUPS OF WAGONS ACCUMULATE AT THE STATION

The article examines in detail the process of moving own wagons in an empty state and their temporary placement on the sediment tracks. The components of the objective function are substantiated, on the basis of which the optimal average period of accumulation of groups own wagons at the station is determined.

Получено 20.07.2024

УДК 656.2+06

Н. А. РЕПЕШКО, О. Н. ЧИСЛОВ, И. А. КОЛОБОВ

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону
Nar_75@mail.ru*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОПЕРАТОРОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Отмечается, что перевозочный процесс на железнодорожном транспорте представляет собой принятие управленческих решений диспетчера, планирование и контроль работы предприятий и станций обслуживаемых участков железной дороги, обеспечивает экономическую эффективность перевозочного процесса. Проведенными исследованиями доказывается значительное влияние на повышение эффективности работы операторов транспортной системы уровня профессиональной подготовки, индивидуальных качеств поездного диспетчера, уровня организации рабочего места и состояния технических средств.

Диспетчерское управление перевозочным процессом – сложная иерархическая система, в которой формируются свои объекты управления и производственные задачи. Эффективность оперативного управления перевозками определяется структурой управленческих органов, организацией трудовой деятельности диспетчеров на каждом участке управления. Главным в реализации технологии перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является постоянная способность диспетчера принимать управленческие решения, планировать и контролировать всю работу предприятий и станций обслуживаемого участка железной дороги в ограниченном трудовой операцией промежутке времени, обеспечивая при этом экономическую эффективность перевозочного процесса и благополучие коллектива железной дороги [5].

На повышение эффективности работы операторов транспортной системы влияют уровень профессиональной подготовки, индивидуальные качества поездного диспетчера, уровень организации рабочего места и состояние технических средств. По проведенному социологическому исследованию [4] списка наиболее трудоемких диспетчерских функций была составлена анкета из ста вопросов, на которые ответили 100 мужчин и 32 женщины. Средний возраст мужчин составил 37,2 года, женщин – 40,6 года. По возрастным группам состав диспетчеров распределился следующим образом: до 30 лет – 11 %; от 31 до 40 лет – 44 %; от 41 до 50 лет – 31 %; свыше 50 лет – 14 % (рисунок 1).

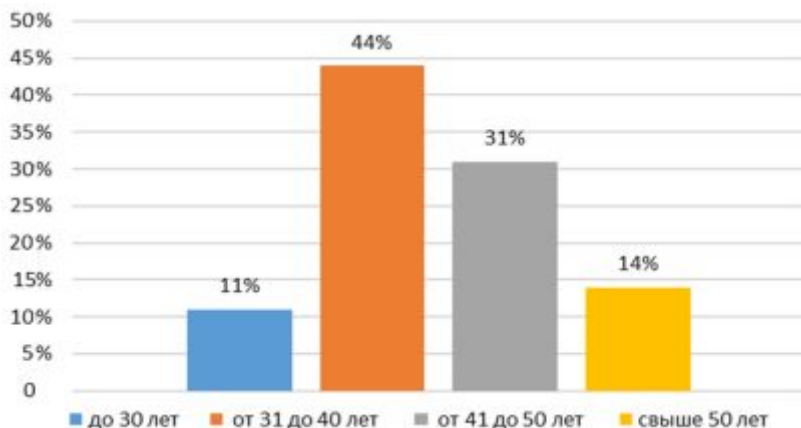


Рисунок 1 – Социологическое исследование работников железнодорожного транспорта

Результаты социологического обследования по вопросу наиболее трудоемких диспетчерских функций представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Процентное соотношение оценок наиболее трудоемких диспетчерских функций (по результатам социологического опроса)

При выборе вариантов диспетчерской регуляции многие поездные диспетчеры отмечали, что особые затруднения вызывают недостаточное путевое развитие и техническое оснащение станций, ввод большого количества технологических «окон» (особенно в дневную смену), наличие враждебных маршрутов, отклонения поездов от графика движения.

Поездной диспетчер обеспечивает безопасность движения, выполнение графика движения поездов, своевременную обработку грузовых поездов (групп вагонов), поступающих с железнодорожной станции примыкания; контролирует работу железнодорожных станций и принимает меры по обеспечению выполнения заданий по погрузке и выгрузке вагонов, приему, формированию и отправлению поездов; следит за приемом и отправлением поездов на железнодорожных станциях, их проследованием по перегонам; дает указания дежурным по железнодорожным станциям по организации движения поездов, о закрытии и открытии перегонов или отдельных путей, о переходе с одних средств сигнализации и связи на другие при движении поездов; регистрирует приказы в журнале диспетчерских распоряжений; переводит стрелки и управляет сигналами для приема, отправления, проследования поездов и для производства маневровой работы на железнодорожных станциях участков, оборудованных диспетчерской сигнализацией; ведет график исполненного движения, на котором отмечает данные о передвижении поездов, локомотивов, подачах, уборках вагонов, а также обо всех нарушениях, допущенных в работе, и их причинах; способствует эффективному использованию подвижного состава, обеспечивает выполнение сменного задания; изучает передовые методы организации движения поездов, производства маневровой работы и внедряет их с учетом местных условий в производство; проводит инструктаж подчиненных работников по безопасности работ, контролирует соблюдение ими правил безопасности движения и маневровой работы [3]. Как показали теоретические исследования, эти функции поездных диспетчеров могут быть автоматизированы, на их выполнение затрачивается от 45 до 65 % продолжительности смены на загруженных участках с автоматической или полуавтоматической автоблокировкой и от 50 до 70 % – на участках с диспетчерской централизацией. Однако такой уровень снижения загрузки поездного диспетчера нельзя принимать к учету при проектировании и создании АРМ ДНЦ по нескольким причинам [2].

Во-первых, реализация на автоматизированном рабочем месте поездного диспетчера указанных функций будет осуществляться, как правило, не полностью, а только в автоматизированном режиме по заданию диспетчера или режиме его диалога с компьютером. Очевидно, что такие режимы потребуют от диспетчера определенных действий и временных затрат. Например, если ведение графика исполненного движения и прогнозного графика (плана-графика пропуска поездов по участку) на экранах дисплеев может осуществляться автоматически (диспетчеру остается восприятие и анализ информации), то выдача графика исполненного движения на печать может быть запрограммирована как на автоматический режим, так и на выполне-

ние по заданию поездного диспетчера. Аналогичное утверждение правомерно и по отношению к выдаче на печать приложения к графику, журнала диспетчерских распоряжений, информации о подходах поездов, и по отношению к установке маршрутов поездам на участках с диспетчерской централизацией.

Такие операции, как получение достоверных данных о составах поездов, составление и передача диспетчерских приказов, выбор вариантов диспетчерской регулировки, ввод причин задержек и опозданий в основном будут реализовываться в непосредственном диалоге поездного диспетчера (ДНЦ) с компьютером с соответствующими затратами времени.

Во-вторых, при автоматизации в работе поездного диспетчера возникают новые функции и операции, связанные с функционированием самой автоматизированной системы диспетчерского управления на участке и автоматизированного рабочего места поездного диспетчера, а также со сбоями в их работе [1].

Поэтому с достаточной степенью надежности величину общего снижения загрузки поездного диспетчера за счет автоматизации его основных функций можно принять равной 30–40 % при 12-часовой продолжительности смены, что равноценно повышению производительности диспетчерского труда в 1,4–1,8 раза на участках с расчетной загрузкой ДНЦ до автоматизации его функций в размере 90–95 %.

На участках с меньшей общей загрузкой удельный вес затрат времени по автоматизируемым функциям, как правило, несколько снижается и эффективность автоматизации находится в пределах, близким к указанному.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Грачев, О. А.* О специализации железнодорожных направлений преимущественно для грузового или пассажирского движения на сети дорог в адрес юга России / О. А. Грачев, В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 3. – 15 с.

2 *Зубков, В. Н.* Коммерческая диспетчеризация – новый способ повышения уровня взаимодействия железной дороги и оператора подвижного состава / В. Н. Зубков, Н. Н. Мусиенко // Транспорт и логистика: пространственно-технологическая синергия развития : сб. науч. тр. IV Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д, 2020. – С. 88–92.

3 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. – М : ЦЕНТРМАГ, 2024. – 524 с.

4 *Бондаренко, Н. А.* Обеспечение безопасности транспортного производства в системе «машинист-поезд-диспетчер» с учетом компьютерной стабильности : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Н. А. Бондаренко. – Ростов н/Д, 2006. – 231 с.

5 *Рожков, А. Н.* Формирование эффективной структуры управления организацией труда работников перевозочного комплекса железной дороги : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / А. Н. Рожков. – Хабаровск, 2012. – 22 с.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF TRANSPORT SYSTEM OPERATORS

The transportation process in railway transport is the adoption of managerial decisions by the dispatcher, planning and control of the work of enterprises and stations of the serviced sections of the railway, ensures the economic efficiency of the transportation process. The level of professional training, the individual qualities of the train dispatcher, the level of workplace organization and the state of technical facilities affect the increase in the efficiency of the operators of the transport system.

Получено 17.10.2024

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024

УДК 654.6.4

С. Н. ТИМАШКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕРЕМЕННЫХ ФОРМУЛЫ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПУНКТОВ ПОГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ ВОИНСКИХ ГРУЗОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ И ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЯХ

Рассмотрены различные варианты работы железнодорожных станций пунктов погрузки-выгрузки воинских грузов, путевое развитие техническое оснащение железнодорожных станций, которые обеспечивают сокращение времени в движении и нахождение воинских эшелонов и транспортов на станциях отправления и назначения.

Пропускная способность грузовых мест для грузовых операций с воинскими грузами зависит от целого ряда факторов, обусловленных спецификой выполняемых работ, особенностями путевого развития и технического оснащения пунктов погрузки-выгрузки воинских грузов. В настоящее время действующие методические нормативы разделяют расчеты продолжительности времени, в течение которого производятся грузовые операции с воинскими грузами, и погрузочно-выгрузочной способности грузовых мест [1, 2]. При этом в соответствующих формулах используются одни и те же переменные, но различные по содержанию. В результате проведенного автором предварительного анализа для дальнейших исследований предлагается обобщенная формула расчета перерабатывающей способности грузовых пунктов, в которой все параметры определены более конкретно:

$$E_m = \frac{1440K}{a(t_{\text{под}} + t_{\text{уб}}) + b(t_1 + t_{\text{норм}}) + t_{\text{прим}}d + t_2}, \quad (1)$$

где 1440 – суточный бюджет времени, мин; K – коэффициент неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку и обуславливающий неравномерность прибытия-отправления поездов; a – число подач в составе одного поезда; $t_{\text{под}}$ – время подачи состава на путь погрузки (выгрузки), мин; $t_{\text{уб}}$ – время уборки (время до отправления) состава после погрузки, мин; b – коэффициент, учитывающий увеличение времени на погрузку (выгрузку) из-за подачи по частям; t_1 – время ожидания погрузки, мин; $t_{\text{норм}}$ – норма времени на размещение и крепление вооружения, военной и специальной техники (далее – ВВСТ) воинского эшелона (воинского транспорта) на железнодорожном подвижном составе, мин; $t_{\text{прим}}$ – время, необходимое на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ специалистами железнодорожного транспорта совместно с представителями органов военных сообщений, мин; d – коэффициент, учитывающий увеличение времени на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ при наличии негабаритных и длинномерных единиц ВВСТ, а также наличие у них поворотных частей, узлов и агрегатов; t_2 – время ожидания уборки подвижного состава, мин [1, с. 299].

Все переменные, входящие в формулу (1), требуется определить в количественно обусловленных диапазонах возможного изменения для различных условий.

1 Коэффициент K , как указано в методике [1], учитывает неполное использование погрузочно-выгрузочного места по причине различных норм времени на погрузку-выгрузку и негативное влияние неравномерности прибытия-отправления поездов и принимается в диапазоне значений 0,75–0,80. Более конкретные рекомендации по применению в расчетах значений этого коэффициента отсутствуют. За сутки влияние этого коэффициента может привести к тому, что время работы грузового пункта уменьшится до 1080–1152 мин, т. е. на 360 мин и 288 мин соответственно [2, с. 54].

Согласно методике коэффициент K имеет две составляющие, которые оказывают влияние на время работы грузового пункта за сутки по причинам:

- неполного использования погрузочно-выгрузочного места из-за различия норм на погрузку-выгрузку;
- неравномерности прибытия-отправления поездов.

При выполнении воинских перевозок по жестким расписаниям прибытия воинских эшелонов и транспортов на станцию эффективность использования погрузочно-выгрузочных мест возрастает благодаря надежному прогнозированию, так как исключается неравномерность подвода поездов. В обоих случаях может иметь место неполное использование погрузочно-выгрузочного места. Это обусловлено требованиями безопасности воинских перевозок, в соответствии с которыми на станциях погрузки (выгрузки) должен находиться только один состав с воинским эшелоном (воинским транспортом). Очередной же состав должен находиться на соседней станции. Неис-

пользование погрузочно-выгрузочного места обусловлено ожиданием подвода очередного воинского эшелона или воинского транспорта под погрузку-выгрузку. Влияние неравномерного прибытия-отправления поездов на время погрузки (выгрузки) воинских эшелонов и воинских транспортных средств зависит от времени хода поездов по прилегающим к станции участкам и режима работы железнодорожных участков в целом.

Обоснование вариаций числовых значений коэффициента K может быть выполнено в результате имитационного моделирования, что было отражено в работе [4, с. 294]. Согласно проведенным исследованиям с использованием метода имитационного моделирования коэффициент K_n изменяется в следующих диапазонах:

- в зависимости от времени следования поездов по перегону, прилегающему к станции выгрузки, при преимущественном выполнении маневровой работы ($K_n = 0,7 \dots 0,78$);

- то же для станций погрузки ($K_n = 0,63 \dots 0,69$);

- при преимуществе поездной работы на участке, снижающем возможности оперативной маневровой работы на станциях погрузки ($K_n = 0,22 \dots 0,67$).

В результате проведенных автором исследований оценки влияния коэффициента K на пропускную способность грузового места на железнодорожной станции при выполнении погрузки-выгрузки воинских грузов получен вывод о его незначительном влиянии (рисунок 1).

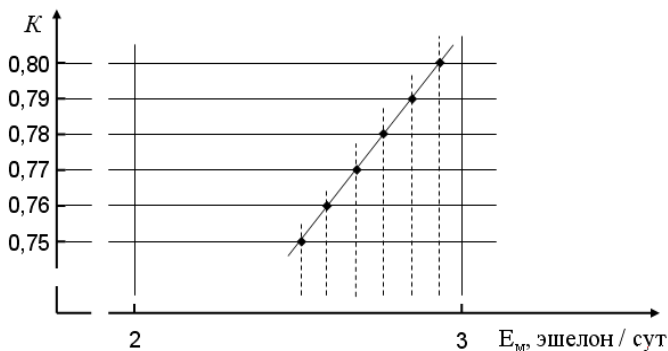


Рисунок 1 – График оценки влияния коэффициента K на погрузочно-выгрузочную способность грузового места

Таким образом, данный коэффициент оказывает неоднозначное влияние на погрузо-выгрузочную способность фронтов при различных условиях проведения работ (преимущественное выполнение маневровых и поездных операций, на станциях погрузки и выгрузки воинских грузов и др.).

2 Время подачи состава на путь погрузки-выгрузки $t_{\text{под}}$ и время уборки состава после завершения грузовых операций $t_{\text{уб}}$.

Технологические операции подачи и уборки вагонов к месту погрузки-выгрузки воинских грузов на железнодорожных станциях в местах общего и необщего пользования необходимо рассчитывать с учетом путевого развития станции, используемых маневровых средств и технологии работы станции. Это подтверждает необходимость учета особенностей каждой железнодорожной станции, на которой выполняются операции с воинскими грузами.

3 Коэффициент b , учитывает увеличение времени на погрузку-выгрузку из-за подачи по частям. При одной подаче $b = 1$. В условиях недостаточной длины фронтов и необходимости деления группы подаваемых вагонов на части $b > 1$.

Влияние коэффициента, учитывающего увеличение времени на погрузку из-за подачи вагонов по частям на погрузочно-выгрузочную способность грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов представлено на рисунке 2.

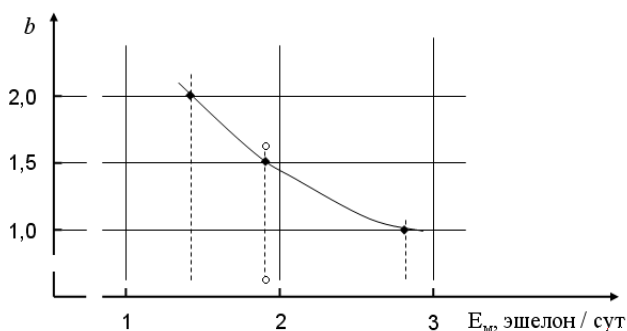


Рисунок 2 – Влияние коэффициента b на погрузочно-выгрузочную способность грузового места

Анализ графика показал, что коэффициент b оказывает значительное влияние на E_m .

4 Время ожидания погрузки t_1 согласно существующей методике определено как элемент, зависящий от ряда операций. Для получения конкретных выводов необходимо проведение исследований по оценке степени влияния данного параметра от операций подготовки подвижного состава к погрузке (открытие бортов платформы, зачистка от снега и остатков груза, укладка переходных мостков, распределение крепежного материала по точкам выполнения работ и др.).

5 Норма времени на размещение и крепление ВВСТ воинского эшелона (воинского транспорта) на железнодорожном подвижном составе $t_{норм}$ определяется согласно [5, приложение 1].

6 Время, необходимое на проведение проверки правильности размещения и крепления ВВСТ специалистами железнодорожного транспорта со-

вместно с представителями органов военных сообщений $t_{\text{прием}}$ принимается в существующей методике равным 2 минутам на каждый вагон. Время данной технологической операции может быть увеличено в d раз, если в составе эшелона имеются негабаритные, длинномерные грузы или техника с поворотными частями. В существующей методике расчета времени погрузки воинского эшелона [5] коэффициент d принимается равным 1,2. Предварительные исследования показывают, что зависимый от него параметр $t_{\text{прием}}$ должен зависеть также от числа вагонов с ВВСТ в подаче.

8 Время ожидания уборки подвижного состава t_2 связывается с сопутствующим перечнем технологических операций (опробывание автотормозов вагонов, уборка тормозных башмаков, подготовка маршрута уборки вагонов).

Таким образом, для корректной оценки величины пропускной способности пунктов погрузки-выгрузки воинских грузов требуется провести корреляционный анализ и определить значимость влияния различных факторов на продолжительность выполнения станционных и грузовых технологических операций с воинскими эшелонами и транспортом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Тимашков, С. Н. Анализ влияния эмпирических коэффициентов в методике расчета погрузо-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции при погрузке воинских грузов / С. Н. Тимашков // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества (Гомель, 21–22 ноября 2024 г.) : в 2 ч. Ч. 2 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 299–301.

2 Тимашков, С. Н. Анализ методики расчета погрузо-выгрузочной способности грузового места на железнодорожной станции при организации воинских перевозок / С. Н. Тимашков // Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Д. В. Ляпорова. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 52–56.

3 Гордюк, А. Г. Военные сообщения : учеб. пособие / А. Г. Гордюк, М. Г. Козлов. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 265 с.

4 Особенности управления местной работой на железнодорожных участках, обслуживающих прямые отправительские маршруты / Г. И. Паламарчук [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2023. – Вып. 2. – Т. 20. – С. 290–301.

5 Методическое пособие по расчету времени, необходимого на перевозку воинского эшелона. Приказ ЗМОТ – начальника тыла ВС № 10/298 от 10.03.2016 г. – Минск, 2016. – 15 с.

6 Пищик, Ф. П. Технология и организация маневровой работы на промежуточной станции : практикум / Ф. П. Пищик. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 35 с.

7 Тимашков, С. Н. Опыт организации воинских перевозок и погрузки-выгрузки грузов на местах общего пользования железнодорожных станций / С. Н. Тимашков // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 5. – С. 174–185.

**STUDY OF THE PARAMETRIC COMPOSITION VARIABLES
OF THE FORMULA FOR CALCULATING THE THROUGHPUT CAPACITY
LOADING AND UNLOADING POINTS OF MILITARY CARGO
AT RAILWAY STATIONS AND ACCESS ROUTES**

The various variants work of railway stations and items of loading – unloading military cargoes, travelling development and hardware of railway stations ensuring reduction of time in movement both presence of military echelons and transports at station of departure and station of assignment are considered.

Получено 22.10.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 656.21.08

Е. А. ФИЛАТОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
filatoff.ea@yandex.ru*

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНЫХ ГОРЛОВИН
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

Представлены результаты исследований в области обеспечения безопасной и эффективной маневровой работы с подвижным составом различных типов, которые позволили уточнить влияние конструкции вагонов на параметры стрелочных горловин железнодорожных станций и грузовых терминалов. Часто железнодорожные станции и терминалы обеспечивают транспортное обслуживание предприятий, с узкой номенклатурой грузов и подвижным составом определенного типа. С учетом такой специализации грузовых пунктов железнодорожных станций целесообразно рассматривать индивидуальные требования к соответствующей путевой инфраструктуре. В статье выполнен анализ влияния конструкций платформ на параметры транспортной инфраструктуры контейнерных терминалов и других предприятий, использующих преимущественно платформы.

На платформах перевозится достаточно широкая номенклатура грузов. Часто это груз не стандартизированного размера с особыми условиями транспортировки: металлические изделия (трубы, листы, рулоны, слябы), оборудование и запчасти машин и механизмов, станки, различная колесная техника, воинские грузы, контейнеры, длинномеры и др. Платформы оборуду-

дованные бортами могут применяться для перевозки навалочных и насыпных грузов, оборудованные стойками – для лесных и длинномерных грузов, пакетированных грузов и т. д. Особое место на современном этапе развития транспортного рынка занимают перевозки контейнеров на специальных фитинговых платформах. Согласно данным из открытых источников перевозка контейнеров на Белорусской железной дороге в последние годы имеет устойчивый рост. В 2023 году дорога перевезла более 1 млн ДФЭ [1], что по сравнению с 2022 больше на 60 %. Устойчивый рост контейнерного потока складывается и на Российских железных дорогах. В 2023 году перевезено 7,4 млн ДФЭ, что на 14 % больше 2022 года [2]. Важную роль здесь играют набирающие темп перевозки из Китая в Европу. В целом универсальность перевозок в контейнерах делает такие перевозки незаменимым инструментом эффективной смешанной перевозки. На Белорусской железной дороге 34 станции открыты для работы с контейнерами, половина из них могут выполнять грузовые операции с 40-футовыми контейнерами [3]. Главный терминал по работе с контейнерами расположен на станции Колядичи и входит в состав государственного предприятия «БТЛЦ» Белорусской железной дороги. Практически два десятка путей необщего пользования предприятий различных отраслей имеют собственные возможности выполнять грузовые операции с контейнерами [3].

Для обеспечения перевозок таких грузов применяются в основном платформы, конструкционные особенности которых определяют условия эксплуатации соответствующих специализированных железнодорожных станций и путей необщего пользования. Следует отметить, что перевозка контейнеров связана с недостаточно эффективным использованием грузоподъемности вагонов. Одним из наиболее очевидных способов снижения коэффициента тары для таких перевозок является погрузка двух и более контейнеров на платформу. Однако это требует применения платформ увеличенных размеров. Учитывая рост объемов таких контейнерных перевозок, вопросы обеспечения безопасности при проектировании транспортной инфраструктуры станций приобретают особую актуальность. Поэтому рекомендации [4] к параметрам конструкций горловин могут быть актуализированы с учетом сложившихся конструкционных особенностей вагонного парка платформ.

В таблице 1 представлены результаты моделирования сцепления при маневровой работе платформ различных моделей на расчетных элементах стрелочных горловин: одиночных стрелочных переводах марок 1/6 и 1/9; схемах попутного разностороннего размещения переводов марок 1/6 и 1/9 без вставки; круговой кривой радиуса 200 м ($\alpha = 5^\circ$) [5].

Таблица 1 – Сравнение технической совместимости вагонов и расчетных элементов

Параметры платформ, количество осей / модель (длина по осям / база / консоль / внутренняя колесная база)	Обеспечение технической совмести- мости ($\Delta = B_3 - b_{\text{ок}}$), мм [4]		
	стрелочный перевод 1/6 / 1/9	схема № 3 1/6 – 1/6 / 1/9 – 1/9	Кривая $R = 200$ м
1. 4 / 23-4052 и модиф. (11200 / 6500 / 2350 / 4650)	+96 / +96	+26 / +98	+96
2. 4 / 13-4094, 23-4090 и модиф. (11220 / 6500 / 2360 / 4650)	+96 / +95	+25 / +98	+95
3. 4 / 13-149, 3064 и модиф. (12020 / 7800 / 2110 / 5950)	+95 / +95	+25 / +97	+95
4. 4 / 13-3103-1 (13620 / 9400 / 2110 / 7550)	+86 / +86	+9 / +82	+86
5. 4 / 13-198 и модиф. (13920 / 8650 / 2635 / 1800)	+72 / +72	-19 / +67	+72
6. 4 / 23-4027, 23-4118 (13920 / 8400 / 2760 / 6550)	+70 / +69	-24 / +64	+69
7. 4 / 13-192 (13920 / 8800 / 2560 / 6950)	+74 / +74	-15 / +68	+69
8. 4 / 13-Н453, 13-Н459, 13-Н004 (14194 / 9294 / 2450 / 7444)	+75 / +74	-14 / +68	+74
9. 4 / 23-4085 (14620 / 7200 / 3710 / 5350)	+45 / +45	-72 / +33	+45
10. 4 / 13-2114, 13-292, 13-3110, 13-3121, 13-401, 13-4085, 13-5001, 13-9744, 13-9775, 13-Н451, 13-Н455, 23-4064, 23-4084, 13-401, 13-4019, 13-Н451, 13-Н452, 13-Н455 и модиф. (14620 / 9720 / 2450 / 7870)	+72 / +72	-19 / +63	+72
11. 4 / 13-4107 (14620 / 10400 / 2110 / 8550)	+80 / +80	-1,5 / +72	+80
12. 6 / 13-435 (15220 / 9000 / 3110 / 7250)	+61 / +61	-40 / +43	+61
13. 4 / 13-297 (15560 / 9400 / 3080 / 7000) –РВМТ	+48 / +50	-62 / +32	+48
14. 4 / 13-7043 (19600 / 14600 / 2500 / 12750) –ДБ	+37 / +40	-91 / 0	+33
15. 4 / 13-1798 (19620 / 13460 / 3080 / 11610)	+15 / +19	-135 / -31	+13
16. 4 / 13-9007 (19620 / 13900 / 2860 / 12050)	+23 / +27	-119 / -19	+20
17. 4 / 13-491 (19620 / 14400 / 2610 / 12550)	+33 / +36	-99 / -6	+29
18. 4 / 13-470, 13-470-01, 13-1223, 13-2116, 13-9004 и модиф. (19620 / 14720 / 2450 / 12870)	+39 / +42	-87 / +3	+35
19. 4 / 13-926, 13-935, 13-935А и модиф. (19620 / 14400 / 2610 / 12550)	+33 / +36	-99 / -6	+29
20. 4 / 13-4117 (19720 / 15200 / 2260 / 13350)	+46 / +48	-72 / +12	+42
21. 4 / 13-3124 (20220 / 16000 / 2110 / 14150)	+51 / +52	-64 / +15	+45
22. 4 / 13-479 и модиф. (21660 / 16500 / 2580 / 14650)	+26 / +25	-116 / -29	+18
23. 4 / 13-4081 (21660 / 16550 / 2555 / 14700)	+27 / +26	-114 / -28	+19
24. 4 / 13-4095 (22520 / 17800 / 2360 / 15950)	+33 / +30	-103 / -25	+24
25. 4 / 23-925, 23-4000 и модиф. (23220 / 17750 / 2735 / 15900)	+14 / +10	-142 / -60	+3
26. 4 / 23-4028 (24000 / 17840 / 3080 / 15990) –РВУР	-4 / -9	-179 / -96	-18
27. 4 / 13-4082, 23-4082, 23-469 и модиф. (25220 / 19000 / 3110 / 17150)	-9 / -20	-191 / -116	-25

Окончание таблицы 1

Параметры платформ, количество осей / модель (длина по осям / база / консоль / внутренняя колесная база)	Обеспечение технической совмести- мости ($\Delta = B_3 - b_{\text{см}}$), мм [4]		
	стрелочный перевод 1/6 / 1/9	схема № 3 1/6 – 1/6 / 1/9 – 1/9	Кривая $R = 200$ м
29. 4 / 13-9009 (25520 / 18500 / 3510 / 16650)	–28 / –39	–231 / –154	–46
30. 4 / 13-9751 (25616 / 19300 / 3158 / 17450)	–13	–198 / –125	–29
31. 4 / 13-7024 (25620 / 18500 / 3560 / 16650)	–31 / –43	–236 / –160	–49
32. 4 / 13-7031 (25670 / 18500 / 3585 / 16650)	–33 / –44	–239 / –163	–51
33. 4 / 13-1796 и модиф. (25690 / 18500 / 3595 / 16650)	–32,5 / –45	–240 / –164	–51
34. 4 / 13-3115-1 (25866 / 19700 / 3083 / 17850)	–10 / –25	–192 / –122	–27
35. 4 / 13-2118, 13-4128 (26220 / 19000 / 3610 / 17150)	–35 / –52	–245 / –174	–55
36. 4 / 13-1163, 13-4108 (26220 / 20000 / 3110 / 18150)	–12 / –29	–197 / –129	–30
37. 4 / 13-4092 (27000 / 20780 / 3110 / 18930) – РВСУР	–14 / –33	–202 / –140	–33

Как видно из таблицы 1, существенная доля вагонов платформ, эксплуатируемых на колее 1520 мм, относятся к группе вагонов увеличенных размеров (ВУР). Несоблюдение условий автоматического сцепления наблюдается с платформами большинства типов, начиная от модели массового типа 13-198 длиной 13,92 м (строка 5 таблицы 1). Высокая вероятность возникновения нарушений при маневрах со сцеплением в стрелочных горловинах станций наблюдается начиная от вагона модели 19-798 длиной 19,62 м (строка 15). Аналогичные условия создает платформа модели 13-479 длиной 21,66 м, относящейся уже к группе вагонов увеличенных размеров (строка 22). Наиболее сложные условия взаимодействия создаются при размерах платформ, равных и более модели 23-4028 длиной 24 м (строка 26). Эта группа вагонов увеличенных размеров не гарантируют сцепление в кривых, даже самых простых конструкций. Стоит отметить начало категории длиннобазных вагонов (ДБ), имеющих расстояние между осями внутренних колесных пар 11,3 м (в соответствии с ПТЭ). Это платформа модели 13-7043 длиной 19,6 м (внутренняя колесная база 12,75 м, строка 14). Поэтому в представленном исследовании в качестве расчетной платформы группы вагонов массовых типов (РВМТ) принята платформа модели 13-297 длиной 15,56 м, как не относящаяся к длиннобазным (строка 13). Группа длиннобазных вагонов имеет заметные внутренние различия по условию обеспечения безопасности маневровой работы. Поэтому, с учетом небольшой доли, предлагается выделить подгруппу платформ сверхувеличенных размеров (ВСУР) длиной 24 м и более (нарушения гарантированно возникают при взаимодействии в зоне всех выбранных расчетных сочетаний (строка 26, модель 23-4028).

Проверка требований к проектированию на обеспечение безопасности маневровой работы с вагонами платформами расчетных типов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ обеспечения безопасности и эффективности маневров с вагонами платформами в нормах проектирования

Номер схемы	Оценка требований для ВМТ(13-7043)/ВУР(23-4028)/ВСУР(13-4092)			
	на станциях [5]		на путях необщего пользования [6]	
	существующие отклонения, мм	ограничения, м	существующие отклонения, мм	ограничения, м
1 Криволинейные участки пути				
1.1 (круговые)	$\Delta_{R180-200} = +26-38$ $\Delta_{R180-200} = -37-18$ $\Delta_{R180-200} = -65-44$	$\frac{-}{R_{\min} = 230}$ $R_{\min} = 260$	$\Delta_{R140} = -10$ $\Delta_{R140} = -90$ $\Delta_{R140} = -129$	$R_{\min} = 150$ $R_{\min} = 230$ $R_{\min} = 260$
1.2 (s-образные без вставки)	$\Delta_{SR200/250} = -91-45;$ $\Delta_{SR200/250} = -193-134$ $\Delta_{SR200/250} = -221-176$	$R_{\min} = 350;$ $L_{\max R200} = 13$ $L_{\max R200} = 11$ $L_{\max R200} = 11$	$\Delta_{R160} = -137$ $\Delta_{R160} = -230$ $\Delta_{R160} = -251$	$L_{\max R160} = 10,5$ $L_{\max R160} = 9$ $L_{\max R160} = 9$
1.3 (s-образные с прямой вставкой)	$\Delta_{SR200d15} = +33$ $\Delta_{SR200d15} = -33$ $\Delta_{SR200d15} = -67$	$d_{SR200} = 8;$ не обеспеч. не обеспеч.	$\Delta_{R160d6,25} = -59;$ $\Delta_{R160d6,25} = -178$ $\Delta_{R160d6,25} = -212$	$d_{\min} = 12,5;$ не обеспеч. не обеспеч.
2 Расположение стрелочных переводов ($R_{\text{загр}} \geq R_{\text{пер}}$)				
2.1 одиночный перевод (1/6; 1/9, 1/11)	$\Delta = +37; +41; +75$ $\Delta = -4; -10; +37$ $\Delta = -14; -33; +17$	—		
2.2 Схема № 1 (1/9, 1/11)	$\Delta_{d0} = +30; +36$ $\Delta_{d0} = -84; -64$ $\Delta_{d0} = -129; -96$	$\frac{-}{\text{не обеспеч.}; d_{\min} = 4}$ $\text{не обеспеч.}; d_{\min} = 11$		
2.3 Схема № 2 (1/9, 1/11)	$\Delta_{d0} = +38; +75$ $\Delta_{d0} = -11; +39$ $\Delta_{d0} = +36; +70$	$\frac{-}{\text{не обеспеч.}; -}$ —		
2.4 Схема № 3 (1/9, 1/11)	$\Delta_{d0} = 0; -17$ $\Delta_{d0} = -96; -89$ $\Delta_{d0} = -140; -122$	$\frac{-; d_{\min} = 4}{-; d_{\min} = 9}$ $\frac{-; d_{\min} = 14}{-; d_{\min} = 14}$		
2.6 Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6				
2.6.1 ($d = 5,26$)	$\Delta_{d0} = -91$ $\Delta_{d0} = -179$ $\Delta_{d0} = -202$	$d_{\min} = 7$ не обеспеч. не обеспеч.		
2.6.2 (1/6 – 1/9)	$\Delta_{d0} = -8$ $\Delta_{d0} = -128$ $\Delta_{d0} = -165$	$d_{\min} = 1$ не обеспеч. не обеспеч.		
2.7 Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6				
1/6 _{поп} ; 1/9–1/6	$\Delta_{d0} = -22; -32$ $\Delta_{d0} = -150; -161$ $\Delta_{d0} = -178; -197$	$d_{\min} = 2,5; d_{\min} = 4,5$ не обеспеч. не обеспеч.		

Окончание таблицы 2

Номер схемы	Оценка требований для ВМТ(13-7043)/ВУР(23-4028)/ВСУР(13-4092)			
	на станциях [5]		на путях необщего пользования [6]	
	существующие отклонения, мм	ограничения, м	существующие отклонения, мм	ограничения, м
2.8 Схема № 4 (навстречу торцами крестовин)				
2.8 (1/9; 11)	$\Delta_{d0} = 0; +75$ $\Delta_{d0} = -96; +36$ $\Delta_{d0} = -140; +9$		— $\frac{1}{9}$ не обеспеч. $\frac{1}{9}$ не обеспеч.	
3 S-образное расположение стрелочных переводов и кривых ($R_{\text{закр}} = R_{\text{пер}}$)				
3.1 (1/6; 1/9 без вставки)	$\Delta_{d0} = -83; -68$ $\Delta_{d0} = -183; -174$ $\Delta_{d0} = -210; -223$		не обеспеч.	
3.2 (1/6; 1/9 с прямой вставкой)	—		$d_{\min} = 6; 4$ не обеспеч. не обеспеч.	

Моделирование выявило наличие ряда ограничений, которые отличаются от рекомендаций по обеспечению безопасности маневровой работы с вагонами всех типов для железнодорожных станций и промышленных предприятий [4]. Для вагонов массовых типов (длиной менее 19,6 м, строки 1–13 (см. таблицу 1)) неблагоприятные условия создаются при проектировании s-образных кривых с вставкой и без нее, встречном расположении стрелочных переводов с минимальной вставкой, рядом расположенных стрелочном переводе и закрестовинной кривой. Для платформ увеличенных (строки 14–26 (см. таблицу 1)) и сверхувеличенных (строки 27–37 (см. таблицу 1)) размеров складываются особые условия взаимодействия, так как длина расчетных вагонов 15–1581 достигает 24 м и более. Поэтому ограничения на параметры путевой инфраструктуры возникают на элементах всех типов, даже на круговых кривых (радиус ограничен величиной 230–260 м (см. таблицу 2)). Наиболее значительные нарушения имеются на s-образных кривых без прямой вставки. Требуемый радиус в таких кривых может быть обеспечен, только с существенным ограничением общей длины до 9–13 м, что на практике не встречается. Поэтому маневры с автоматическим сцеплением платформ всех расчетных типов на s-образных кривых без прямой вставки выполняться не должны. Наличие вставки не менее 8 м обеспечивает автоматическое сцепление вагонов массовых типов. Проблемы при взаимодействии вагонов могут наблюдаться на всем протяжении стрелочных горловин т. к. на всех схемах взаимной укладки переводов марок 1/6, 1/9 и 1/11 имеются заметные отклонения по условию обеспечения автоматического сцепления вагонов увеличенных размеров. Даже на одиночных стрелочных переводах марок 1/6 и 1/9 безопасность маневровой работы с длиннобазными платформами не гарантирована.

Учитывая значительные темпы роста доли контейнерных перевозок, даже с учетом высокой степени их маршрутизации, увеличивается и перерабатываемый поток платформ на станциях. На основе экспертных и аналитических оценок можно спрогнозировать уровень риска возникновения нарушений безопасности при роспуске вагонов платформ с горки. Выполненные исследования [7] позволили выделить следующие элементы риска при роспуске платформ: большие и особенно большие размеры вагона (не соответствующие параметрам путевого развития по условию сцепления), применение в зоне маневров s-образных кривых, наличие неблагоприятных энергетических факторов, ошибки персонала, работающего на горке. Вероятность появления вагонов увеличенных размеров может достигать 1–5 %, а доля s-образных кривых на участках сопряжения стрелочной зоны и сортировочных путей по маршрутам скатывания достигает 25 %. Важными особенностями порожних вагонов платформ является небольшая площадь поперечного сечения (более чем в два раза меньше вагонов других типов) и малая масса тары. С одной стороны, это снижает влияние на скатывание платформы встречного ветра, а с другой – малая масса порожних платформ может приводить к их недокатыванию до расчетной точки и остановке в стрелочной зоне и на закрестовинных кривых, где выполнение маневров со сцеплением может быть затруднено. В то же время платформа с контейнерами имеет площадь поперечного сечения, аналогичную крытому вагону. Влияние неисправностей подшипников и тормозного оборудования, наличие неблагоприятного профиля на спускной части и сортировочных путях оценивается на уровне 1 %. Вероятность ошибки при регулировании режима роспуска и торможения отцепов в зависимости от уровня механизации и автоматизации можно оценить на уровне 5 %.

С учетом выполненных оценок с использованием метода анализа дерева событий (ETA) [7–10] общая вероятность нарушения условий взаимодействия имеет достаточно низкий уровень и может достигать 0,1–0,16 %. Однако с учетом высокой степени интенсивности работы сортировочных горок λ событие может происходить достаточно часто (см. строку 9 таблицы 1).

Поддержание допустимого уровня риска при эксплуатации объектов инфраструктуры и подвижного состава, а также корректная оценка уровня тяжести последствий происшествий при маневровой работе является одной из главных задач организации и управления движением. Переход из устойчивых технических состояний объектов инфраструктуры в неустойчивые должен исследоваться специальными методами для формирования исследований по всем объектам инфраструктуры, так как это требует принятия обоснованных управленческих решений и прогнозирования их состояния в перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Белорусская железная дорога в 2023 году перевезла более 1 млн контейнеров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rw.by/corporate/press_center/

news_f_cargo_carriers/2024/01/belorusskaya-zheleznaya-doroga-v-2023-godu-perevezla-bolee-1-mln-konteynerov/. – Дата доступа : 22.10.2024.

2 Перевозки контейнеров превысили 7,4 млн ДФЭ в 2023 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=290309>. – Дата доступа : 22.10.2024.

3 Станции, открытые для работы с контейнерами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rw.by/cargo_transportation/container_transportation/container_work_stations/index.php. – Дата доступа : 22.10.2024.

4 *Филатов, Е. А.* Требования к проектированию стрелочных горловин улучшенных эксплуатационных качеств / Е. А. Филатов // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 69–71.

5 *Филатов, Е. А.* Безопасность взаимодействия путевой инфраструктуры железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – М. : Перо, 2023. – С. 644–654.

6 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм / М-во путей сообщения Российской Федерации. – М. : Техноинформ, 2001. – 255 с.

7 *Филатов, Е. А.* Обоснование параметров стрелочных горловин нефтеналивных станций / Е. А. Филатов // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : Междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2023. – Вып. 5. – С. 186–193.

8 *Филатов, Е. А.* Риски возникновения нарушений безопасности в горочных горловинах станций / Е. А. Филатов // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа : в 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 181–183.

9 ГОСТ Р 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М. : Стандартинформ, 2016. – 34 с.

10 ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий. – М. : Стандартинформ, 2015. – 30 с.

E. A. FILATOV

JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF SWITCH HOLES TO ENSURING CONTAINER TRANSPORTATION

The results of research in the field of ensuring safe and efficient shunting operation with rolling stock of various types have made it possible to clarify the influence of the design of wagons on the parameters of switch necks of railway stations and freight terminals. However, railway stations and terminals often provide transport services to enterprises with a narrow range of goods and rolling stock of a certain type. Taking into account such specialization of cargo points, it is advisable to consider individual requirements for the corresponding track infrastructure. The article presents an analysis of the impact of platform designs on the parameters of the transport infrastructure of container terminals and other enterprises using mainly platforms.

Получено 30.11.2024

УДК 656.21

М. В. ЧЕТЧУЕВ

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург
mts@pgups.ru

А. Н. ИВАНКОВ

ООО «ПСК ТЕХПРОЕКТ», г. Москва
aivankov@yandex.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ СТАНЦИЙ ВРЕМЕННОГО ОТСТОЯ ВАГОНОВ В РАЙОНАХ МАССОВОЙ ВЫГРУЗКИ

Приведен анализ проблемы необходимости организации временного отстоя вагонов и её решение за счёт обустройства специальных железнодорожных станций. Для станции временного отстоя вагонов, расположенной в районе массовой выгрузки, приведена рекомендуемая схема и описано основное назначение её парков и путей. Сделан вывод о возможности дальнейшего использования приведённых теоретических основ и рекомендаций.

Проблема необходимости обустройства специальной инфраструктуры для временного отстоя вагонов на железных дорогах России обозначена ещё в XIX веке. Изначально с избыточным скоплением вагонов на определенных участках железнодорожной сети стали бороться преимущественно организационными и технологическими методами, такими как регулировка подвода вагонов к стыковым пунктам, работа обезличенным парком вагонов, внедрение обменного парка вагонов в морских и речных портах [1]. С одной стороны, применение подобных методов работы, безусловно, помогало снизить напряжённость в эксплуатационной работе железнодорожного транспорта. С другой стороны, воздействие далеко не всех факторов, вызывающих непроизводительный простой вагонов, перечисленными выше методами можно было предотвратить. Одним из таких факторов является объективно существующая неравномерность работы транспорта и взаимодействующих с ним предприятий. В условиях воздействия подобных факторов обустройство специальной инфраструктуры (отдельных путей или станций) для временного отстоя вагонов является наиболее рациональным решением. Это было отмечено ещё в середине прошлого века. Например, в вышедшем в 1945 году учебнике П. В. Бартенева «Железнодорожные станции и узлы» [2] указано, что на территории портов и промышленных пред-

приятый могут сооружаться районные парки для отстоя вагонов в ожидании подачи на грузовые фронты. Помимо этого, стоит отметить, что и реализация технологии работы с обозначенным ранее обменным парком вагонов была бы невозможна в условиях отсутствия на территории порта специальных путей для его отстоя.

Произошедший в результате структурной реформы ОАО «РЖД» переход от обезличенного вагонного парка к парку вагонов крупных и мелких собственников дополнительно усложнил ситуацию. Организационно-технологические методы, обеспеченные наличием обезличенного парка вагонов, перестали работать. Появление ответственности перед собственником вагона за соответствующий непроизводительный простой усложнило взаимодействие, в том числе технологическое, между ОАО «РЖД» и примыкающими к железнодорожной сети предприятиями. Стали возникать ситуации, когда после выгрузки вагона на определённой станции, длительное время непонятно, куда этот вагон поедет дальше.

Проблемами обустройства инфраструктуры железнодорожных станций для временного отстоя вагонов в современных условиях уже занимались А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников, Д. В. Железнов [3, 4]. Однако до настоящего времени теоретические основы проектирования путевого развития таких станций не выработаны в полной мере. Наиболее показательным является формирование теоретических аспектов проектирования железнодорожных станций для решения проблем с необходимостью временного отстоя вагонов в местах их массовой выгрузки, например, в морских портах.

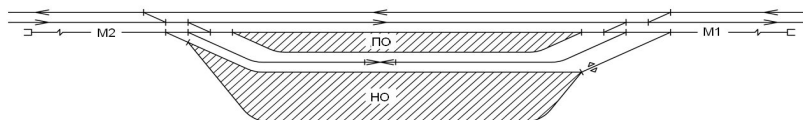
Причина появления непроизводительного простоя вагонов в местах массовой выгрузки достаточно проста. Исходя из логики работы поступивший на железнодорожный путь необщего пользования вагон с грузом после завершения выгрузки, если не предусматриваются сдвоенные операции, должен быть возвращён на станцию примыкания и оттуда отправлен на другую станцию для последующей погрузки. В условиях частного парка вагонов после завершения выгрузки вагон может быть возвращён с железнодорожного пути необщего пользования на станцию примыкания только при условии его заадресовки на станцию погрузки. Станция заадресовки должна быть определена собственником вагона, и как ранее было отмечено, данный вопрос может решаться весьма длительное время. До момента, пока собственник не определился со станцией назначения, вагон будет находиться на железнодорожном пути необщего пользования. В условиях массовой выгрузки, таких вагонов будет много, и чем дольше собственники будут принимать решение о дальнейшем направлении своих вагонов, тем больше будут забиваться пути на территории предприятия и соответственно снижаться пропускная и перерабатывающая способность железнодорожного пути необщего пользования. Вслед за замедлением, а возможно и полной остановкой работы железнодорожного пути необщего пользования, цепной

реакцией процессы скопления вагонов начнутся и на железнодорожной станции примыкания и на подходах к ней.

В случае нахождения поблизости станции временного отстоя вагонов ситуация была бы принципиально другой. Вагоны после выгрузки передавались бы на железнодорожную станцию примыкания, а если к этому моменту собственник не определился, что делать с вагоном, то направлялись бы на станцию временного отстоя до принятия собственником решения.

В части путевого развития и технологии работы станции временного отстоя вагонов весьма схожи с небольшими сортировочными станциями. Их путевое развитие должно включать в себя по меньшей мере два парка: приёмо-отправочный и аналог сортировочного парка, служащий для накопления и отстоя вагонов.

С позиции экономии территории наиболее рационально параллельное размещение указанных парков (рисунок 1), не исключающее другие конфигурации их взаимного расположения.



ПО – приёмоотправочный парк; НО – парк накопления и отстоя вагонов; М1, М2 – вытяжные пути

Рисунок 1 – Схема железнодорожной станции временного отстоя вагонов в местах их массовой выгрузки

Приёмоотправочный парк исходя из своего названия предназначен для приёма и отправления передач или поездов. Полезную длину путей приёмо-отправочного парка целесообразно проектировать в соответствии с унифицированной нормой длины поездов на рассматриваемом направлении. Количество путей в приёмоотправочном парке следует определять отдельно по приёму и отправлению. Для ориентировочных расчётов количества путей в приёмоотправочном парке можно определить по формуле

$$m = N \Delta T_{\text{зан}} / (1440 - T_{\text{пер}}),$$

где N – количество поступающих или отправляющихся передач/поездов; $\Delta T_{\text{зан}}$ – суммарное время занятия пути одной передачей или одним поездом по прибытии или по отправлении, мин; $T_{\text{пер}}$ – время перерывов в работе (пересменки), мин.

Полезную длину путей парка накопления и отстоя вагонов следует принять увеличенной на 10 % относительно полезной длины приёмоотправочных путей в соответствии с требованиями СП 119.13330.2024 [5].

Количество путей в парке НО следует принимать исходя из потребностей и готовности крупных собственников вагонов к аренде путей на этой

станции. Помимо путей для накопления вагонов в парке НО обязательно следует предусматривать пути для накопления неисправных вагонов и путь для формирования передачи или поезда по заявке собственника.

Для расформирования поступивших составов в схеме на рисунке 1 предусматривается вытяжной путь М1. В зависимости от объёма сортировочной работы на станции может быть обустроена сортировочная горка с вагонными замедлителями или без них.

Предусмотренный схемой на рисунке 1 вытяжной путь М2 предназначен для перестановки сформированных составов из парка НО в парк ПО.

Если объём сортировочной работы относительно небольшой и обустройство сортировочной горки для расформирования составов не требуется, перестановка вагонов из парка НО в парк ПО может производиться через вытяжной путь М1. В этом случае вытяжной путь М2 в составе путевого развития станции не требуется.

Поскольку выполнять всю маневровую работу (включая расформирование составов) на станции временного отстоя вагонов с высокой долей вероятности будет один локомотив, следует предусмотреть ходовой путь для его беспрепятственного перемещения из одной горловины в другую. Этот путь следует размещать между парками ПО и НО.

С целью минимизации враждебных пересечений поездных и маневровых маршрутов размещать парки путей станций временного отстоя вагонов целесообразно с одной стороны от главных путей.

Изложенные в настоящей статье рекомендации и теоретические основы проектирования путевого развития станций временного отстоя вагонов в последующем могут быть использованы при формировании соответствующих типовых решений и требований нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Четчуев, М. В. Исследование подходов к обустройству инфраструктуры для временного отстоя вагонов на железных дорогах России в различные исторические периоды / М. В. Четчуев, А. Н. Иванков, А. Д. Винник // Бюллетень результатов научных исследований. – 2024. – № 3. – С. 128–141.

2 Бартенев, П. В. Железнодорожные станции и узлы : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / П. В. Бартенев. – М. : Гос. трансп. ж.-д. изд-во, 1945. – 601 с.

3 Бородин, А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 8–19.

4 Железнов, Д. В. Методология усиления провозной способности железных дорог России в условиях реформы отрасли : дис. ...д-ра техн. наук / Д. В. Железнов. – М. : МИИТ, 2014. – 324 с.

5 СП 119.13330.2024 «СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм». – М. : Стандартинформ, 2018. – 40 с.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF TRACK DESIGN AT TEMPORARY CARRIAGE STAND-OFF STATIONS IN AREAS OF MASS UNLOADING

The article provides general information about the problem of the need to organize temporary parking of cars and its solution through the arrangement of special railway stations. For a station for temporary storage of wagons located in the area of mass unloading, a recommended diagram is given and the main purpose of its parks and tracks is described. In the final part, a conclusion is drawn about the possibility of further use of the given theoretical foundations and recommendations.

Получено 16.10.2024

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024**

УДК 656.22+06

О. Н. ЧИСЛОВ, Е. Е. МИЗГИРЕВА, С. А. КОЛОШИН

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону*

o_chislov@mail.ru, brutald@yandex.ru, ser-koloshin@yandex.ru

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

Рассматриваются вопросы формирования системы оценки показателей инфраструктуры транспортного узла на основе балльного рейтинга согласно критериям теории принятия решений. Предложен специальный градостроительный показатель, при работе с которым использован метод анализа иерархий (МАИ) для структурирования и оценки множества альтернатив развития по нескольким критериям. На примере транспортного узла «МВ» представлено формирование иерархической структуры показателей и работа с ними.

Транспортные и транспортно-пересадочные узлы (ТУ и ТПУ) имеют важнейшую социально-экономическую, производственную, оборонную и системообразующую роль в распределении грузо-, пассажиропотоков страны. Известно, что ТПУ – это элемент транспортной инфраструктуры, спланированный и интегрированный в городскую систему, он не только является узлом городской активности, но и формирует окружающее пространство. Основные тенденции развития отечественных ТУ и ТПУ заключаются в перспективной архитектурной планировке и зонировании прилегающих территорий, блочно-модульном принципе размещения объектов, развитии форм транспортного сервиса и единой технологии обслуживания перевозок,

согласовании расписаний движения транспортных средств, организации комплексной безопасности, учете принципов экологичности, бережливости и т. п. [1].

В настоящее время функции и задачи транспортных узлов расширяются, усложняются структуры и методы управления, увеличивается взаимосвязь процессов и степень их цифровизации. Вследствие этого изменяется подход к научным и практическим исследованиям принципов формирования показателей оценки степени эффективности узловой инфраструктуры.

В связи с этим предлагается расширить систему показателей и классификации транспортных узлов, дополнив её такими признаками, как уровень логистического сервиса, агломерационно-экономическая роль, степень развития промышленного производства, тип центра взаимодействия транспорта, степень цифровизации транспортных процессов, степень вовлеченности в международное транспортное производство и др.

Предлагается метод оценки показателей транспортной инфраструктуры узлов в виде системы классов и их балльного рейтинга. Класс узла K формируется из множества значений подклассов $K_{\text{узла}} = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$, причем каждый подкласс является подмножеством своих показателей [2].

В качестве параметров оценки инфраструктуры узла используются показатели: S – площадь транспортного узла, км²; N – населенность транспортного узла, тыс. чел.; $n_{\text{маг}}$ – количество видов магистрального транспорта, ед.; $n_{\text{гор}}$ – количество видов городского транспорта, ед.; L_a – протяженность узловых автомобильных дорог, км; протяженность транспортных коммуникаций: $L_{\text{ж}}$, L_v – протяженность узловых железнодорожных и водных путей, км; $S_{\text{ПЗ}}$ – площадь промышленно-заводской зоны, км²; $S_{\text{ТСЗ}}$ – площадь транспортно-складской зоны, км²; $S_{\text{СЗ}}$ – площадь селитебной зоны, км²; $S_{\text{ЗЗ}}$ – площадь защитной зоны, км²; $C_{\text{П}}$ – стоимость перевозок, т·км (пас·км) / руб.

Так как показатели, сводимые к комплексному оценочному критерию, имеют разные единицы измерения, то они приводятся к безразмерному виду на основе вариативного показателя $k(\theta)$ с диапазоном значений от 1 до 100:

$$k(\theta) = 1 + 99 \frac{\theta_i - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}},$$

где 1 – нижний предел вариативного показателя рейтинга; 99 – принятый размах вариации; θ_i – значение i -го показателя в выборке; $\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$ – максимальное и минимальное значения выборки [2].

Для разработки комплексного динамического критерия оценки узловой инфраструктуры необходим сравнительный анализ показателей в зависимости от степени их воздействия по критериям теории принятия решений: критерий Лапласа, критерий минимакса, критерий Сэвиджа, критерий Гурвица, критерий Ходж – Лемана [3]. Значение итогового критерия определяется по формуле

$$R = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \left(K_{\text{опт}i} \frac{1}{f} \right),$$

где K – количество критериев; $K_{\text{опт}i}$ – оптимальное решение по i -му критерию; f – значение приоритета ($f \in (1; N)$, где N – количество рассматриваемых узлов) [3].

Для оценки рациональности компоновочных решений инфраструктуры узла (или узловой зоны) в статье применен специальный градостроительный показатель P , который определяется по формуле

$$INT(P) = \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \dots + \alpha_{10} p_{10},$$

где α – «вес» критерия, причем

$$\sum_{i=1}^{10} \alpha_i = 10;$$

p_1 – грузооборот узла (зоны), тыс. т; p_2 – пассажирооборот (транспортная подвижность населения зоны), тыс. чел.; p_3 – состояние (год ввода в эксплуатацию) зоны (функционирующая: $p_3 = 1$, нефункционирующая: $p_3 = -1$, частично функционирующая: $p_3 = 0 \dots 0,9$); p_4 – коэффициент застройки узла (зоны), отражающий плотность транспортной сети на 1000 хозяйствующих субъектов,

$$p_4 = \frac{L_{\text{привед}} \cdot 1000}{Q_{\text{общ}}},$$

где $Q_{\text{общ}}$ – общее число предприятий и организаций на территории региона, или как L_c / S_3 , где L_c – протяженность транспортной сети, км; S_3 – площадь застроенной территории; p_5 – значимость государственная: $p_5 = 1$, региональная: $p_5 = 0 \dots 0,9$; p_6 – категория отраслей узловой промышленности (легкая / тяжелая, обрабатывающая / добывающая, местная / региональная); p_7 – надежность и устойчивость (развитость) транспортных связей (коммуникаций), характеризуется энтропией, коэффициентом связности узла, степенью работоспособности при разрушении связей; p_8 – коэффициент эффективности системы по населенности, рассчитывается по коэффициенту Энгеля,

$$p_9 = \frac{L}{\sqrt{SHt}},$$

L – общая длина транспортных путей; S – площадь территории; H – численность населения, также может рассчитываться по весу отправок по коэффициенту Успенского для зоны узла

$$p_{\text{усп}} = \frac{L}{\sqrt[3]{SHt}},$$

t – общий вес отправляемых на территории грузов или по количеству населенных пунктов узла согласно коэффициенту Гольца, как

$$p_r = \frac{L}{\sqrt{S\Pi}},$$

Π – число населенных пунктов, или по коэффициенту Василевского, как

$$p_{\text{вас}} = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ}},$$

Q – общий вес произведенной продукции предприятиями узла; p_9 – соответствие экологическим нормам; p_{10} – соответствие госпрограммам развития (привлекательность для бизнеса и населения).

Пример расчета представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Ведомость данных расчета показателя P зоны узла «МВ»

Зона ТУ	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	P
ТСЗ «Ж»	+0,1	+0,4	+0,4	+0,2	+2,2	+0,3	+0,6	+0,6	−0,7	+0,5	5
ТСЗ «А»	−	+0,8	+0,8	+0,1	+2,6	+0,3	+0,7	+0,5	−0,6	+0,5	6
ПЗЗ	+0,2	−	+0,3	+0,2	+1,0	+0,4	+0,5	+0,4	−0,8	+0,1	2

Метод анализа иерархий (МАИ) позволяет оценивать множество альтернатив по нескольким критериям и формализуется с помощью матриц попарных сравнений с присвоением балльных оценок по девятибалльной шкале с составлением матрицы сравнений (нечетные оценки: 1 – равная важность, 3 – умеренное превосходство, 5 – значительное превосходство, 7 – весомое превосходство, 9 – превалирующее превосходство; четные оценки: промежуточные результаты). Затем на основе данных оценок формируется матрица, в которой, если элемент i более важен, чем элемент j , то клетка (i, j) , должна быть заполнена целым числом, а клетка (j, i) – дробным.

Последовательность проводимых оценок следующая:

1 – определение цели и задачи критерия, оценивающего эффективность транспортного узла;

2 – формирование иерархической структуры, в которой на нижнем уровне находятся конкретные альтернативы, а также зоны, входящие в состав, оцениваемого узла (рисунок 1);

3 – попарные сравнения критериев на основе шкалы предпочтений;

4 – расчет «весов» (приоритетов) для каждого критерия, что позволяет определить их относительную важность при оценке параметров транспортного узла;

5 – сравнение альтернатив;

6 – проверка согласованности полученных оценок.

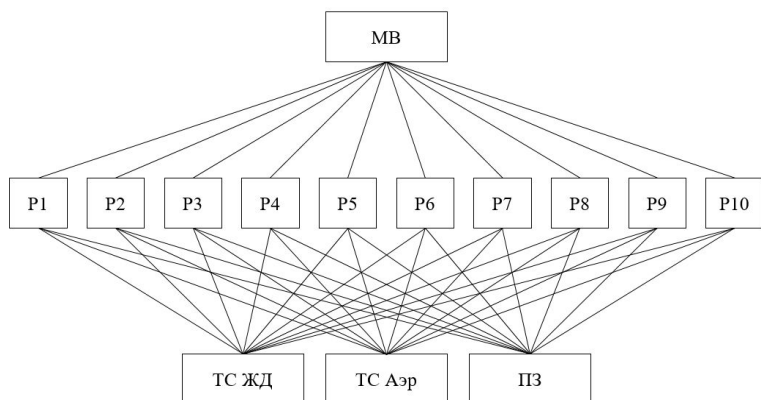


Рисунок 1 – Пример построения иерархии показателей узла «МВ»

Однородность суждений оценивается отклонением величины максимального собственного значения $\lambda_{\max}$ от порядка матрицы n , для этого вводятся понятия индекса однородности (индекс согласованности – ИС) и отношения однородности (отношения согласованности – ОС), которые вычисляются по формулам

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - 1}{n - 1}, \quad \text{ОС} = \frac{\text{ИС}}{\text{СИ}},$$

где СИ – среднее значение индекса однородности случайным образом составленной матрицы попарных сравнений, основанное на экспериментальных данных [5].

После формирования иерархической структуры (см. рисунок 1), в которой на нижнем уровне находятся множители специального градостроительного показателя P , а также зоны, входящие в состав оцениваемого узла, строится матрица попарных сравнений критериев

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1/7 & 1/4 & 1 & 1 & 1/4 & 1/4 & 1 & 4 \\ 1 & 1 & 1/7 & 1/4 & 1 & 2 & 1/4 & 1/2 & 1/9 & 3 \\ 7 & 7 & 1 & 1/2 & 7 & 7 & 5 & 5 & 2 & 8 \\ 4 & 4 & 2 & 1 & 5 & 6 & 3 & 1 & 1 & 6 \\ 1 & 1 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1/2 & 2 & 1/3 & 1/9 & 1 \\ 1 & 1/2 & 1/7 & 1/6 & 2 & 1 & 1 & 1/4 & 1/3 & 2 \\ 4 & 4 & 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 7 \\ 4 & 2 & 1/5 & 1 & 3 & 4 & 1 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 9 & 1/2 & 1 & 9 & 3 & 1 & 1 & 1 & 9 \\ 1/4 & 1/3 & 1/8 & 1/6 & 1 & 1/2 & 1/7 & 1/2 & 1/9 & 1 \end{pmatrix}$$

и на основе шкалы предпочтений – матрицы альтернатив $p_1(a)$, $p_2(b)$ и $p_3(e)$:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{а)} & \text{б)} & \text{в)} \\
 \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/7 \\ 7 & 1 & 1/9 \\ 7 & 9 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 9 \\ 1/7 & 1 & 1 \\ 1/9 & 1 & 1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1 \\ 1/7 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

В результате получим средневзвешенные оценки для каждой транспортной зоны: для ТС ЖД – 0,523, ТС Аэр – 0,231, ПЗ – 0,246.

При этом ИС = 0,16, ОС = 0,11.

Преимущества использования МАИ для разнородных показателей инфраструктуры транспортного узла заключаются в следующем:

- гибкость позволяет учитывать множество факторов и их взаимосвязи;
- объективность помогает структурировать субъективные суждения и системы оценок, превращая их в количественные данные;
- устойчивость к изменениям позволяет адаптировать новые данные или критерии для их включения в анализ.

Таким образом, развитие показателей оценки инфраструктуры ТУ на основе набора специальных критериев и применения метода анализа иерархий, позволяет системно оценивать множество различных факторов, а также степень их влияния на эффективность и функциональность транспортного узла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методы цифровизации и интеллектуализации параметров логистического взаимодействия в системе «ж.-д. станция – порт» в условиях мультиагентности транспортно-технологических процессов : [монография] / О. Н. Числов [и др.]. – Ростов-н/Д : РГУПС, 2022. – 396 с.

2 Хан, В. В. Развитие методов определения рациональных структур и организации транспортно-технологических процессов железнодорожных узлов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / В. В. Хан. – Ростов н/Д, 2017. – 23 с.

3 Числов, О. Н. Принципы формирования комплексного критерия оценки структуры транспортного узла / О. Н. Числов, Е. Е. Мизгирева // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (93). – С. 122–131.

4 Семенихина, Н. Б. Метод анализа иерархий как системный подход к проблеме принятия решений / Н. Б. Семенихина // Дискуссия. – 2023. – № 117. – С. 38–48.

5 Саати, Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1993. – 314 с.

O. N. CHISLOV, E. E. MIZGIREVA, S. A. KOLOSHIN

PRINCIPLES OF FORMING A SYSTEM FOR EVALUATING THE INDICATORS OF THE TRANSPORT HUB INFRASTRUCTURE

The article discusses the issues of forming a system for evaluating the indicators of the transport hub infrastructure based on a point rating according to the criteria of decision theory. A special urban planning indicator is proposed, which uses the method of hierarchy analysis to structure and evaluate a variety of development alternatives according to several criteria. Using the example of the MV transport hub, the formation of a hierarchical structure of indicators and working with them is presented.

Получено 28.10.2024

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Научная статья в сборнике «Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов» должна отражать результаты собственных исследований, обобщения практического опыта или системный аналитический обзор материала в некоторой конкретной области проектирования инфраструктуры раздельных пунктов. Работа должна быть передана в цифровом виде на адрес электронной почты

vlasiuk.ta@gmail.com

ответственного секретаря редакции сборника трудов с указанием в поле «Тема» назначения высылаемого материала «В сборник Правдина».

Формат бумаги – А5, междустрочный интервал – одинарный. Страницы должны иметь поля: верхнее – 1,7 см, левое и правое – по 1,6 см, нижнее – 2,1 см. Текст статьи печатается шрифтом Times New Roman, размер – 10 пт (в таблицах – 9, в подстрочных сносках – 8), выравнивание – по ширине. Отступ начала каждого абзаца составляет 0,5 см.

Информация, предворяющая статью, включает:

- УДК;
- инициалы, фамилии и места работы авторов (с пропуском свободной строки после УДК), прописным курсивом;
- адрес электронной почты;
- название статьи (с пропуском свободной строки после адреса электронной почты, жирным прописным шрифтом);
- краткую аннотацию (размер шрифта 9 пт).

Следует обратить внимание на смысловое содержание аннотации, являющейся основой для автоматизированных систем информационного поиска в сети Интернет. Поэтому аннотация должна точно отражать содержание научной статьи, чтобы по ней читатель смог получить правильное представление о сути и полученных результатах авторской работы. В тексте аннотации следует употреблять синтаксические словосочетания, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций, использовать значимые слова из текста статьи. Аннотация к статье должна быть информативной, не содержать исторических справок, описаний ранее опубликованных работ, общеизвестных для специалистов положений, дублировать текст самой статьи. Объем аннотации – не более 150 слов.

Пример оформления всего текстового блока, предворяющего статью, приведен ниже. Текст статьи начинается после аннотации с пропуском свободной строки. Материал статьи должен содержать краткое введение, посвящающее читателя в излагаемую проблемную область, основную часть и заключение. Все три позиции не выделяются заглавиями, но должны быть четко прослеживаемыми по содержанию.

УДК 658.7 : 656 + 06

О. Н. ЧИСЛОВ, Д. С. БЕЗУСОВ

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону
o_chislov@mail.ru, biren306@yandex.ru

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИПОРТОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ НА ПРИНЦИПАХ АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассматривается аналитический подход к моделированию работы припортовых железнодорожных станций с целью выявления общесистемных закономерностей эксплуатации, аксиоматики транспортных процессов, выбору рациональных параметров системы «станция – порт» и сокращению простоя местных вагонов.

Рисунки в статье должны быть переданы по электронной почте отдельными файлами в формате *.jpg*. Допускается выполнять иллюстрации к статье в цветном виде, но без полутонов. Исключение составляют цветные фотографии хорошего качества, которые также могут использоваться для иллюстраций в статье. В черно-белом виде все рисунки должны быть строго контрастными без использования серого цвета. Данное требование относится также к текстовым блокам в рисунках, которые должны печататься шрифтом Times New Roman. Сложные рисунки с большим количеством текстовой информации (структурные и блок-схемы алгоритмов) необходимо высылать не только в растровом формате *.jpg*, но и в каком-либо векторном для возможной последующей редакции (*.crd*, *.ppt*, *.vsd*) без дополнительной переписки с автором.

Формулы должны набираться с использованием встроенного модуля Word Equation или с использованием других средств, обеспечивающих доступ к их редактированию в любых версиях текстового редактора. Особо следует обратить внимание на использование переменных с нижними или верхними индексами (в том числе и в текстовых блоках рисунков), которые должны быть начертаны в строгом соответствии с принятыми требованиями (правильные индексы с четким позиционированием относительно самой переменной, латиница – курсивом, русские и греческие символы – прямо, соразмерность текста и математических символов суммы, произведения, квадратного корня, обыкновенной дроби, интеграла и пр.).

Объем научной статьи должен быть не менее 0,35 а. л.

Завершается научная статья списком использованной литературы (шрифт – Times New Roman, размер – 9 пт) в строгом соответствии с ГОСТ 7.01-2003, ГОСТ 7.82-2001. После библиографического списка и пропуска свободной строки следует информационный блок на английском языке (инициалы и фамилия автора, место работы, адрес электронной почты, на-

звание статьи, аннотация). Далее указывается дата получения редакцией статьи от автора (шрифт – Times New Roman, размер – 8 пт с пропуском пустой строки после аннотации на английском языке).

Пример оформления информационного блока, завершающего статью, приведен ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 1 Таха, Х. А. Введение в исследование операций : пер. с англ./ Х. А. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с. 2 Правдин, Н. В. Основы взаимодействия видов транспорта (примеры и расчёты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкоплев; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с. 3 Сидяков, В. А. О задачах развития промышленного железнодорожного транспорта на период до 2030 года / В. А. Сидяков // Промышленный транспорт XXI век. – 2008. – № 2. – С. 3–6. <i>I. V. RUCHKIN</i> OPTIONS JUSTIFICATION OF TRAIN PATHS OF TRANSFER TRAFFIC SCHEDULE AT THE STATIONS OF THE ENTERPRISES INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT The dynamics of quantitative and qualitative indicators of enterprises of industrial railway transport (EIRT) in the area of the North Caucasus Railway is studied. A statistical analysis of railcar flows is presented, and histograms of arrivals and departures are plotted using the calculated frequencies of cars arrival and train paths of the transfer schedule. The values of the integral function of the EIRT transport operation assessment are determined. Получено 06.11.2018
--

Текст статьи и рисунки в электронном виде упаковываются в архив с именем автора (например, ruchkin_art.rar).

Кроме материалов по статье должен быть подготовлен и выслан на адрес редакции сборника скан отчета результатов работы программы антиплагиат.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

Международный сборник научных трудов

Выпуск 6

Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Корректор А. А. П а в л ю ч е н к о в а

Подписано в печать 30.12.2024 г. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс New Roman. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 11,86. Уч.-изд. л. 12,17. Тираж 100 экз.

Зак. 3612. Изд. № 73.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский государственный университет транспорта.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель