



**ПРОБЛЕМЫ
ПЕРСПЕКТИВНОГО
РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

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

ПРОБЛЕМЫ
ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

Международный сборник научных трудов
В ы п у с к 4

Под общей редакцией доктора технических наук А. К. ГОЛОВНИЧА

Гомель 2022

В сборник включены научные статьи ученых транспортных вузов, а также специалистов в области проектирования и организации перевозок на железнодорожном транспорте 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 опубликования 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>Алабина В. В.</i> Организация прямой перевалки грузов на станции Ростов-Товарный	6
<i>Бессоненко С. А., Гунбин А. А., Климов А. А., Корниенко К. И., Ольгейзер И. А.</i> Распределение вероятностей удельного сопротивления движению разных типов вагонов в сортировочном парке.....	12
<i>Вакуленко С. П.</i> Прогнозирование размеров пригородных пассажиропотоков с динамическим горизонтом событий	17
<i>Вакуленко С. П., Виданов К. Ю.</i> Повышение качества обслуживания пассажиров и его оценка в транспортных пересадочных узлах в условиях плотной застройки территории	47
<i>Вакуленко С. П., Журавлев Н. П., Сидраков А. А., Савельев М. Ю.</i> Особенности технологии работы станций примыкания и путей необщего пользования в едином технологическом процессе	52
<i>Вакуленко С. П., Куренков П. В., Астафьев А. В.</i> Полимодальная логистика участия Днепровской флотилии в Великой Отечественной войне	56
<i>Васильева Т. А., Васильев С. М.</i> История образования и становления школ и училищ железнодорожного ведомства Гомельщины	64
<i>Власюк Т. А.</i> Применение PEST-анализа для оценки неравномерности регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте	68
<i>Власюк Т. А., Белоус А. Н., Гончарова Л. А.</i> Оценка качества информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте на основе матрицы Ансоффа	74
<i>Головнич А. К.</i> Когерентность процессов динамической модели железнодорожной станции и ее прототипа	81
<i>Еловой И. А., Осипенко Л. В.</i> Особенности развития железнодорожных грузовых перевозок.....	90
<i>Еловой И. А., Потылкин Е. Н.</i> Стратегия формирования грузового вагонного парка железнодорожного транспорта Республики Беларусь	93
<i>Ерофеев А. А.</i> Технологии искусственного интеллекта при решении эксплуатационных задач в системе сменно-суточного планирования грузовой работы железнодорожных станций	102
<i>Иванков А. Н., Четчуев М. В.</i> Об актуализации действующих норм определения числа путей для приёма и отправления поездов в парках технических станций.....	109
<i>Kang-Ni L.</i> Stop feature analysis of Guangzhou – Zhuhai intercity railway based on passenger flow	115
<i>Карасев С. В., Сивицкий Д. А.</i> Метод оценки неравномерности транспортных потоков при специализации объектов железнодорожных станций	127
<i>Кекиш Н. А.</i> Изменение пространственной организации железнодорожных терминалов и технического обеспечения терминальной инфраструктуры в условиях роста контейнеризации грузопотока	137

<i>Кожедуб С. С.</i> Формирование параметрической основы генерации цифрового масштабного плана железнодорожной станции	148
<i>Короткевич И. В.</i> Инновационная система онлайн-контроля дислокации маневровых локомотивов на основе использования цифрового двойника железнодорожной станции	155
<i>Мизгирева Е. Е.</i> Внедрение высокоскоростных магистралей в Ростовскую городскую агломерацию	159
<i>Негрей В. Я.</i> Энергоэффективность раздельного формирования «лёгких» и «тяжёлых» поездов на сортировочных станциях	164
<i>Падалца В. А.</i> Повышение эффективности использования железнодорожной инфраструктуры транспортных коридоров при создании центра координации международных контейнерных перевозок ЕАЭС	170
<i>Переplавченко Е. М.</i> Структура унифицированной цифровой схемы железнодорожной станции	175
<i>Переplавченко Е. М.</i> Способы топологической реконструкции немасштабных схем путевого развития станций	180
<i>Репешко Н. А., Колобов И. А., Осипова Н. Р., Дараселия Е. В.</i> Интеллектуальная система безопасности движения «Zong» для работников железнодорожного транспорта и промышленности	185
<i>Терещенко Е. А.</i> Необходимые условия рационального секционирования путей сортировочного парка грузовой станции	189
<i>Терещенко Е. А.</i> Расчет продолжительности расформирования поездов на вытяжном пути по секциям сортировочного парка для типичных схем безгорочных станций	194
<i>Филатов Е. А.</i> Обоснование параметров стрелочных горловин станций, специализированных на обслуживании полувагонов и минераловозов	199
<i>Числов О. Н., Луганченко Н. М.</i> Развитие принципов моделирования технологии транспортных процессов грузовых комплексов и терминалов	205
Правила оформления научных статей сборника	214

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование работы железнодорожных станций неразрывно связано с повышением эффективности использования путевого развития. Научное обеспечение такой прочной связи технологии работы станции и технического оснащения лежит в плоскости различных системных решений проблемы «узких мест» в горловинах парков и на пересечениях станционных маршрутов; проектировании перспективных устройств и сооружений, способствующих повышению пропускной и перерабатывающей способностей; активном внедрении современных информационных технологий, формирующих основы роботизированного управления станциями с высокой безопасностью и надежностью всех технологических процессов. Эти направления находят отражение в статьях данного сборника, авторы которых обосновывают предлагаемые решения результатами проведенных исследований, внедряя передовой отечественный и зарубежный опыт технических новаций.

Издательская политика сборника предусматривает расширение тематики публикуемых статей под общим названием «Железнодорожные станции и узлы в годы Великой Отечественной войны». Безусловно, такое направление имеет исключительное значение в историческом аспекте, сохраняющем память о роли железнодорожного транспорта в Великой Победе, и редакционный совет сборника предлагает авторам подготавливать статьи данной тематики для дальнейшего формирования отдельной рубрики в общем содержании сборника.

Рассматривается возможность публикации в сборнике серии статей по истории железнодорожных станций и узлов, биографиям и творчеству выдающихся станционников-теоретиков и практиков, новаторов железнодорожного дела. Как в предыдущие, так и в настоящее издание включены статьи по обоим предлагаемым тематикам, которые смогут успешно развиваться при их дальнейшей поддержке нашими авторами публикаций.

УДК 656.07+06

В. В. АЛАБИНА

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону
veronika.zenkova@mail.ru*

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЯМОЙ ПЕРЕВАЛКИ ГРУЗОВ НА СТАНЦИИ РОСТОВ-ТОВАРНЫЙ

Рассмотрены способы организации прямой перевалки грузов в условиях увеличения грузооборота станции Ростов-Товарный. Рассчитан экономически оправданный срок задержки вагонов в ожидании перевалки. Установлена определенная продолжительность совместной обработки железнодорожного и автомобильного транспорта, которая позволяет повысить долю грузов, перегружаемых по прямому варианту, а также значительно снизить затраты на перевозку грузов. Выполнен расчет параметров перевалки грузов в зависимости от суточных показателей станции Ростов-Товарный.

В первом полугодии 2022 года перевозка грузов железнодорожным транспортом через станцию Ростов-Товарный выросла в несколько раз. Новая география и каналы поставок создают благоприятные перспективы для развития железнодорожного, автомобильного, морского транспорта и всей логистической инфраструктуры (рисунок 1) [1].

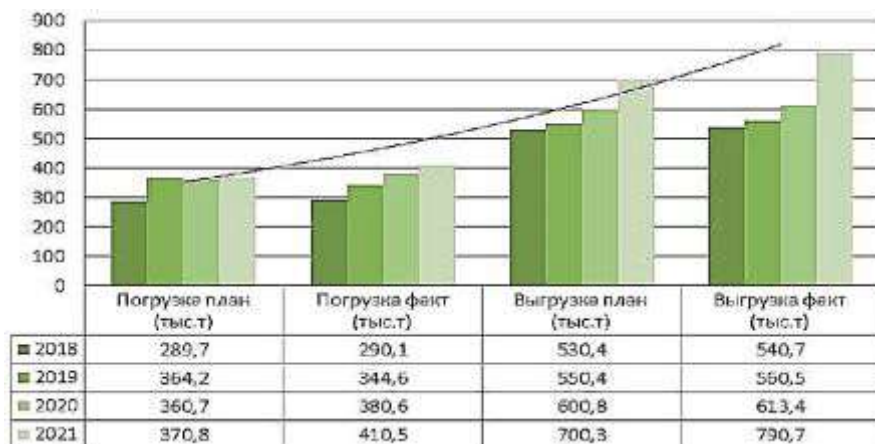


Рисунок 1 – Анализ выполнения количественных показателей
станции Ростов-Товарный

Станция Ростов-Товарный, являющаяся грузовой станцией, по объему выполняемых работ относится к первому классу. Для выполнения маневровых работ станция располагает 4 парками путей и погрузочно-разгрузочными машинами. Произведенный анализ количественных показателей работы станции Ростов-Товарный показал, что за последний год значительно выросли значения погрузки/выгрузки грузов. Выросшие показатели напрямую связаны с изменениями направлений экономической деятельности и грузопотоков в условиях санкций [2, 3].

Перевалка груза представляет собой смену транспортного средства в процессе доставки грузов от грузоотправителя грузополучателю. На перевалочных пунктах выполняются такие виды работ, как погрузка, выгрузка, консолидация, а также временное хранение грузов. Важной задачей обеспечения перевалки грузов с одного вида транспорта на другой является соблюдение эксплуатационных и конструктивных особенностей перевалочных терминалов. На этапе эксплуатации существует интерес к оптимизации некоторых показателей эффективности, связанных с необходимостью обеспечения поточного движения вагонов на перевалочном пункте без пересечений вагонопотоков. Зона хранения используется при отсутствии синхронизации между прибытием поездов и автомобилей. Обеспечение поточного движения грузов, исключая взаимные пересечения на транспортно-складских комплексах, позволяет значительно минимизировать время на выполнении операций [4]. На перевалочных пунктах можно выделить три технологические схемы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Технологические схемы перевалки грузов

Транспортно-складской комплекс (ТСК) является важным элементом перевозочного процесса. Но зачастую при выполнении перевозок предприятия (клиенты), с целью сокращения затрат, стремятся обеспечить прямую перевалку грузов по прямому варианту с нескольких видов транспорта, исключая ТСК.

Прямая перевалка грузов включает в себя перемещение грузов из вагона в грузовик или из грузовика в вагон и выполняется через один и тот же слот для вагонов. Прямая перегрузка требует минимальных усилий крана, сложно синхронизировать прибытие грузовиков с поездами, поэтому некоторые грузы не могут быть перегружены напрямую. Данный вид перевалки имеет ряд преимуществ: исключение потери грузов, сокращение времени доставки и уменьшение расходов.

Выбор способа повышения объема перегрузки по прямому варианту осуществляется по приведенным затратам:

$$E = E_{жск}(1 - \beta) + E_{ски}(1 - \beta) + E_{j-i} + E_{пцj} + E_{пци}, \quad (1)$$

где $E_{жск}$, $E_{ски}$ – приведенные затраты на перегрузку по вариантам; β – доля вагонов с грузом, перегруженным по прямому варианту; $E_{пцj}$, $E_{пци}$ – приведенные расходы по содержанию подвижного состава j -го и i -го видов транспорта; E_{j-i} – затраты на перегрузку по прямому варианту из j -го в i -й вид транспорта.

Выполняя перевалку грузов, необходимо обеспечить стабильную работу пунктов взаимодействия транспорта, а также соблюдать своевременную подачу грузов в необходимом количестве. Синхронизация поездов и грузовиков оказывает влияние на производительность перевалочной станции, загруженность и пропускную способность, а также на то, что нагрузка на входящие и исходящие операции не сбалансирована. В результате этого происходит задержка транспортных средств, так как разные виды транспорта имеют свои особенности работы, свой ритм и закономерности прибытия и отправления, т. е. время доставки значительно увеличивается. Всё это оказывает негативное влияние на доставку грузов грузополучателям.

Для организации прямого варианта перевалки угля с железнодорожного на автомобильный транспорт на станции Ростов-Товарный важно определить экономически оправданный срок задержки вагонов [5]. Суточный объем перевалки угля составляет 750 т. Грузоподъемность вагона составляет 63 т, грузоподъемность автомобиля – 10 т. Часовая производительность ПРМ – 250 т/ч. Так как вагоны и автомобили в пункт взаимодействия прибывают асинхронно, то происходит случайное колебание остатков груза.

Организация прямой перевалки грузов (угля) с железнодорожного транспорта на автомобильный на станции Ростов-Товарный предполагает определить экономически оправданный срок задержки вагонов:

$$T_3 = \frac{Z_p \beta}{Q_ч}. \quad (2)$$

Интенсивность подачи вагонов рассчитывается по формуле

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{q_{\text{в}} t}, \quad (3)$$

где $q_{\text{в}}$ – грузоподъемность вагона, т.

Интенсивность прибытия автомобилей определяется по формуле

$$\lambda_{\text{а}} = \frac{Q_{\text{сут}}}{q_{\text{а}} t}, \quad (4)$$

где $q_{\text{а}}$ – грузоподъемность автомобиля, т.

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{750}{63 \cdot 24} = 0,49 \text{ ваг./ч}; \quad \lambda_{\text{а}} = \frac{750}{10 \cdot 24} \cdot 3,1 \text{ авт./ч.}$$

Среднее квадратическое отклонение потока вагонов:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{в}} &= a(\lambda_{\text{в}} \epsilon)^c T^{0,5}, \\ \sigma_{\text{в}} &= 2,034 \cdot 0,49^{0,66} \cdot 48^{0,5} = 8,7 \text{ ваг.} \end{aligned} \quad (5)$$

Среднее квадратическое отклонение потока автомобилей:

$$\sigma_{\text{а}} = \sqrt{(1-p)\lambda_{\text{а}} T}, \quad (6)$$

Расчетное количество груза, скопившееся в перевалочном пункте:

$$Z_{\text{р}} = 0,798 \sqrt{q_{\text{в}}^2 \sigma_{\text{в}}^2 + q_{\text{а}}^2 \sigma_{\text{а}}^2}, \quad (7)$$

$$e_{\text{в}} + e_{\text{ва}} = (1-\beta)e_{\text{ск}} + (1-\beta)e_{\text{са}}. \quad (8)$$

Коэффициент, учитывающий погрешности перегрузки по прямому варианту, определяется по формуле

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{e_{\text{а}} + e_{\text{ва}}}{e_{\text{ск}} + e_{\text{са}}}}. \quad (9)$$

Расчетное количество вагонов, которое оправданно задерживать в пункте взаимодействия, определяется по формуле

$$m_{\text{р}} = \frac{Z_{\text{р}} \beta}{q_{\text{в}}}. \quad (10)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{0,5 + 18}{0,1 + 34}} = 0,65.$$

При суточном объеме перевалки грузов, равном 750 т, экономически оправданный срок задержки вагонов

$$Z_{\text{р}} = 0,798 \sqrt{63^2 \cdot 8,7^2 + 10^2 \cdot 8,6^2} \approx 442 \text{ т.}$$

$$T_3 = \frac{442 \cdot 0,65}{250} = 1,14 \text{ ч.}$$

$$m_p = \frac{442 \cdot 0,65}{63} = 4,56 \text{ ваг.}$$

Установлено, что суточный объем перевалки грузов по станции Ростов-Товарный непостоянный, выполним расчет экономически оправданного срока задержки и среднего числа задержанных вагонов.

При наращивании суточного объема перевалки грузов на станции количество вагонов в ожидании перевалки увеличивается и соответственно также повышается срок задержки вагонов. Построим графики зависимости $T_3(Q_{сут})$ и $m_p(Q_{сут})$ в соответствии с суточными показателями станции (рисунки 3, 4).

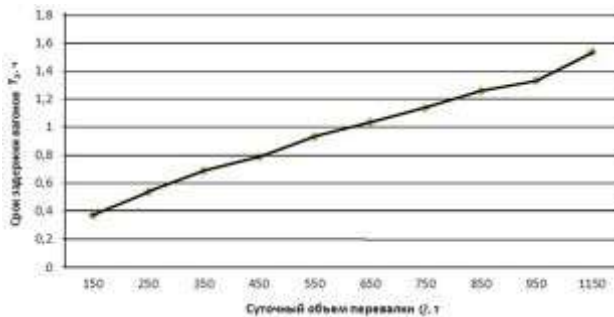


Рисунок 3 – Соотношение экономически оправданного срока задержки вагонов от среднесуточного объема перевалки груза

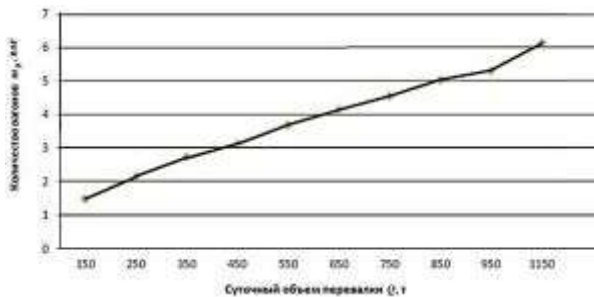


Рисунок 4 – Соотношение экономически оправданного количества задержанных вагонов от суточного объема перевалки груза

При суточном объеме перевалки на станции Ростов-Товарный 750 т срок задержки вагона составил 1,14 часа. Соответственно для организации перевалки по прямому варианту необходимо задерживать 4,45 ваг. Так как суточный грузооборот станции непостоянный, увеличивается время задержки вагонов и их количество, а впоследствии и доставка грузов. Обеспечение коор-

динации всех участников перевозочного процесса в пунктах взаимодействия возможно при выполнении различных подходов сглаживания, а именно максимальном сокращении неравномерности поступления транспортных средств и обеспечении накопления грузов в необходимом количестве для компенсации несогласованности в подходе транспортных средств.

С учетом того, что операции прямой перевалки являются наиболее эффективными, показано: синхронизация поездов и автомобилей играет очень важную роль в работе станции, а это сильно влияет на пропускную способность и загруженность станции. Для обеспечения более быстрой перевалки грузов между железнодорожным и автомобильным транспортными средствами на современных железнодорожных перевалочных станциях необходимы эффективные компьютеризированные процедуры планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Информационно-статистический бюллетень. Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mintrans.gov.ru/ministry/results/180/documents>. – Дата доступа : 10.11.2022.

2 Трапенов, В. В. Анализ производственных мощностей Северо-Кавказской дирекции по управлению терминально-складским комплексом / В. В. Трапенов, В. В. Алабина // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (Ростов-на-Дону, 09–11 ноября 2020 г.). – Ростов н/Д : Ростов. гос. ун. путей сообщения, 2020. – С. 234–237.

3 Методы формирования и принципы интеллектуализации в управлении терминально-складской системой транспортного узла / О. Н. Числов [и др.] // Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщения. – 2021. – № 1 (81). – С. 104–114.

4 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) : учеб. / Н. В. Правдин [и др.] – М. : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. – 1086 с.

5 Четчуев, М. В. Оценка экономической целесообразности применения вариантов перевалки груза в смешанном железнодорожно-водном сообщении / М. В. Четчуев, В. Г. Четчуева // Транспорт России: проблемы и перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 13–14 ноября 2018 года. – 2018. – С. 105–108.

V. V. ALABINA

ORGANIZATION OF DIRECT TRANS-FER OF CARGO AT ROSTOV-TOVARNY STATION

The methods of organizing direct transshipment of goods, in the conditions of increasing the turnover of the Rostov-Tovarny station, are considered. The economically justified period of delay of wagons in anticipation of transshipment has been calculated. A certain duration of joint processing of rail and road transport has been established, which allows increasing the share of goods transshipped by the direct option, as well as significantly reducing the cost of transporting goods. Cargo transshipment parameters were calculated depending on the daily indicators of the Rostov-Tovarny station.

Получено 15.11.2022

УДК 656.212.5

С. А. БЕССОНЕНКО, А. А. ГУНБИН, А. А. КЛИМОВ

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск bessonenko@stu.ru, gunbin_gdsu@mail.ru, aklimov@ngs.ru,

К. И. КОРНИЕНКО, И. А. ОЛЬГЕЙЗЕР

Ростовский филиал АО НИИАС, г. Ростов-на-Дону
kkonstantini@mail.ru, ivanolgezer@yandex.ru

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ РАЗНЫХ ТИПОВ ВАГОНОВ В СОРТИРОВОЧНОМ ПАРКЕ

Рассмотрены используемые в действующих нормативах плотности распределения сопротивления движению вагонов при скатывании с сортировочной горки. Установлены причины необходимости выполнения дополнительных исследований силовых воздействий на скатывающиеся с горки отцепы и определения распределений вероятностей сил сопротивления движению вагонов на современном этапе развития железнодорожного транспорта. Приведены результаты статистической обработки данных автоматизированной системы «Компьютерное зрение» о скатывании одиночных вагонов разного типа с эксплуатируемой сортировочной горки. Приведены плотности распределения вероятностей суммарного удельного сопротивления движению одиночных вагонов разного типа. Произведено сравнение числовых характеристик плотностей распределения суммарного удельного сопротивления движению одиночных вагонов разного типа при скатывании с горки, в том числе сопоставление с используемыми в настоящее время нормативными данными. Даны рекомендации по дальнейшей корректировке правил и норм проектирования сортировочных устройств на основании полученных результатов исследования суммарного удельного сопротивления движению одиночных вагонов разного типа при скатывании с сортировочной горки.

При проектировании сортировочных горок выполняются расчет и анализ фазовых траекторий скатывания расчетных бегунов – одиночных вагонов определенного типа с установленными значениями массы и удельного сопротивления движению [1]. Расчет производится для бегунов с заранее заданными параметрами. Сопротивление движения данных бегунов изменяется в диапазоне от 0,5 (для очень хорошего бегуна) до 4,5 н/кН (для очень плохого бегуна).

Опыт эксплуатации сортировочных горок показывает, что существующая комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом способна качественно решать вопросы обеспечения безопасности движения любых отцепов при любых параметрах движения отцепа в пределах от горба горки до парковой тормозной позиции. В то же время при правильном проектировании спускной части сортировочной горки повышается перерабатывающая способность за счет увеличения скорости роспуска.

В сортировочном парке отцеп движется только под действием силы тяжести. Ошибки проектирования сортировочного парка могут снизить как перерабатывающую способность за счет увеличения величины окон, так и безопасность движения за счет соударения отцепов с превышением скорости соударения или выезда вагонов в выходную горловину.

Нормативы, указанные в [1], также используются и для расчета безопасности других систем и комплексов, например, точечных домкратовидных устройств замедления, аппаратуры контроля и управления балочными заграждающими устройствами. Необходимо отметить, что указанные нормативы и числовые характеристики плотностей распределения удельного сопротивления движению вагонов при скатывании с горки были установлены более 30 лет назад [2]. За этот период произошли существенные изменения в конструкции нетягового подвижного состава, результатом которых стало, в том числе, улучшение ходовых характеристик вагонов. Следовательно, указанные выше нормативы должны быть актуализированы для современных условий.

Для решения поставленной задачи производилось определение сил сопротивления движению вагонов при скатывании на прямом участке сортировочного пути на основании изменения скоростей движения вагона [3, 4]. Произведена обработка статистических данных о скатывании более 5000 одиночных вагонов с использованием системы «Компьютерное зрение» (разработана специалистами Ростовского филиала НИИС) на сортировочной горке станции И. По архивным значениям скорости скатывания одиночных вагонов в фиксированных точках выполнялся расчет удельного сопротивления движению отцепа – основного и от среды и ветра (сопротивления от стрелочных переводов и кривых, а также от снега и инея не учитывались, так движение вагонов производилось на прямом участке пути при положительной температуре наружного воздуха).

После обработки результатов методами математической статистики были получены плотности распределения вероятностей и их числовые

характеристики, а также интегральные функции распределения суммарного удельного сопротивления (основного и от среды и ветра ($w_o + w_{cb}$)) движению вагонов разного типа, приведенные в таблицах 1 и 2 и на рисунке 1.

Таблица 1 – Плотности распределения суммарного удельного сопротивления (основного и от среды и ветра) движению вагонов разного типа при скатывании с сортировочной горки

Ряд, Н/кН	Тип вагона			
	крытый	полувагон	цистерна	платформа
0,00–0,20	0,07	0,05	0,03	0,05
0,20–0,40	0,09	0,09	0,09	0,11
0,40–0,60	0,25	0,22	0,24	0,21
0,60–0,80	0,29	0,30	0,32	0,29
0,80–1,00	0,17	0,18	0,18	0,17
1,00–1,20	0,05	0,06	0,06	0,07
1,20–1,40	0,04	0,04	0,05	0,04
1,40–1,60	0,01	0,02	0,00	0,02
1,60–1,80	0,01	0,02	0,01	0,01
1,80–2,00	0,01	0,01	0,00	0,02
2,00–2,20	0,01	0,01	0,01	0,01
2,20–2,40	0,00	0,00	0,00	0,00
2,40–2,60	0,00	0,00	0,00	0,00
2,60–2,80	0,00	0,00	0,00	0,00
2,80–3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3,00–3,20	0,00	0,00	0,01	0,00

Таблица 2 – Числовые характеристики плотностей распределения суммарного удельного сопротивления (основного и от среды и ветра) движению вагонов разного типа при скатывании с сортировочной горки

Числовая характеристика	Тип вагона			
	крытый	полувагон	цистерна	платформа
Математическое ожидание, Н/кН	0,73	0,81	0,72	0,79
Среднее квадратическое отклонение	0,46	0,56	0,36	0,59

Полученные результаты показывают значительное снижение величины математического ожидания суммарного удельного сопротивления (основного и от среды и ветра) движению вагонов (диапазон изменения 0,7–0,9 Н/кН) относительно средних значений основного удельного сопротивления движению (диапазон изменения 1,75–1,39 Н/кН), что подтверждает гипотезу об улучшении ходовых характеристик вагонов, эксплуатируемых на современном этапе.

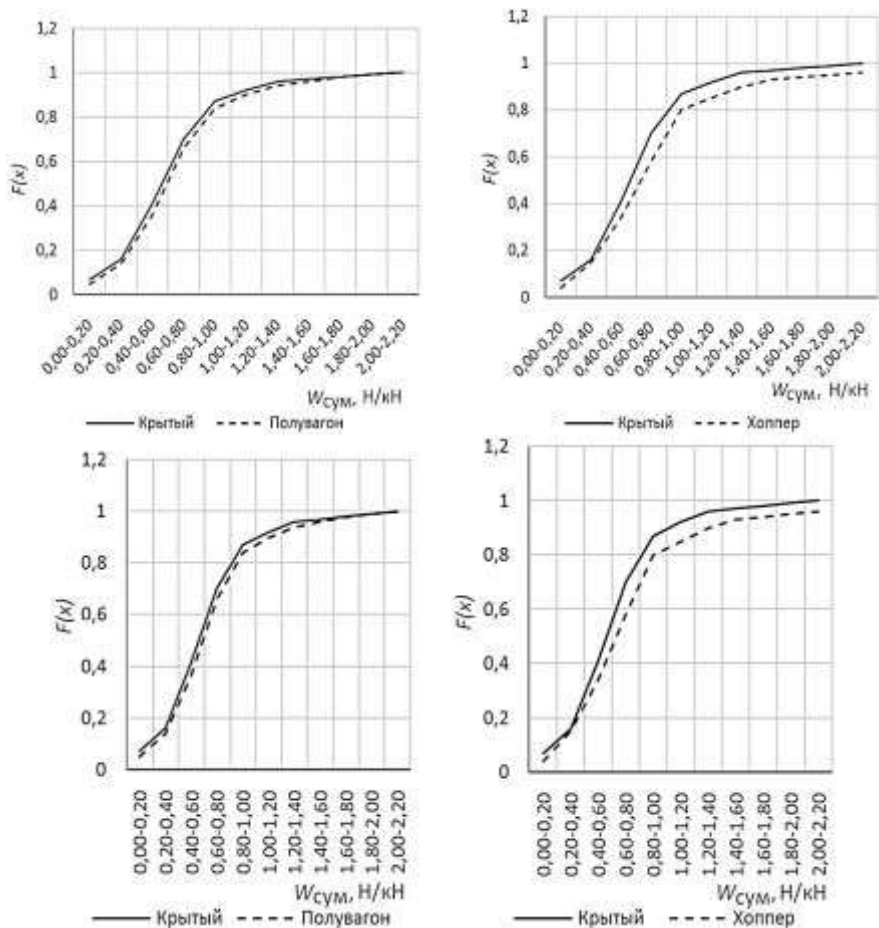


Рисунок 1 – Интегральные функции распределения суммарного удельного сопротивления (основного и от среды и ветра) движению вагонов разного типа при скатывании с сортировочной горки

Кроме того, диапазон изменения среднего квадратического отклонения удельного сопротивления движению вагонов значительно сократился:

- изменение для величины w_0 было в диапазоне [0,35–0,67];
- изменение для величины $(w_0 + w_{\text{св}})$ стало в диапазоне [0,33–0,64].

Измерения проводились в сортировочном парке. Скорость движения отцепов в этом районе небольшая. Вследствие этого удельное сопротивление движению отцепов от среды и ветра невелико, что приводит к незначитель-

ным отклонениям суммарного удельного сопротивления разных типов вагонов.

Необходимо отметить, что без учета значения $w_{св}$ диапазон изменения указанных числовых характеристик для основного удельного сопротивления движению должен сократиться. Установлено, что большая доля вагонов имеет значение удельного сопротивления движению вагонов ($w_0 + w_{св}$) менее минимального (0,5 Н/кН), приведенного в существующих методиках расчета. Наибольшая доля таких вагонов приходится на цистерны – 0,24; для крытых вагонов – 0,3; для полувагонов – 0,24; для платформ – 0,24.

Полученные результаты необходимо учитывать при расчете мощности тормозных позиций, в котором используется очень хороший бегун (ОХ-100) со значением $w_0 = 0,5$ Н/кН, а появление вагонов с меньшим значением сопротивления будет приводить к повышению вероятности возникновения нештатных ситуаций за счет возможного входа вагонов на тормозную позицию с повышенными скоростями или нарушением скоростного режима по маршруту скатывания.

Кроме того, появление вагонов со значениями удельного сопротивления движению менее 0,5 Н/кН в сортировочном парке и реализации интервально-прицельного режима регулирования скорости скатывания будет приводить к увеличению вероятности движения вагонов после выхода с парковой тормозной позиции с повышенными скоростями и возникновения случаев соударения с группами стоящих в парке вагонов с повышенными скоростями.

Полученные результаты подтверждают необходимость дальнейшего исследования данной проблемы, а впоследствии – внесения корректировок в числовые характеристики основного удельного сопротивления движению вагонов при актуализации правил и норм проектирования сортировочных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм : утв. МПС РФ 10.10.03. – М. : Техинформ, 2003 – 168 с.
- 2 Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок / под ред. Е. А. Сотникова // Труды ВНИИЖТа. – М. : Транспорт, 1975. – Вып. 545. – 104 с.
- 3 Бессоненко, С. А. Исследование основного удельного сопротивления движению отцепов при скатывании с сортировочной горки на основе натуральных наблюдений / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4. – С. 62–68.
- 4 Климов, А. А. Метод определения сопротивлений движению отцепов при скатывании с сортировочной горки на основе натуральных наблюдений и цифровых баз данных / Цифровые технологии транспорта: проблемы и перспективы // Цифровые технологии транспорта и логистики : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М. : РУТ, 2022. – С. 300–305.

S. A. BESSONENKO, A. A. GUNBIN, A. A. KLIMOV, K. I. KORNIENKO,
I. A. OLGEYSER

PROBABILITY DISTRIBUTIONS OF SPECIFIC RESISTANCE TO MOVEMENT OF DIFFERENT TYPES OF WAGONS WHEN ROLLING DOWN IN THE SORTING FLEET

The density distributions used in the current regulations for the distribution of resistance to the movement of wagons when rolling down a gravity hump are considered. The reasons for the need to carry out additional studies of the force effects on the uncoupling rolling down the hill and determining the probability distributions of the forces of resistance to the movement of wagons at the present stage of the development of railway transport are established. The results of statistical data processing of the automated system "Computer Vision" on the rolling of single wagons of different types from the operated gravity hump slide are presented. The probability distribution densities of the total resistivity of the movement of single wagons of different types are given. The numerical characteristics of the distribution densities of the total resistivity of the movement of single wagons of different types when rolling down the hill are compared, including comparison with the currently used normative data. Recommendations for further correlation are given.

Получено 12.12.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.021.5:656.211.4

С. П. ВАКУЛЕНКО

*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
post-iuit@bk.ru*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗМЕРОВ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРОПОТОКОВ С ДИНАМИЧЕСКИМ ГОРИЗОНТОМ СОБЫТИЙ

Предлагается методика прогнозирования пригородного пассажиропотока как многоструктурного образования, порождаемого различными факторами, что обеспечивает устойчивую платформу целевого прогноза с мониторингом состояния транспортной системы. Результат оценки предиктивных пригородных потоков основывается не только на статистике некоторой ретроспективной выборки, но на знании причин, формирующих соответствующий сегментный поток.

Понятие социалитета связывается с необходимостью обеспечения определенных процессов, соблюдения некоторых условий и правил, принятых в обществе. Это своеобразная гражданская позиция на уровне государственных решений по защите прав отдельных слоев населения. Обеспечение при-

городных перевозок, часто убыточных, является особой сферой, в которой только экономические стимулы не могут использоваться в полной мере. Безубыточность пригородных перевозок достигается, как показывает существующая практика, при увеличении провозных платежей в 5–10 раз. Огромный парк дизель- и электропоездов, курсирующих на незначительные расстояния, наличие большого числа остановок, малые скорости движения на участке приводят к большим удельным расходам топлива и электроэнергии. К этому следует добавить крайне неритмичный характер пригородных перевозок. Проведенные автором исследования показывают, что распределение объема перевозимых пассажиров по частотному признаку имеет несимметричный характер (рисунок 1).

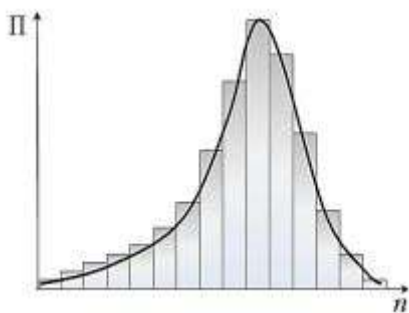


Рисунок 1 – Частотная несимметричность пригородных перевозок

Данная ситуация является достаточно типичной для широкого диапазона условий обеспечения пригородными перевозками средних, крупных и крупнейших городов. Это значит, что чаще в пригородных поездах находится количество пассажиров меньше, чем среднее их значение. Если попытаться сократить количество поездов или перераспределить их по времени с учетом большего накопления пассажиров и увеличения населенности поездов, то это вызовет целый ряд негативных последствий.

Одним из основных является социальный фактор неудовлетворенности населения качеством предоставляемых транспортных услуг. Поэтому число экономический анализ данной проблемы с принятием обоснованных решений неприемлем.

На первый план выходит *социальный статус пригородных перевозок* – условие безальтернативного обеспечения качественными и доступными по ценам перевозками железнодорожным транспортом населения на короткие расстояния. Однако, с другой стороны, такая стратегия может рассматриваться как некий патронаж со стороны государства, поощряющего безудержные дотации и тем большие, чем более сложной оказывается экономическая ситуация в стране и мире. Поэтому возникает вопрос о степени дотационности провозных плат в пригородном сообщении и уровне соответствующего качественного обеспечения перевозок. Ведь при окупаемости транспортных услуг возникает больше возможностей повысить их качество, в противном случае полная убыточность перевозок ложится двойным бременем на перевозчика: он покрывает убытки и вкладывает дополнительные финансовые ресурсы на повышение качества перевозок.

Поэтому в сложных условиях обеспечения паритета между возрастающими затратами на содержание существующей инфраструктуры и ростом цен требуется находить тот уровень адекватных и объективных не только экономических, но и социальных решений, помогающих включить железнодорожный транспорт в число самых перспективных перевозчиков, способных предоставить весь спектр транспортных услуг по самой привлекательной для клиента стоимости этих услуг.

Стратегия социально ориентированных решений является качеством богатого, цивилизованного и гуманистического государства, которое может позволить взять на себя часть расходов своих граждан, компенсируя постоянные затраты на столь необходимые перевозки, без которых население городов не может обойтись. Следует иметь в виду, что при этом проявляется и забота о здоровье людей, так как регулярные выезды за пределы городских агломераций позволяют сменить экологическую обстановку, далеко не самую благоприятную, особенно в крупнейших городах и мегаполисах.

Оценка перспективных размеров пригородного пассажиропотока сопряжена со значительной сложностью, связанной с ее высокой чувствительностью к изменению условий поездки, общей социально-экономической ситуацией, с одной стороны (действие глобальных факторов), и установившейся высокой неравномерностью, функционально присущей этому виду перевозок – с другой (действие локальных факторов). Зачастую неравномерность имеет импульсный характер, прогнозируемый по вектору динамики, но с трудом определяемый по величине. Квалификация определенной части пригородных перевозок как социально значимой приводит к высоким требованиям, предъявляемым к качеству транспортного обслуживания. Социально значимые – следовательно, безусловно обеспечиваемые, гарантированно обслуживаемые и достаточно привлекательные в экономическом плане с широким ассортиментом тарифных схем по категориям льготных услуг.

Важно видеть в одной из достигаемых целей обеспечение качественных перевозок пригородных пассажиров с возможностью привлечения дополнительной доли пассажиропотока, переходящего на железнодорожный транспорт с других видов транспорта по причине усиления некоторых позиций в сравнении с предыдущим уровнем обслуживания.

Следует обратить внимание на «мягкий», своеобразный щадящий режим, который постоянно нужно применять к социально значимым перевозкам. Их особый статус требует определенной предупредительности применяемых мер, особенно экономического характера, приводящих к росту стоимости провозных плат, повышению населенности поезда и др. По всей видимости, пригородные перевозки должны находиться под государственной защитой, которая должна охранять их от резких ударов экономических реалий. Дотационный принцип существования пригородных перевозок

должен рассматриваться как первоочередной механизм регулирования экономических отношений железной дороги с пассажиром. Согласно результатам постоянного мониторинга качества обслуживания пригородных пассажиров на других видах транспорта следует делать все возможное, чтобы хотя бы по одной позиции качество обслуживания на железнодорожном транспорте было лучше. В некоторых случаях следует использовать демпинговые схемы в тарифной политике (естественно, в рамках действующего законодательства).

Социальная значимость пригородных перевозок должна стать престижной для государства. Именно в таком контексте приобретает смысл конкретная забота о человеке, обеспечение его прав и гражданских свобод.

С точки зрения рассмотренных позиций неизмеримо возрастает важность прогнозирования пригородных пассажиропотоков, которые не являются простой частью общего объема пассажиропотоков, а представляют собой сложную сферу взаимоотношений всего населения страны с транспортом. Пригородное движение охватывает всех людей без исключения. По некоторым экспертным оценкам, в среднем за время своей жизни человек совершает пригородных поездок на 300 тыс. км, что соразмерно с путешествием на Луну! Активная пригородная миграционная способность в некоторых случаях становится стилем всей жизни, определяя поведение и привычки людей и делая транспорт неизменным атрибутом своего существования. С точки зрения адепта железнодорожного транспорта в нашем виде перевозок для человека важно создать непоколебимую уверенность в том, что это тот тип перевозчика, который способен удовлетворить все запросы пассажира по самой высокой планке.

Динамический горизонт событий характеризуется подвижной границей глубины прогнозирования. При этом следует отметить, что горизонт упреждения планируемых пригородных пассажиропотоков различается для различных видов перевозок по группам населения, определяющим поездки выходного дня (дачные, туристические, отдых), рабочие (утром и вечером, в будние дни), специфического назначения. Необходимость выделения групп, совершающих различные поездки (различие по функциональному назначению) при прогнозировании связана с особенностями действия закономерностей, определяющих периодичность их действия. Понятие периодичности также следует уточнить. Через определенное время величины исследуемых пассажиропотоков не повторяются, повторяется лишь действие одних и тех же факторов, приводящих к аналогичному вектору в динамике изменения размеров потоков.

Пусть исходная точка прогнозирования (нуль-пункт) находится в настоящем времени с текущим значением t_0 . От этой временной характеристики мы определяем значения перспективных пригородных пассажиропотоков по отдельным группам Π_i с характерными и только им присущими горизонтами прогнозирования (рисунки 2).

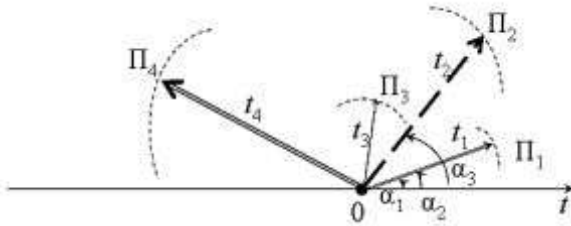


Рисунок 2 – Диаграмма прогнозирования величин пригородных пассажиропотоков с динамическим горизонтом событий

Согласно такой диаграмме целесообразно для каждой группы совершаемых поездок Π_i фиксировать определенный упреждающий период времени t_i со специфическим набором параметров α_i и ξ_i . При этом следует выделять однородный и неоднородный составы фиксируемых параметров исследуемых групп пригородных пассажиропотоков.

Однородный горизонт событий для разных групп характеризуется одним и тем же набором параметров (t_i, α_i, ξ_i) . *Неоднородный горизонт событий* различается составом определяемых параметров. Так, для группы Π_1 (см. рисунок 2) при прогнозировании могут потребоваться значения t_1 и ξ_1 , а для группы Π_3 – t_3, α_3 и γ_3 (другой, специфический признак).

Исследуем однородный динамический горизонт событий, связанный с прогнозированием размеров выделенных групп пригородных пассажиропотоков. Упреждающий вектор времени t_i связан с характером динамики изменения данного пассажиропотока. Ранее автором уже отмечалось, что кривая изменения величины некоторого потока Π_i через определенное время T_m повторяется, но не в точности, а с некоторым диапазоном $\Delta\Pi_{ij}^k$, где j, k – интервальные (нижний и верхний) индексы вариации, i – номер периода прогнозирования (рисунок 3).

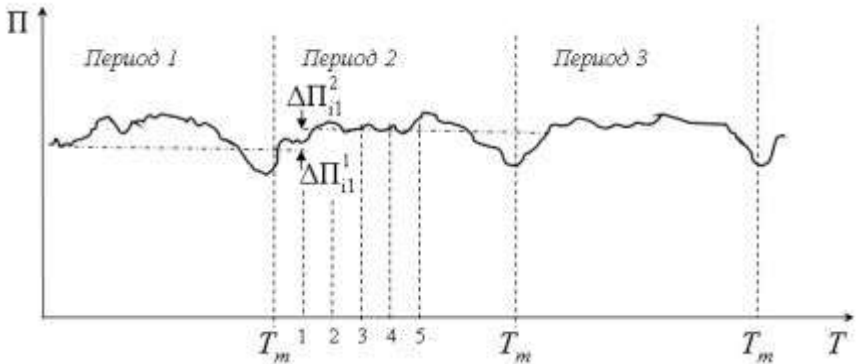


Рисунок 3 – Вариации повторяемого периода возвращаемых значений потоков

Считаем, что в пределах одного горизонта упреждаемых событий содержится достаточное количество периодов. Такую прогнозную схему будем называть *нормальной*. Таким образом, мы исследуем *прогнозные процессы с коротким периодом повторяемости значений* пригородных пассажиропотоков. Вариации величин потоков $\Delta\Pi_{ij}^k$ в пределах одного периода могут быть постоянными (*стабильный поток*) либо изменяться в определенных пределах ϵ , различных для разных периодов повторяемости. Интенсивность некоторого сегмента пригородного потока определяет набор его параметров и их вариации по различным периодам. Чем выше интенсивность (мощность) потока, тем стабильней его параметры, а их вариации – ниже.

На рисунке 4 приведены оценки, полученные автором при исследовании

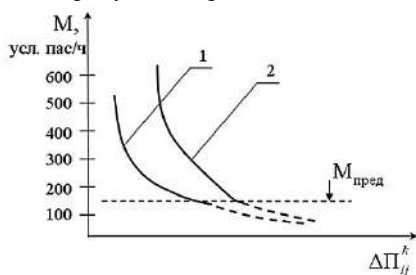


Рисунок 4 – Эмпирические зависимости для различных потокообразующих городов с населением:

1 – 100 тыс. чел.; 2 – от 100 до 500 тыс. чел.

статистических и прогнозных потоков по целому ряду пассажирских станций средней полосы Российской Федерации. Исполненные перевозки свидетельствуют о том, что существует нижний предел надежности оценки вариаций пригородных пассажиропотоков, практически не зависящий от размеров тяготеющих центров. Этот предел находится на уровне 150 усл. пас/ч, ниже которого корректно идентифицировать $\Delta\Pi_{ij}^k$ не удастся.

Теоретически должен существовать и верхний предел уверенной оценки $\Delta\Pi_{ij}^k$ однако, как показали проведенные автором исследования, при этом следует учитывать возрастающее количество других факторов. Наиболее значимым из них является размер крупнейших городов и мегаполисов, структура пригородного потока которых более специфична, чем для средних и крупных городов. При этом вариации $\Delta\Pi_{ij}^k$ для мегаполисов существенно отличаются и требуют проведения особого исследования.

Динамический горизонт прогнозирования обеспечивается периодической подстройкой временного расстояния упреждения оценки состояния системы. Так как требуемый к исполнению объем пригородных перевозок варьируется даже по установленному периоду (например, различия в объемах перевозок пригородных перевозок на дачи в i -ю и $(i+1)$ -ю субботу данного месяца), то этот факт должен находить свое отражение и в прогнозировании. Динамика многофакторного влияния является неоднозначной. Попытка изучить действие таких факторов на размеры пригородных перевозок в течение года и такое измеренное воздействие закладывать в долгосрочное прогнозирование оказалась, как показали исследования автора, не-

эффективной. Действие факторов в следующем году оказывается другим, зависящим от влияния множества иных факторов более высокого уровня общности или более детализированных по структуре.

Поэтому предлагается использовать многоступенчатую схему оценки наступающих событий с распознаванием нарастающего действия определенных факторов и известным их влиянием на размеры пригородных пассажиропотоков. Например, экспертно установлено, что за период май – июнь объем пригородных перевозок на некотором участке возрастает в 2,73 раза с отклонением от среднего 230 пассажиров. Это отклонение связано с действующими тарифами на железнодорожном и автотранспорте, а также ценами на бензин, усиливая или ослабляя тем самым использование личного транспорта для осуществления данных видов поездок. Таким образом, изучая состояние указанных факторов и их развитие на перспективу, можно прогнозировать связанные с ними виды пригородных перевозок.

Основной сложностью в таком подходе оказывается то, что неизвестен конкретный вклад каждого из перечисленных факторов в вариацию указанных 230 пассажиров. И если ситуация развивается таким образом, что размеры исследуемого отдельного сегмента пригородных перевозок (только дачные перевозки) изменяются на 200 пассажиров из 230 ожидаемых, то многочисленность выявленных факторов может лишь ориентировать нас на возможное (вероятное) действие наиболее значимого фактора (или некоторое «долевое» участие определенных факторов).

Следует вообще признать относительным понятие значимости факторов при прогнозировании. Ранжирование причин, определяющего размеры сегментного пригородного пассажиропотока, привязывается к текущей ситуации. А так как состояние транспортной системы постоянно изменяется, то при этом изменяется и сила действия отдельных факторов, а следовательно, меняется их роль в формировании искомого нами параметра – размеров пригородного потока. Наблюдаемыми остаются лишь результаты, которые можно уверенно регистрировать.

Исследованиями автора установлено, что изучение структуры пригородного потока позволяет выявлять действие порождающих такой результат причин. И чем глубже будет такое расслоение по структуре, тем большую информацию можно извлечь из факторов, явившихся первопричиной регистрируемых пригородных потоков.

Сегментация пригородных перевозок по достигаемым пассажирами целям является ключевой позицией при построении прогностической концепции перспективных пригородных пассажиропотоков. Доля совершаемых поездок с определенным целевым условием в общем объеме пригородных перевозок на выделенном участке называется *обусловленным сегментом*. Пусть участок М-Н признается как выделенный для совершения пригородных перевозок. Причем станция М – пункт зарождения пригородных пассажиропотоков, станция Н – пункт их погашения. Так как на направлении

МН-Б по расписанию отправляется ряд пригородных поездов с различными станциями назначения, в таком случае имеем определенное рассеивание пригородного потока. Укороченный участок обращения пригородного поезда следует признать целесообразным, если при 100%-й населенности данного состава 85 % пассажиров достигают поставленные цели совершаемой поездки, т. е. они следуют до нужного им пункта и им не требуется ожидание следующего далее пригородного поезда.

Рассеивание (по сути, потеря) потока по некоторому пригородному участку, как показали проведенные автором исследования, является правилом, наиболее выраженным в периоды интенсивных перевозок, совершаемых в летний сезон (долгосрочное прогнозирование) и в предпраздничные дни (краткосрочное прогнозирование). В процессе статистического обследования участков обращения пригородных поездов необходимо определять опорные железнодорожные станции, где постоянно фиксируется погашение пригородного пассажиропотока не менее 1000 пассажиров (*устойчивые пункты*), и где имеются такие станции с периодическим фиксированием данного погашаемого пассажиропотока (*неустойчивые пункты*).

Принято считать, что если станция Н является станцией погашения пригородного пассажиропотока некоторого размера, то он одновременно является и пунктом зарождения такого же объема потока. Однако в действительности имеют место различные случаи образования потока в обратном направлении.

1 Станция Н через период накопления $t_n \leq 12$ ч устойчиво обеспечивает пригородный поток, равный по размеру погашаемому потоку, прибывшему данным пригородным поездом. Такая ситуация наблюдается при организации рабочих поездов, когда обеспечивается подвоз и вывоз людей, занятых на предприятиях промышленной зоны, удаленной от городских застроек.

2 Станция Н накапливает пригородный поток зарождения через период $t_n > 12$ ч в размере потока погашения. В этом случае не наблюдается устойчивости образования такого потока, который имеет спорадический, одномоментный характер. Данный поток можно регистрировать, например, при проведении в туристических зонах с массовым вывозом людей, при проведении праздничных гуляний, шествий и др. Железнодорожный транспорт в этом случае может быть весьма полезен при возможности его использования в качестве перевозчика.

3 Станция Н не обеспечивает накопления погашаемого потока в силу субъективных и объективных факторов. К субъективным можно отнести неудобное для пассажиров расписание пригородных поездов по обороту, к объективным – разноцелевые поездки с несовпадающим периодом возврата пассажиров. Рассеиванием погашаемого на станции Н потока может быть связано с широким полигоном точек назначения их поездок, отстоящих на

значительном расстоянии с удобной связью доставки в пункт назначения автотранспортом, но несогласованным графиком работы автомобильного и железнодорожного видов транспорта в обратном направлении. Рассеивание погашаемого потока по территории может быть *критичным* и *некритичным*. Если полигон рассеивания некритичен, то соответствующий поток порождения можно «собрать», устранив действие указанных выше субъективных причин. Критичный полигон рассеивания характеризуется значительными размерами (до 10 км от станции погашения потока), другими сложными условиями (болотистая, пересеченная или горная местности, наличие паромных переправ и др.). Это так называемая проблема последней мили в пригородной интерпретации.

Анализ пригородных перевозок на таких участках с потерей погашенного пригородного пассажиропотока показывает, что в большинстве случаев определяющими причинами являются субъективные факторы, а, например, действие такого фактора, как критичность полигона рассеивания, ограничивается 5–10 % всех случаев потери потока.

Три рассматриваемых варианта формирования обратного пригородного пассажиропотока по станции оборота Н предлагается называть прогнозными вариациями А, В и С (соответственно аббревиатурно ПВ-А, ПВ-В, ПВ-С).

ПВ-А обеспечивает уверенное прогнозирование с небольшим размахом вариации отклонений (рисунок 5).

Схема ПВ-А(а) (см. рисунок 5, а) характерна для станций, располагаемых в небольших городах. В таких случаях на участке М-Н сформировывается устойчивая сегментная структура пригородного пассажиропотока.

На участке М-Н обеспечивается интенсивное пригородное движение, регулярное по периодичности и значительное по размерам. Статистика исполненных перевозок за последние 2–3 года гарантирует высокую надежность прогнозных результатов на такой же период упреждения. Дисперсия потока минимальна в такой степени, что при прогнозировании можно пользоваться исключительно средними значениями по статистическим выборкам и закладывать их в прогнозные расчеты потребного подвижного состава. Диаграммы по мощности потока на участке обращения М-Н практически идентичны друг другу по аналогичным периодам с симметрично выраженными кривыми погашения и зарождения соответствующих потоков. Схема ПВ-А(а) оказывается весьма чувствительной к обеспеченности перевозками. Нарушение ритма движения пригородных поездов на участке при авариях, исключительных погодных и других форс-мажорных условиях вызывает серьезные проблемы организационного и социального характера. Поэтому для подобных схем следует резервировать дополнительные ресурсы для быстрого решения возникающих критических ситуаций.

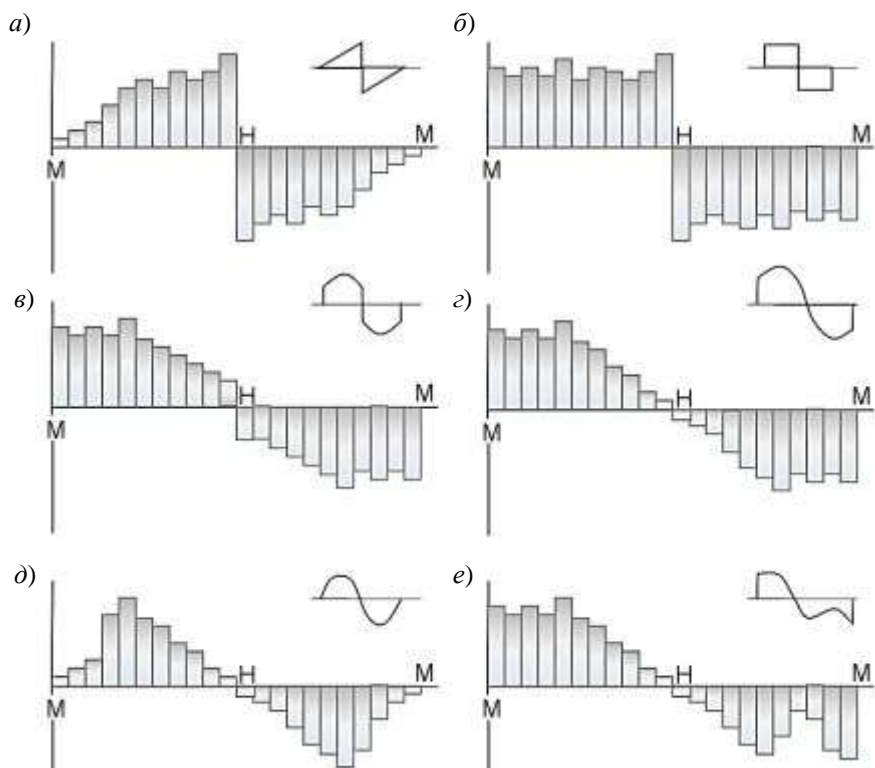


Рисунок 5 – Схемы погашения и зарождения пригородных пассажиропотоков по варианту ПВ-А: *а* – возрастающий поток по участку М-Н и уменьшающийся в обратном направлении; *б* – устойчиво большой поток по обоим направлениям; *в*, *г* – убывающий поток на участке М-Н и возрастающий по участку Н-М; *д* – схема с синусоидальными потоками по участкам М-Н и Н-М; *е* – несимметричные потоки погашения и зарождения

Для надежного прогнозирования потоков по схеме ПВ-А(а) следует определять коэффициент роста ежегодного потока. Этот коэффициент позволяет достаточно уверенно определять основные параметры пригородного потока на перспективу. При этом есть основания утверждать, что коэффициент роста является константой, определяющей развитие процессов на данном участке между станциями оборота М и Н в течение длительного времени при устойчивом действии различных факторов.

Схема ПВ-А(б) (см. рисунок 5, б) типична для крупных пассажирских станций с развитой городской инфраструктурой и высокой плотностью населения в пригородах. Данная схема также квалифицируется как устойчивая сегментная структура со слабой вариацией значений потока в однофазовых (повторяющихся) точках. Поток пригородных пассажиров незначительно

изменяется на всей длине участка М-Н, а отклонения от среднего значения – менее 5 %. Исследования показывают, что ПВ-А(б) весьма близка по характеру к предыдущей схеме ПВ-А(а), но менее подвержена устойчивым (а значит, легко прогнозируемым) изменениям на перспективу.

Так как станции М и Н располагаются в крупнейших городах с высокой плотностью населения на участке следования пригородных поездов, то этот факт сам по себе является сдерживающим дальнейшее увеличение миграционной способности населения.

Более того, наличие некоторого максимального значения пригородного пассажиропотока на участке М-Н для ПВ-А(Б) указывает на ближайшую перспективу его снижения (регрессивные тенденции по условию насыщения). Из этой схемы возможны некоторые подсхемы с несимметричными подобластями диаграммы потоков (рисунок 6).

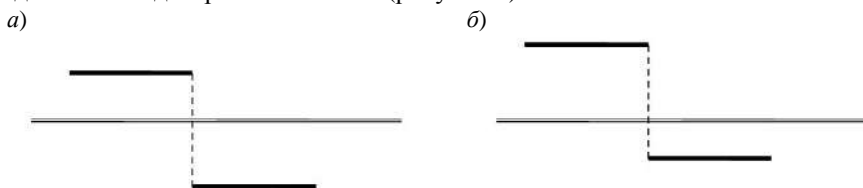


Рисунок 6 – Несимметричные подобласти диаграммы ПВ-А(б)-схемы:

$$a - \Pi_{(М-Н)} > \Pi_{(Н-М)}; \quad б - \Pi_{(М-Н)} < \Pi_{(Н-М)}$$

Несимметричными являются такие схемы, где

$$\frac{\Pi_{(М-Н)}}{\Pi_{(Н-М)}} > 1,5 \text{ и } \frac{\Pi_{(М-Н)}}{\Pi_{(Н-М)}} < 0,5.$$

Таким образом, изучение соотношения прямого и обратного потоков пригородных пассажиров позволяет выделить три основных диапазона (рисунок 7).



Рисунок 7 – Диапазоны соотношений потоков по схеме ПВ-А(б)

Симметричная подобласть определяет достаточно широкий диапазон различающихся потоков пригородных пассажиров, которые требуется более глубоко изучить и дифференцировать их по другим идентификационным признакам.

Схема ПВ-А(в) предполагает наличие некоторых устойчивых начальных и конечных (соразмерных по величине) пригородных потоков, изменяющихся на участке по кривым с экстремумом. При этом потоки на станциях М и Н составляют 40–50 % от максимальной величины на участке. Это схе-

ма с выраженным симметричным характером двух подобластей и вариациями, описанными для предыдущей схемы.

Схема ПВ-А(г) рассматривает симметричные подобласти с высоким начальным (по станции Н) и низким конечным (по станции Н) потоками в прямом обращении и с противоположной ситуацией в обратном. Симметрия соблюдается в рамках установленных ранее канонов и потоками перед станцией Н и сразу за ней при $\Pi_{\min} = (0,03 \dots 0,05) \Pi_{\max}^{M-H}$.

Схема ПВ-А(д) определяет синусоидный характер кривой пассажирских потоков двух подобластей диаграммы. Устойчивость и повторяемость этой кривой является ее характеристикой. Дисперсия основных параметров также укладывается в рамки ограничений, указанных при описании схем ПВ-А(а) и ПВ-А(б).

Наиболее общей и трудно прогнозируемой схемой является вариант с асимметричным характером двух подобластей (ПВ-А(е)). Ассоциации визуальной симметрии и устойчивости (повторяемости) потока, как показывает анализ, являются правильными. Непериодический характер кривой $\Pi_{(M-H)} - \Pi_{(H-M)}$ однозначно указывает на высокую дисперсию потока во времени и слабую периодичность его проявления. Исследованиями автора установлено, что степень асимметрии подобластей диаграммы потоков определяет степень неточности прогноза величины пригородного пассажиропотока на исследуемом участке.

Периодичность обращения по 12-часовым (или 8-часовым) интервалам связывается с необходимостью подвоза или вывоза рабочих на предприятия промышленной зоны. Так как время начала и окончания рабочих смен, как правило, постоянно (8:00, 17:00, 20:00), то график движения пригородных поездов устанавливается достаточно ритмичным, и становится возможной перевозка пассажиров по твердому графику согласно схемам, описанным ранее.

Фиксированный график прибытия и отправления пригородных поездов осуществляется по периодам $8 + t_1 + t_2$ и $12 + t_1 + t_2$, где t_1, t_2 – времена, необходимые рабочим для своевременного прибытия на предприятия от железнодорожной станции, и обратно после окончания смены – от предприятия к станции. Эти времена называются дополнительными, или *плюсовыми* к интервалам поступления пригородных поездов на отдельные остановочные пункты и конечную станцию участка. Анализ показывает, что необеспечение плюсовым временем приводит к потере значительного пригородного потока.

Расчет времени отправления пригородного поезда с начальной станции должен учитывать кроме общего времени хода по участку t_x количество остановочных пунктов $n_{\text{ост}}$. Предлагается использовать следующую методику оценки времен упреждения t_1 и t_2 согласно расчетной схеме (рисунок 8).

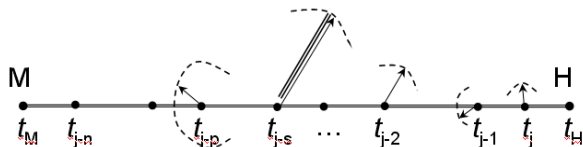


Рисунок 8 – Расчетная схема определения плюсового времени

Работники предприятий должны начинать (заканчивать) работу в 8:00 (20:00), но при этом определенное время t_j должно закладываться для достижения этими рабочими j -го остановочного пункта. Если время $t_{j-1} > t_j$, то следует выбирать большее из них. Таким образом, время отправления пригородного поезда со станции М для доставки рабочих на смену к 8:00 определяется как

$$t_M = 8 - t_x - \max\{t_j\}.$$

При этом отдельные времена t_j по всем остановочным пунктам и станциям М и Н должны указывать на средневзвешенные для отдельных групп рабочих зон. Если по некоторому $(j-p)$ -му остановочному пункту имеются несколько времен $t_{j-p(1)} = 0,1$ ч, $t_{j-p(2)} = 0,4$ ч, $t_{j-p(3)} = 3$ ч для групп из соответственно $g_1 = 144$ чел., $g_2 = 32$ чел., $g_3 = 3$ чел., то охват всех потенциальных пассажиров для обеспечения их своевременного прибытия на работу потребует отправления пригородного поезда со станции М в $(8 - 3 - t_x)$ часов утра, что оказывается достаточно неприемлемо для остальных групп пассажиров. Поэтому общий подход связан с таким выбором

$$t_M = 8 - t_x - \max\{t_j\} + \Delta t,$$

где Δt – погашаемый эквивалент времени, приводящий к потере ΔN пассажиров.

Из всех сегментных групп следует выбирать такие g_i , что

$$\sum_{j=1}^n \frac{g_j}{t_j} \xi_j \rightarrow \max,$$

где ξ_i – коэффициент группового предпочтения сегмента пригородных перевозок. Причем $-1 < \xi_i < 1$, так как попытка обслуживания мелких групп (например, $g_3 = 3$ чел.) с большим плюсовым временем ($t_{j-p(3)} = 3$ ч) приведет к потере намного большего, чем $g_3 = 3$ чел. потока. Для таких случаев $\xi_i < 0$. С другой стороны, погашаемый эквивалент времени Δt приводит к потере потока ΔN , но сохранению потока ΔN_k , который может быть потерян при попытке обслуживания потока ΔN , при этом $\Delta N_k \gg \Delta N$. Поэтому можно считать, что $\xi_i > 0$ для таких случаев, как $\Delta N > \Delta N_k$ (рисунок 9).

Для зоны $[\Delta N_k^{\text{пред}}, \Delta N^{\text{пред}}]$ при незначительных сопоставляемых величинах следует ожидать потери соответствующих потоков с $\xi_i \rightarrow 0$. Данная зона называется критической областью неопределенных соотношений сохраняемого и теряемого потоков.

В количественном выражении

$$\Delta N^{\text{пред}} < 0,03\Delta N, \Delta N_k^{\text{пред}} < 0,03\Delta N_k.$$

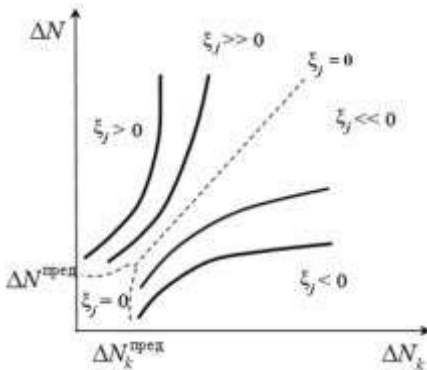


Рисунок 9 – Значения коэффициента группового предпостенения в зависимости от соотношения потоков ΔN и ΔN_k

Размер пригородного потока, необходимого для формирования и отправления поезда по обороту, называется *расчетным потоком по зарождению*, а в обратном направлении – *расчетным обратным потоком*. Накопление обратного потока более 12 часов указывает на другие причины его образования и характеризуется значительной размытостью своих значений. Отсутствие выраженных рабочих поездок на участке М-Н приводит к сложному графику распределения пассажиропотоков по отдельным остановочным пунктам. На участках со

значительным сегментом рабочих поездок ($t_{\text{н}} \leq 12$ ч) повышается роль начальной и конечной станций. Они оказывают существенное влияние на динамику изменения пассажиропотока по всему участку, являясь либо крупными городами (*опорными пунктами зарождения*), либо крупными промышленными центрами (*опорными пунктами погашения*). Эти ключевые точки выстраивают вектор, который становится основой для прогнозирования величин пригородных пассажиропотоков подобных агломеративных образований. Экспертная оценка общего числа проживающих и работающих на участке тяготения с $t_{\text{н}} \leq 12$ ч составляет 1 млн чел. с учетом населения начального и конечного пунктов.

При накоплении на пригородный поток участка М-Н с $t_{\text{н}} > 12$ ч плотность проживающих в таких зонах заметно ниже, а общее их число в сопоставимых схемах не превышает 500 тыс. чел. Структурно пригородный пассажиропоток также существенно отличается в этих зонах. Сегмент рабочих поездок не выражен и составляет менее 20–25 % от общего объема пригородных перевозок на участке. В основном преобладают дачные поездки, туры выходного дня, туристические вояжи. Характерной особенностью таких пассажиропотоков является наличие пиковых нагрузок за 1–2 дня с перевозкой до 50–70 % всех недельных перевозок. Причем следующая неделя существенно отличается по динамике с явным отсутствием «пиков» прошлой нагрузки. Чем выше единичный всплеск, тем оказывается больший временной период спада.

Тем не менее даже в таком режиме работы пригородного участка возможно прогнозирование величины пригородного потока. Изучение причин, порождающих нерегулярные поездки пассажиров на участке М-Н, позволяет определить соответствующие размеры перевозок на упреждающий период T_y . Для каждой конкретной цели прогнозирования расчетный период T_y будет различным. Однако в любом случае он будет ограничиваться наиболее вероятным действием факторов, порождающих такие перевозки. К таким факторам относятся плановые массовые мероприятия культурного, спортивного, развлекательного характера, связанные с выездом известного количества участников в пригородном железнодорожном сообщении. Как правило, период упреждения действия таких причин до одного (реже – более) месяца. Такие одномоментные перевозки накладываются на текущие, также имеющие нерегулярный характер.

Как показывают исследования, нерегулярные перевозки имеют однозначные причины их появления, которые действуют с определенной периодичностью. Значительное число факторов, обуславливающих различные сегменты пригородных перевозок на участке, взаимное влияние этих факторов вносят существенные изменения, определяющие диаграмму пассажиропотоков со слабой временной периодикой. Вычленение эпизодов с действием одного фактора позволяет визуальное и статистически зафиксировать фазу колебаний данного сегмента пригородных перевозок (рисунок 10).

Если для какого-либо сегмента пригородный поток визуальное непериодический, то либо следует расширить по времени выборку, либо искать влияние других факторов и разделять данный сегментный поток на более элементарные. Критическая ситуация наступает тогда, когда заканчивается действие данного фактора, и дальнейшая динамика диаграммы пассажиропотоков зависит от действия других факторов. Только в этом случае не удастся диагностировать явно выраженный период повторяемости потока.

Таким образом, если при разделении потока на составляющие периодичность последних не прослеживается, нужно действовать следующим образом.

1 Изучить действие фактора и убедиться в том, что он функционировал на протяжении времени статистической выборки и продолжает действовать в ближайшем будущем.

2 Если получен положительный ответ на первый вопрос, то следует увеличить статистику наблюдений во времени с поиском устойчивого набора данных смежного периода диаграммы сегмента пригородных потоков.

3 При отсутствии периодичности с выборкой более одной недели необходимо изучить исполненную диаграмму пассажиропотоков на предмет наличия одного или нескольких дополнительных факторов с последующим вычленением порождающих ими потоков, составляющих периодическую структуру.

На основании указанных выше трех правил можно прогнозировать пригородные потоки, объединяя их до общих расчетных величин, необходимых для определения требуемого пригородного подвижного состава.

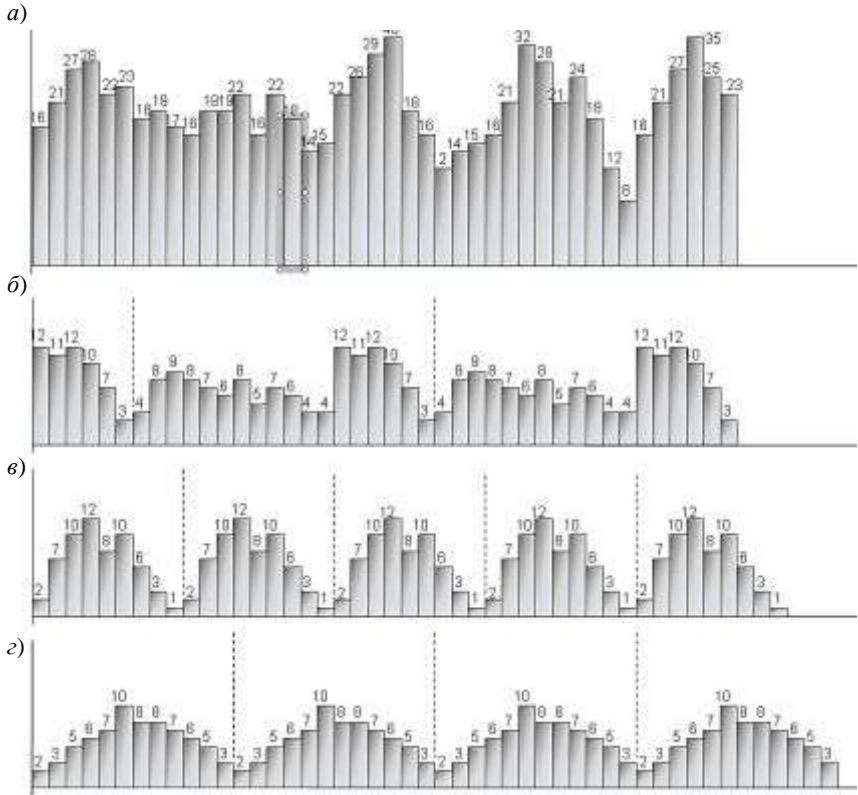


Рисунок 10 – Суммированный (а) и посегментные (б–г) пригородные пассажиропотоки на участке М-Н

Разделение пригородных потоков с фиксированными временными отрезками повторения и устойчивым фактором в качестве причины своего образования позволяет получить строго периодические потоки, называемые *элементарными потоками первого рода*. Строго периодическими потоки являются при незначительном колебании максимального и минимального значений в периоде (до 5 % в ту или иную сторону относительно среднего значения). Если значения по минимуму и максимуму потоков в периодах изменяются от 5 до 10 %, то потоки называются *периодическими (второго рода)*, от 10 до 20 % – *слабо периодическими (третьего рода)*. При колебаниях 20 % и более считается, что действуют другие скрытые причины, обеспечивающие формирование нескольких потоков, и в таком случае не-

обходимо исследовать данный участок на предмет наличия прочих факторов и разделения потока на составляющие.

Строго периодические потоки, как показывают проведенные автором исследования, обладают высокой устойчивостью во времени и достаточной сопротивляемостью к другим внешним и внутренним проявлениям, нарушающим его динамику. Подобная сопротивляемость (*ригидность*) обеспечивает постоянство расчетных параметров со слабыми колебаниями. Соответствующая диаграмма потоков реализуется, как правило, по схемам рисунка 5, б, в. Ригидные потоки никогда не бывают единичными. Групповая концентрация является их отличительным признаком. Например, даже при малой мощности элементарного потока количество пассажиров на начальной и конечной станциях будет составлять не менее 15 % от общего числа перевозимых пассажиров на участке по заданному потоку.

Ригидность строго периодических потоков обеспечивает длительное действие одного фактора, порождающего данные потоки. Этот фактор является надежным базисом для уверенного прогнозирования величины строго периодического потока. Горизонт упреждения достоверного прогноза для ригидных потоков максимальный. Однако таких потоков крайне незначительное количество. Они обнаруживаются на пригородных участках средних и (реже) больших городов с относительно стабильной демографической динамикой и высокой долей сельского населения (не менее 30 %) в зоне тяготения исследуемого пригородного участка.

Элементарные потоки второго рода не обладают свойством ригидности. Примерно в 2–3 случаях из 10 наблюдается изменение или прекращение на незначительное время действия выделенного фактора с соответствующим нарушением величины пригородного потока. Практически увеличение вариации потока до 10 % связано с недостаточно устойчивым поведением потокообразующего фактора. Например, ухудшение экономической ситуации на малом предприятии приводит к меньшей недельной занятости рабочих (4-дневный график работы вместо 5-дневного), а 20 % рабочих являются пассажирами железнодорожного транспорта. В этом случае следует прогнозировать снижение сегмента пригородных перевозок в границах элементарного потока второго рода.

Если порождающий фактор прекращает свое действие, то играет роль длительность остановки его действия. Например, некоторая туристическая база объявляет о закрытии своих кемпингов в связи с определенными формальными обстоятельствами. Если запрет имеет временный характер, то после его снятия пригородный поток восстанавливается в прежнем объеме. Более того, возможно позитивное возобновление действия фактора, способствующего увеличению пригородного потока. Например, если временной мерой закрытия кемпингов туристической базы является реконструкция зданий, закупки и установки новейшего оборудования и др., то подобный временный запрет оказывает стимулирующее действие, приводящее к росту размера сегментного пригородного потока.

В некоторых случаях может иметь место замена фактора равнодействующим, который является таковым, если приводит к формированию элементарного потока второго рода. Равнодействующим считается фактор, обеспечивающий более устойчивый поток, переходящий через несколько периодов в элементарный поток первого рода. Если действие нового фактора или восстановление текущего фактора приводят к элементарному потоку третьего рода (наиболее часто встречающаяся ситуация), то такой фактор называется *регрессивным*.

Слабо периодические потоки определяются в основном действием неустойчивых и регрессивных факторов. Неустойчивым фактором является некоторая объективная причина формирования элементарного потока третьего рода со слабо выраженным действием, проявляющимся случайно. Например, в средствах печати появилась реклама об открытии новой базы отдыха в уютном уголке на берегу реки с развитой инфраструктурой, предоставлением различных развлекательных и санаторных услуг рядом с остановочным пунктом железнодорожного транспорта. Естественно ожидать, что такой фактор может породить новый сегментный пригородный поток, повторяющийся с периодом, равным новым заездам на базу отдыха. Однако через некоторое, достаточно непродолжительное, время выявились серьезные недоработки в строительном плане, качество заявленного в рекламе сервиса не отвечало требованиям приезжающих, а в стоимость путевки не входил ряд дорогостоящих дополнительных услуг. В результате только родившийся слабый пассажиропоток быстро сокращается до нуля по причине действия такого неустойчивого фактора, каким оказались необъективно разрекламированные услуги новой базы отдыха. Возможно, через некоторое время будут учтены все замечания и устранены все недоработки, но маловероятно, чтобы такой фактор породил стабильный элементарный поток выше слабо периодического.

Анализ порождающих поток факторов должен быть достаточно глубоким, затрагивающим многие стороны, на первый взгляд не имеющие отношения к формированию сегментного пригородного пассажиропотока. Например, для сферы туристических услуг следует изучить вопрос организации питания приезжающих. Если число туристов значительно (более 800–1000 человек), то доставка продуктов может быть связана с поездками обслуживающего персонала, в том числе потенциально и пригородным железнодорожным транспортом, а это незначительный, но особый сегмент перевозок. Аналогичная ситуация может быть с поездками медицинского персонала, работающего на данной туристической базе и др. Следует иметь в виду, что чем глубже причина, порождающая самый незначительный поток, тем более периодическим и постоянным он будет при его фиксации.

Порождающие факторы могут быть *сквозными* (действующими на всем протяжении участка М-Н) либо *локальными* (между некоторыми станциями и остановочными пунктами участка). Различные варианты действия порождающих факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация факторов, порождающих сегментный пригородный поток

Иллюстрирующая схема	Общий признак	Характеристика	Примечания	
	Сквозные факторы	Действуют на всем участке в прямом и обратном направлениях следования пригородного поезда		
		Действуют на всем участке только в прямом направлении		
		Действуют на всем участке только в обратном направлении		
	Локальные факторы	Порождаются на начальной станции и действуют до остановочного пункта на участке		
		Порождаются на начальной станции и действуют до станции на участке		
		Порождаются на начальной станции и действуют до конечной станции		
		Порождаются на остановочном пункте и действуют до конечной станции		
		Порождаются на станции участка и действуют до следующей станции участка		
		Порождаются на станции участка и действуют до остановочного пункта		
		Порождаются на остановочном пункте и действуют до станции участка		
		Порождаются на остановочном пункте и действуют до остановочного пункта		
		Локальные факторы множественные	Многократные в одном направлении	До станций и пунктов с разными причинами
			Многократные в обоих направлениях	До станций и пунктов симметричные и несимметричные

Если локальный фактор прекращает свое действие, то порожденный им сегментный пригородный поток погашается, и наоборот, если на станции участка локальный фактор начинает действовать, то данная станция является пунктом зарождения соответствующего сегментного потока. Специфическими следует признать случаи зарождения и погашения сегментных потоков на остановочных пунктах участка. Подобные ситуации возникают, если к указанным остановочным пунктам тяготеют туристические базы, пансионаты, санатории, профилактории.

Действие локальных факторов множественного характера сложнее и с точки зрения их выявления, и конкретизации на предмет их однотипности при возникновении в различных местах. Наиболее сложной схемой является приведенная на рисунке 11.

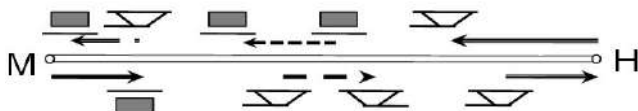


Рисунок 11 – Области действия разнотипных, смежно неповторяющихся локальных факторов множественного характера

Локальные факторы сильного действия порождают значительный поток (до 0,2 населенности пригородного поезда), который тем не менее может быстро затухать (уже на следующем рейсе пригородного состава может составлять 10 % и менее). Поэтому следует определить локальные факторы стабильного действия с сохранением порождаемого потока не менее 75 % исходного значения на протяжении 2–3 месяцев.

Локальные факторы сильного и стабильного действия статистически наиболее часто имеют место на начальной и конечной станциях пригородного участка. Слабые и нестабильные факторы действуют на остановочных пунктах и станциях участка с незначительным населением (до 5 тыс. чел.) в прилегающем поселке.

Установлены оценочные зависимости силы действия факторов и их стабильности от длины (плеча фактора) (рисунок 12).

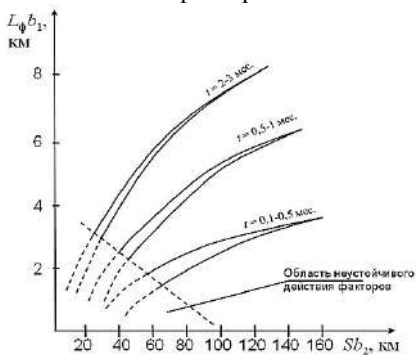


Рисунок 12 – Аппроксимированные статистические зависимости силы действия и стабильности факторов от плеча

С увеличением плеча стабильность факторов возрастает, как показывает данный график, имеют место своеобразные «стрелы» факторов – сужающийся разброс параметров с

переходом в область устойчивого действия факторов. Для малых плеч расщепление значительно, и для низких позиций L_{ϕ} и S указанные зависимости статистически не подтверждаются (коэффициент связи соответствующих параметров менее 0,3–0,5).

Стрелы факторов в каждом конкретном случае имеют разный вид, определяемый спецификой их действия. Такие особенности можно аналитически концентрировать в коэффициентах b_1 (по плечу фактора) и b_2 (по силе его действия). Установлено, что b_1 сильно зависит от точки начала действия фактора.

Так, для начальной станции $b_1 = 0,9 \dots 0,75$, для других станций участка $b_1 = 0,7 \dots 0,5$ и для остановочных пунктов участка $b_1 = 0,2 \dots 0,5$. Причем для пригородных сегментных потоков, следующих от М к Н, значение b_1 выше, чем для потоков от Н к М.

Коэффициент b_2 определяется характером сегментного потока. Для дачных перевозок $b_2 = 0,9 \dots 0,8$, для рабочих поездок $b_2 = 0,85 \dots 0,6$, для туристических и прочих $b_2 = 0,7 \dots 0,3$.

Особо следует отметить границу областей устойчивого и неустойчивого действия факторов (см. рисунок 12). Попытка собрать достаточное количество статистических данных для соотношения

$$\frac{L_{\phi} b_1}{S b_2} = \frac{4}{60}$$

не удалась, т. к. для таких массовых сегментных потоков, как дачные поездки в этой области, оказалось слишком мало данных. Включать в общую выборку статистику по целому ряду пригородных участков некорректно по причине специфики пассажиропотоков и образующих их факторов.

При изучении пригородных участков нельзя найти даже один, в котором бы действовали разнотипные, смежно неповторяющиеся локальные факторы множественного характера. Теоретически возможно существование таковых, однако для их обнаружения следует разработать особую методику, ориентированную на оперативно быстрый сбор соответствующих натуральных данных и их обработку в масштабе реального времени ввиду короткого временного периода их действия.

Следующую проблему составляет типизация факторов – оценка функциональной близости по порождаемому сегменту пригородных перевозок. Например, если факторы A_1 и A_2 порождают дачные перевозки, то являются ли они функционально тождественными друг другу? Исследования автора показывают, что сегмент дачных перевозок далеко не однороден, его дифференциация по возрастному признаку, частоте совершаемых поездок и их целям в значительной мере определяют величину, интенсивность и стабильность конкретного *подсегмента* дачных перевозок. В общем случае можно констатировать истинность следующего утверждения: функционально тождественными являются такие факторы A_1 и A_2 , которые порождают

значительные (более 0,2 населенности пригородного поезда) и стабильные во времени (не менее 2 месяцев) подsegmentные потоки с низкой вариацией их величины (не более 5 % от средних значений). Любой segmentный поток (например, дачные поездки) имеет градации по выделенным признакам (возрастной, частотный, целевой и др.). Как отмечалось ранее, чем ниже уровень разделения транспортного пассажиропотока на составляющие, тем более конкретным по характеризующим его параметрам он становится. Уровней подsegmentных потоков может быть несколько (рисунок 13).

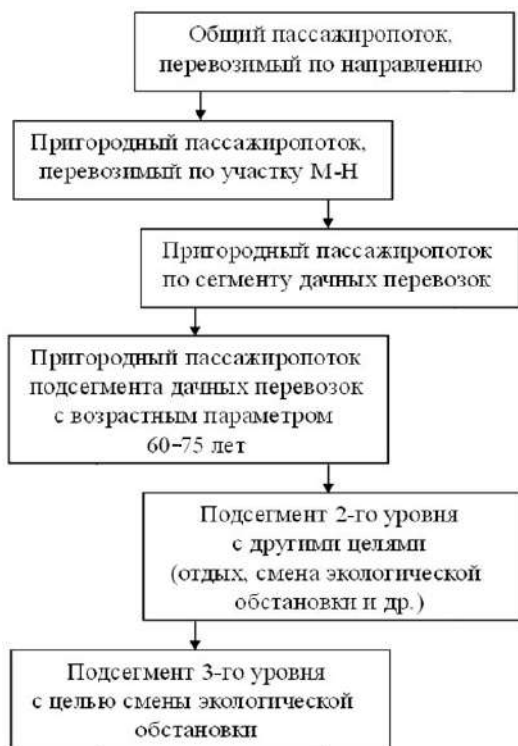


Рисунок 13 – Разделение пригородного пассажиропотока по конкретизирующим факторам

Для каждого segmentа пригородных перевозок определяется некоторый потокообразующий фактор. При подsegmentировании этот фактор конкретизируется, сужается область его действия, фиксируются более точные причины его функционирования. Как показывают проведенные автором исследования, подsegment 2-го или 3-го порядка позволяет выявить регулярный поток с устойчивыми и повторяющимися параметрами по различным периодам его воспроизведения.

Однако при незначительном сегментном потоке (менее 5 % населенности пригородного поезда) дальнейшее сегментирование приводит к рассеиванию данных целевых поездов. По отдельным остановочным пунктам фиксируемый поток в 1–2 пассажира находится в зоне его вариаций, и в таком случае устойчивые характеристики подсегментного уровня 2–3 порядка получить не удастся. Подобные фантомные всплески следует относить к случайным, которые нельзя закладывать в прогноз, так как вероятность их повторения через заданный период крайне мала.

Глубоко сегментированный поток (ниже третьего порядка) также имеет особенности своего проявления. Он определяется как устойчивый только для определенного диапазона мощности пригородного потока на участке или плече участка (при действии локальных факторов, которые отражены на рисунке 14).

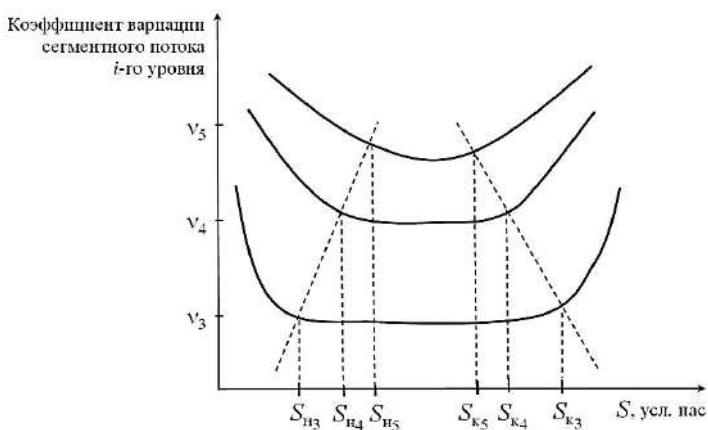


Рисунок 14 – Области устойчивого, глубоко сегментированного потока

Исследования автора показывают, что $(S_{ki} - S_{ni}) = 2(S_{k(i+1)} - S_{n(i+1)})$, т. е. на глубоко сегментированном уровне ширина диапазона устойчивости потока $(i+1)$ -го порядка в 2 раза уже соответствующей величины потока i -го порядка сегментации. Для потоков уровня сегментации $i < 3$ такая закономерность не выявлена.

Следует признать, что в определенных случаях на уровне 3–4-го порядков крайне незначительный поток, исходящий от некоторого локального фактора, имеет достаточно устойчивые тенденции. Например, на целом ряде пригородных участков на промежуточных станциях порождается подсегментный поток (в основном – это дачные поездки, локализованные по возрастному признаку), обладающие высокой устойчивостью (повторяется каждую неделю в один и тот же день на протяжении более двух месяцев). Такие потоки будем называть *условно устойчивыми*.

Сбор статистических сведений по глубоко сегментированным потокам представляет собой сложную процедуру совмещения анкетного опроса и визуального обследования остановочных пунктов и станций пригородного участка. Основываясь на результатах исследований автора, можно экспертно оценить затраты на получение данных по глубоко сегментированным потокам, которые в 3 раза больше затрат по сбору сведений общих размеров пригородных потоков на участке. Если изучать глубоко сегментированные потоки, то их на порядок больше, чем общих цифр, и, кроме того, приходится работать на грани погрешности результатов, существенно повышая при этом риск конкретизировать случайные величины, возводя их в ранг постоянных. В этом направлении целесообразно провести исследования статистических (лучше – аналитических) оценок идентификации периодически повторяющихся процессов и их параметров при слабых входных потоках. Применительно к задаче о надежном прогнозировании глубоко сегментированных пригородных потоков результаты такого исследования позволят определить зону переходных процессов (рисунок 15).

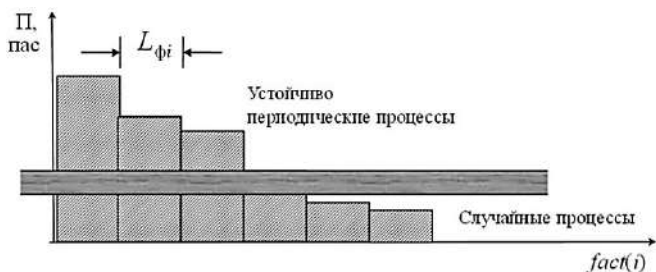


Рисунок 15 – Установление переходной к случайным процессам зоны слабых потоков

Между областями устойчиво периодических и случайных процессов находится пространство неопределенных значений искомых параметров, в которой величины в зависимости от конкретных условий могут быть либо детерминированными, либо стохастическими. При этом в зависимости от действия группы локальных факторов на пригородном участке $fact(i)$ и их плеч $L_{\phi i}$ ширина и высота переходной зоны может изменяться. Есть основания полагать, что увеличение локального фактора способствует понижению переходной зоны, а набор множества коротких («мелких») факторов, действующих на данном пригородном участке, обеспечит повышение переходной к случайным процессам зоны по допустимым значениям потока.

При рассмотрении сложной схемы действия множественных локальных факторов (см. рисунок 11) иллюстрировались позиции одиночного их действия, т. е. когда некоторая станция или остановочный пункт являются источником возникновения только одного локального фактора. В действительности, например, начальная станция М пригородного участка М-Н

может иметь ряд локальных факторов, порождающих соответствующие сегменты потока на различных плечах действия (рисунок 16).

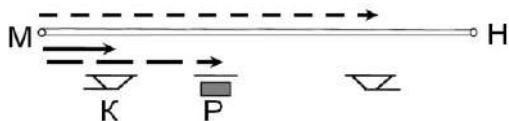


Рисунок 16 – Порождение ряда сегментных потоков от группы факторов на одной станции пригородного участка

По данной схеме возможны два основных варианта образования сегментных потоков.

1 Станция М генерирует ряд независимых друг от друга локальных факторов, которые порождают устойчивые (или неустойчивые) потоки. Как было указано ранее, возможна дефрагментация исходного сегментного потока на уровневые составляющие с соответствующим уточнением влияющего фактора. Эти процедуры можно проводить с каждым сегментным потоком, строить определенные диаграммы в уверенности, что ни при каких обстоятельствах пассажиры с одного сегментного потока не перейдут в другой, так как факторы независимы друг от друга.

2 По станции М действуют локальные факторы, в той или иной степени зависящие друг от друга. Этот факт корреляционного сочетания факторов следует признать реальным в силу целевой близости различных сегментных потоков, формирующихся на одной станции. Из этого следует, что возможна потеря части сегментного потока за счет перехода пассажиров в другой сегмент. Например, часть пассажиров из постоянного числа дачников по станции Р (см. рисунок 16) решили провести выходные на базе отдыха, которая находится на промежуточной станции К участка М-Н. Причем такой переход может быть стабильным в течение летнего периода.

Так как речь идет о прогнозировании сегментных потоков (глубоко сегментированных), то взаимные переходы с изменением порождающих факторов имеют принципиальное значение. В этом отношении необходимо выделять категории *некоррелирующих*, *слабо коррелирующих* и *коррелирующих факторов*.

Некоррелирующие факторы ни при каких условиях не взаимодействуют с другими факторами. Например, рабочие поездки порождаются некоррелирующими факторами (приступить к работе следует в установленное время с точной периодичностью и завершить работу также в установленное время). Слабо коррелирующие факторы имеют определенную тенденцию к взаимодействию, но в фиксированные промежутки времени, поддающиеся прогнозу. Например, прибывающие в санаторий на отдых и лечение являются частично дачниками, которые регулярно при открытии сезона посещают данный санаторий, находящийся на станции К, а дачный поселок – на остановочном пункте Р (см. рисунок 16).

В этом случае сочетание пары факторов

Прибытие в санаторий
на станцию К

↔

Поездка на дачи
по остановочному пункту Р

определяют пригородный поток на перегоне К-Р участка М-Н. Соотношение указанных факторов обеспечивает формирование соответствующих сегментных потоков. При этом возможны следующие варианты (рисунок 17).

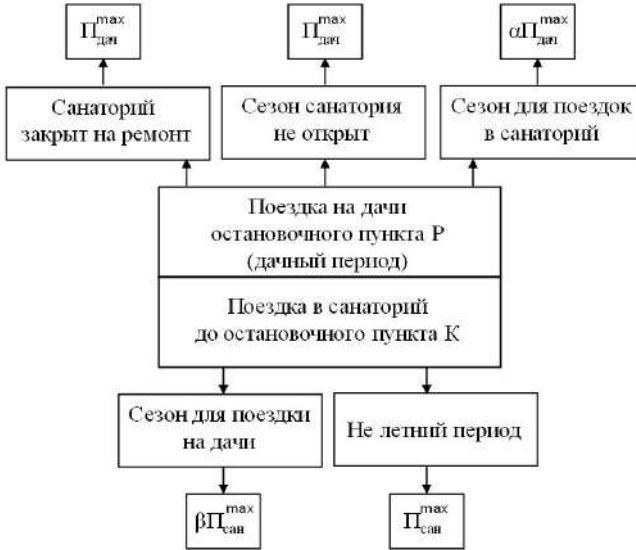


Рисунок 17 – Взаимовлияние двух факторов, порождающих различные сегментные потоки

Общий поток с учетом взаимодействующих факторов можно определить по формуле

$$\sum \Pi (fact_{1,2}) = \alpha \Pi_{дач}^{max} + \beta \Pi_{сан}^{max} + cor(\Pi_{дач}^{max}, \Pi_{сан}^{max}),$$

где α и β – коэффициенты сегментации соответствующих групп пригородных потоков.

Долю коррелированного потока можно выразить через коэффициент

$$\gamma = \frac{(1 - \alpha)\Pi_{дач}^{max} + (1 - \beta)\Pi_{сан}^{max} - \Delta\Pi}{\Pi_{дач}^{max} + \Pi_{сан}^{max}},$$

где $\Delta\Pi$ – теряемый поток из-за наличия перед потенциальными пассажирами возросших альтернатив выбора (см. ниже).

Тройку коэффициентов α , β и γ можно получить из диаграммы сегментированных потоков по каждому «столбику» и всем перегонам пригородного участка.

Согласно предлагаемой формуле

$$\Pi_{\text{сан}}^{\text{max}} = \Pi_{\text{сан}} + \Delta\Pi, \quad \Pi_{\text{дач}}^{\text{max}} = \Pi_{\text{дач}} + \Delta\Pi,$$

где $\Pi_{\text{дач}}$, $\Pi_{\text{сан}}$ – величины соответствующих сегментных пассажиропотоков на конкретном перегоне. $\Delta\Pi$ делится на три неравные части (по двум сегментам и переходящие на другие виды транспорта). Для получения значения перевезенных пассажиров на пригородном участке следует просуммировать величины исследуемых i -х сегментных потоков по j -м перегонам и k -м пригородным поездом:

$$\Pi = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n \Pi_{ijk}.$$

При наличии $\Pi_{\text{дач}}^{\text{max}}$ всегда присутствует некоторый поток $\Pi_{\text{сан}}$. Соответственно, при $\Pi_{\text{сан}}^{\text{max}}$ имеется поток $\Pi_{\text{дач}}$. Коррелированный параметр $cor(\Pi_{\text{дач}}^{\text{max}}, \Pi_{\text{сан}}^{\text{max}})$ является функцией сезона. Для рассматриваемого примера месяцы июль – сентябрь характеризуются особо интенсивными поездками и на дачи, и в санаторий. Поэтому в данный период отмечается особо интенсивное перемешивание двух сегментных потоков. Общий пригородный пассажиропоток на плечах действия локальных факторов за июль – сентябрь существенных количественных изменений не претерпевает (за исключением объективного падения объемов перевозок осенью), но структурно будет заметно взаимное перераспределение между двумя указанными сегментными потоками (рисунок 18).

В результате изучения много-сегментных потоков на одном «столбике» диаграммы пассажиропотоков были замечены определенные потери пассажиров, связанные с тем, что появляется ряд альтернатив выбора цели пригородных перевозок, достижение которых может быть обеспечено и автомобильным транспортом, в том числе и личным. Если имеется выверенный график движения пригородных поездов, а цель связана с поездкой на дачу, то с той же методичностью и периодичностью, как такая поездка выполнялась ранее, с высокой вероятностью она будет обеспечена и в настоящее время. Но если появляется несколько целей, причем все они достаточно важны, то и возможностей их достижения будет рассматриваться

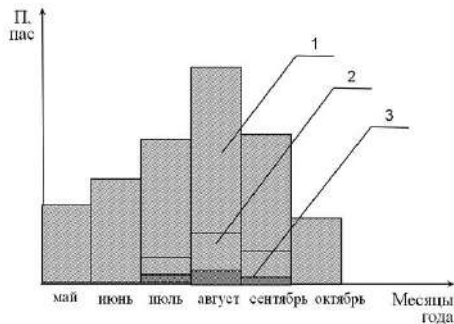


Рисунок 18 – Сегментное перераспределение пригородных потоков на выделенном перегоне К-Р участка М-Н: 1 – дачные; 2 – санаторные; 3 – коррелированные (пересекающиеся)

больше, в том числе и связанные с выбором альтернативных видов транспорта. Замечено, что при делении пригородного потока на 3 сегмента существует высокая вероятность потери до 3 % пассажиров.

Одной из причин «рассеивания» потока является неудовлетворенность качеством транспортных услуг по определенному сегменту перевозок. Так как каждый сегмент имеет свое плечо погашения согласно порождающему локальному фактору, то на некотором остановочном пункте, где должен погашаться данный сегментный поток, только частично обеспечен, например, маршрут подвоза к санаторию, до которого 5 км пути. Однако существует прямой автобусный маршрут от начальной станции Н прямо к корпусам санатория. В такой ситуации соответствующий сегментный поток может быть значительно потерян для железной дороги. Поэтому вместе с фактором, порождающим новый сегментный поток, могут возникать факторы:

- *препятствующие его возрастанию;*
- *сокращающие объемы сегментных перевозок;*
- *исключающие данный сегмент пригородных перевозок* (рисунок 19).

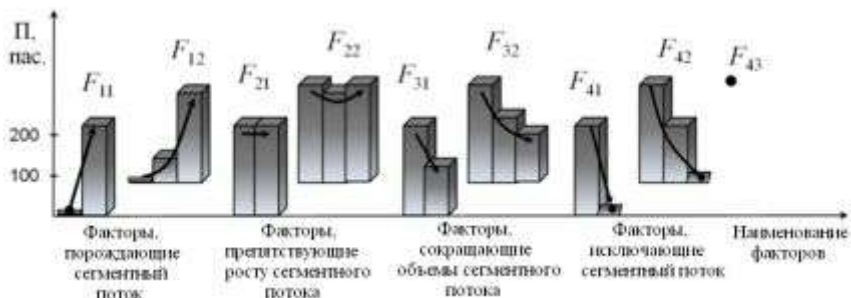


Рисунок 19 – Динамика развития сегментных потоков под действием различных факторов

Векторная диаграмма данных факторов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Векторная диаграмма действия факторов

Факторы	F_{11}	F_{12}	F_{21}	F_{22}	F_{31}	F_{32}	F_{41}	F_{42}	F_{43}
Вектор действия									

Факторы, порождающие сегментный поток, могут быть *прямого действия* F_{11} (при их функционировании сегментный поток сразу появляется со стабильными и устойчивыми характеристиками на протяжении длительного числа регистрируемых периодов) и *опосредованного* F_{12} (некоторое вре-

мя наблюдается незначительный новый сегментный поток – до 20–40 % номинального, и только через 5–10 периодов появляется полноценный сегментный поток).

Факторы, препятствующие росту сегментного потока, разделяются на *сдерживающие* F_{21} (поток длительное время остается постоянным и не увеличивается только потому, что оказывается постоянным негативное влияние) и *несбалансированные* F_{22} (по различным периодам наблюдается незначительное отклонение – до 5–10 % от удерживающего уровня потока).

Факторы, сокращающие объем сегментного потока, можно разделить на *жесткие* F_{31} (при их действии сегментный поток уменьшается строго на определенную величину – порядка 30–50 % от номинального и далее через периоды выдерживается такое действие) и *мягкие* F_{32} (снижение на 50 % от номинального наблюдается спустя несколько периодов, а за это время сегментный поток постепенно сокращается).

Факторы, исключающие сегментный поток, классифицируются на *строгие* F_{41} (сразу после начала их действия сегментный поток становится нулевым), *сглаженные* F_{42} (сегментный поток снижается в 2–3 раза каждый последующий период и через 5–6 периодов становится нулевым) и *безусловные* F_{43} (подавляют всякую возможность возникновения данного сегментного потока).

Различия в действии факторов F_{32} и F_{42} заключается в том, что падение потока во втором случае резкое (как правило, по линейному закону), а при функционировании фактора F_{32} снижение сегментного потока наблюдается по нелинейному гиперболическому закону. Действие факторов F_{11} и F_{41} , F_{12} и F_{42} следует признать противоположным. Факторы F_{22} , F_{32} и F_{42} образуют группу долговременного действия, эффект от которых проявляется через несколько периодов наблюдения. Только фактор, порождающий сегментный поток в вариациях F_{11} и F_{12} следует признать позитивным, остальные носят деструктивный характер. Различия их заключаются только во времени наступления отрицательного эффекта, который регистрируется как сокращение в той или иной мере сегментного потока.

Исследования показывают, что деструктивные факторы весьма устойчивы во времени. Основные меры борьбы с ними связываются с технической реконструкцией транспортных коммуникаций железных дорог и ведение согласованной политики с автомобильным транспортом по использованию контактных графиков для сокращения ожиданий пассажиров в пунктах пересадки. Для всех указанных деструктивных факторов $F_{2i} \dots F_{4i}$ не зафиксировано более или менее жестких причин, обуславливающих действие таких факторов. Например, факторы, исключающие сегментный поток $F_{41} \dots F_{43}$, кажется, должны иметь более сильные объективные мотивы своего проявления, чем факторы, которые только препятствуют росту сегментного потока. Если

располагать все деструктивные факторы по рангу увеличения силы своего негативного проявления, то соответствующий ряд должен быть выражен следующим образом: $(F_{21}, F_{22}), (F_{31}, F_{32}), (F_{41}, F_{42}, F_{43})$.

Логично предположить, что внутренние причины, порождающие эти факторы, также должны располагаться в таком же порядке. Однако исследования показывают, что одними и теми же реконструктивными мерами одинаково продуктивно можно бороться с различными факторами препятствующего, сокращающего и исключаящего характера. Нет более сильных преград, воздвигнутых перед исключаящими факторами, стоящими на вершине пирамиды деструктивного действия. С другой стороны, факторы, препятствующие росту сегментного потока, могут быть достаточно прочными, которые трудно преодолеть с попыткой применения простых технологических мер.

Характер действия всех факторов, указанных на рисунке 19, остается подобным независимо от величины потоков, которые ими порождаются. Следует отметить, что во всех случаях речь идет о сегментных потоках, которые по самому определению значительными быть не могут (на уровне 0,2–0,3 и ниже от населенности поезда, т. е. 100–250 пассажиров). Таким образом, предлагаемая методика позволяет более качественно прогнозировать величину пригородного потока с учетом многочисленных влияющих факторов, идентифицированных по условиям действия, причинно-следственным связям и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кун, М. Предиктивное моделирование на практике / М. Кун, К. Джонсон. – СПб. : Питер, 2019. – 640 с.

2 Вакуленко, С. П. Особенности моделирования пассажиропотоков в пригородном сообщении / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова // Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. : в 4 ч. – Казань : Аэтерна, 2017. – С. 9–12.

S. P. VAKULENKO

FORECASTING OF THE SIZES SUBURBAN PASSENGER FLOWS WITH DYNAMIC HORIZON OF EVENTS

The technique of forecasting suburban passenger flow as multistructural formation produced by the various factors is offered that provides a steady platform of the target forecast with monitoring of a condition transport system. The result an estimation predictive suburban flows is based not only on statistics by some retrospective of sample, but on knowledge the reasons forming the appropriate segment flow.

Получено 19.10.2022

УДК 656.4

С. П. ВАКУЛЕНКО, К. Ю. ВИДАНОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

a1778558@yandex.ru

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассаЖИРОВ И ЕГО ОЦЕНКА В ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ ТЕРРИТОРИИ

Предлагается количественная оценка клиентоориентированности пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте, учитывающая вклад ряда составляющих элементов технического и технологического характера, которые позволяют повысить качество предоставляемой транспортной услуги. Особенностью такого подхода является завершающее комплексное технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения системы мер, обеспечивающих максимальное повышение качества обслуживания, выраженного в количественных измерителях, с учетом окупаемости капитальных вложений, направляемых железной дорогой на проектирование, сооружение и эксплуатацию соответствующих технических и технологических решений.

Современный железнодорожный пассажирский комплекс – это транспортно-пересадочный узел, обеспечивающий тесную технологическую связь различных видов транспорта и выполняющий работу как многофункциональный комплекс городской агломерации. Рост городов и повышение общей мобильности населения определяют тенденцию дальнейшего развития железнодорожных пассажирских станций и вокзалов. В 2019–2020 гг. из-за различных форс-мажорных обстоятельств и пандемии наблюдалось некоторое снижение общего объема перевезенных пассажиров, однако в последнее время железнодорожный пассажирский транспорт становится весьма востребованным на основных маршрутах пригородного, местного и дальнего сообщений.

В условиях острого дефицита полезной площади и плотной застройки станционной площадки особого внимания требуют вопросы, связанные с качеством обслуживания пассажиров при увеличении интенсивности пассажиропотоков. Проектирование современных вокзальных комплексов связывается с решением проблем эффективного использования архитектурно-пространственной среды. Для современных крупных мегаполисов актуальной является задача дальнейшего развития транспортной инфраструктуры

транспортно-пересадочного узла (пуцевого развития пассажирских станций, при вокзальных площадях, вокзалов).

В современных мегаполисах наблюдается устойчивая тенденция к формированию и развитию вокзальных комплексов как многофункциональных городских структур. Кроме основного транспортного назначения вокзальные комплексы предполагается развивать таким образом, чтобы они были обеспечены площадками для осуществления торговли, ресторанными зонами, учреждениями для проведения культурных мероприятий, зонами развлечений и деловых встреч. Транспортно-пересадочный узел становится городским районом многоцелевого жизнеобеспечения населения, который предоставляет сервис и комфорт для клиентов, гарантирует их безопасность, выполняет экологические требования, организует эффективное управление всеми процессами и др. Рост числа пассажиров, с одной стороны, и числа клиентов, пользующихся услугами транспортно-пересадочного комплекса в других целях – с другой, требуют принятия особых проектных решений, направленных на повышение качества предоставляемых услуг, в том числе и транспортных.

Анализ исторически сложившихся пассажирских вокзальных комплексов выявляет целый ряд проблем, связанных со сложностью архитектурно-планировочной модернизации. Плотная городская застройка ограничивает применение экстенсивных вариантов развития инфраструктуры. Как правило, вокзальные комплексы постройки XIX и XX веков имеют одноуровневое взаимное расположение при вокзальной площади и посадочных платформ с путями посадки-высадки пассажиров. Эти вокзалы уже давно работают в режиме высокой загрузки, особенно в часы пик.

Современные мировые тенденции развития вокзальных комплексов диктуют другие правила проектирования, создающие комфортную среду для пассажиров с необходимым спектром качественных услуг. В настоящее время проектирование новых пассажирских комплексов в крупных городских агломерациях и мегаполисах выполняется по вертикальному (многоуровневому) варианту расположения здания вокзала и железнодорожных путей, что резко увеличивает полезные площади для планировки различных помещений и устройств, а также позволяет исключить пересечения пассажиропотоков и сократить маршруты следования пассажиров при пересадках с одного поезда на другой или с одного вида транспорта на другой.

Современные быстрорастущие транспортные системы требуют решения двух основных задач: изучения транспортных запросов со стороны потребителей услуг и предложений по инфраструктурному развитию пассажирских станций, которые должны внедряться, упреждая возрастающий поток и

обеспечивая тем самым высокий уровень качественного транспортного обслуживания пассажиров.

Качество транспортных услуг представляется как определенно высокий уровень удовлетворения потребностей пассажиров в поездке от пункта отправления к пункту назначения с учетом пересадок и ожиданий в пути следования. Интегральная характеристика, подчеркивающая интерес транспорта к потребностям пассажира, определяется как клиентоориентированность. Повышение клиентоориентированности позволяет:

- увеличивать прибыль от пассажирских перевозок с увеличивающейся зоной тяготения благодаря привлекательности услуг данного вида транспорта для пассажира и доступности различных услуг, оказываемых на объектах транспортной инфраструктуры;

- уменьшить временные затраты пассажиров на осуществление необходимых операций на станциях и вокзальных комплексах при пользовании железнодорожного транспорта;

- создавать общий положительный имидж железнодорожного транспорта в отзывах, социальных сетях, обеспечивающий направленный интерес и устойчивую приверженность к совершению поездок железной дорогой пассажирами других видов транспорта;

- сокращать издержки за счет оптимизации технологии перевозочного и бизнес-процессов;

- снижать количество ненадлежаще оказываемых услуг за счет унификации к требованию и качеству этих услуг;

- повышать потребительскую лояльность благодаря высокоэффективной работе персонала железнодорожной станции и вокзала, который направляет свои знания и навыки на лучшую организацию работы с доброжелательным и культурным отношением к пассажирам;

- внедрять передовые практики и передовой опыт отечественных и зарубежных разработок рациональной организации пассажирских перевозок в деятельность бизнес-блока транспортных предприятий.

Однако клиентоориентированность остается качественной характеристикой уровня предоставления транспортных услуг, которая оценивается относительной шкалой лучшего или худшего уровня обслуживания в сравнении с некоторым предыдущим периодом выполненных пассажирских перевозок. Следствием более высокого качества предоставляемых транспортных услуг является возрастание величины пассажиропотока, но причина такого увеличения лежит исключительно в качественной плоскости.

Оценка уровня клиентоориентированности по некоторому интегральному количественному показателю, учитывающему вклад каждой отдельной составляющей, позволит вывести технологию анализа исполненных пасса-

жирских перевозок на новый уровень, способствуя развитию квалиметрических способов определения качества услуг, оказываемых железнодорожным пассажирским транспортом.

Интегральный индекс клиентоориентированности должен учитывать роль повышающих качество обслуживания технических и технологических средств, обеспечивающих, например, активный выход вокзальных комплексов в третье проектное измерение, что позволит пространственно разделить пассажиропотоки без пересечений с возможным не критичным увеличением длины маршрутов движения пассажиров. Снижение таких пересечений будет способствовать минимизации дискомфорта в узловых точках перемещения пассажиров при нахождении в различных накопителях (кассах, залах ожиданий и др.). Проектирование многокомплектных устройств следует рассматривать как эффективный технический ресурс параллельного обслуживания пассажиропотоков, сокращающего непроизводительные ожидания пассажиров. Поэтому определенный позитивный аспект имеют такие технические меры, как проектирование второй привокзальной площади, переустройство пассажирской станции с дополнительным количеством приемоотправочных путей и посадочных платформ.

Все эти меры сводятся в некоторый единый реестр функционального потенциала пассажирской станции по критериям клиентоориентированного обслуживания, формируется комплексная среда эффективного обслуживания пассажиров. По каждой позиции такого реестра можно разработать дифференциальную шкалу количественной оценки вклада соответствующего решения в общую клиентоориентированность предоставляемых транспортных услуг. Количественная оценка клиентоориентированности по отдельным критериям (например, связанным с некоторым перечнем направлений, обуславливающих качество транспортных услуг) позволит получить интегральную характеристику клиентоориентированности, которую можно выражать определенным коэффициентом (например, в диапазоне от 0,0 до 10,0). Возможно, эффективными могут быть многопараметрические индексные показатели клиентоориентированности транспортного обслуживания, которые учитывают одновременное выполнение двух и более критериев (например, сокращение ожиданий пассажира и сокращение длины маршрута следования от вокзала на посадочную платформу, сокращение ожиданий и увеличение числа предоставляемых услуг и др.).

Кроме того, важно выполнить соответствующее технико-экономическое обоснование целесообразности использования предлагаемых критериев клиентоориентированного обслуживания пассажиров, приводящих к минимизации ожиданий на технологических линиях обслуживания пассажирской станции, повышению комфортности поездки для пассажиров и окупаемости

соответствующих обеспечивающих капиталовложений для железной дороги. В экономических расчетах обязательно должны учитываться требования безопасности, охраны труда, влияние внешних факторных воздействий, а также форс-мажорных обстоятельств и внешних вызовов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Кравченко, Е. А.* Транспортная планировка городов / Е. А. Кравченко. – Краснодар : КубГТУ, 2010. – 245 с.

2 *Вакуленко, С. П.* Основы проектирования зданий и сооружений пассажирского комплекса : учеб. пособие / С. П. Вакуленко, М. В. Баранова, А. В. Колин. – М. : МИИТ 2008. – 135 с.

3 *Овчинникова, Е. А.* Качественный сервис – приоритет в развитии вокзальных комплексов / Е. А. Овчинникова // Наука МИИТа – транспорту : тр. науч.-практ. конф. : в 2 т. Т. 2. – М. : МИИТ, 2011. – С. IV-3–IV-4.

4 *Власов, Д. Н.* Транспортно-пересадочные узлы крупнейших городов (на примере Москвы) / Д. Н. Власов. – М. : АСВ, 2009. – 96 с.

5 *Вакуленко, С. П.* Опыт и тенденции развития зарубежных вокзальных комплексов / С. П. Вакуленко, Е. А. Овчинникова // Транспортное образование и наука. Опыт, проблемы, перспективы : науч.-практ. конф. – М. : МИИТ, 2009. – С. V-1.

6 *Бычкова, А. А.* Методы повышения уровня сервисного обслуживания на железнодорожных вокзалах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / А. А. Бычкова. – М., 2013. – 24 с.

7 *Азаренкова, З. В.* Общественно-транспортные центры (узлы) на базе пересадочных узлов / З. В. Азаренкова / Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния : тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф. / науч. ред. С. А. Ваксман. – Екатеринбург : Издательство Уральского государственного экономического университета, 2010. – С. 85–88.

S. P. VAKULENKO, K. Ju. VIDANOV

IMPROVING THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE AND ITS EVALUATION IN TRANSPORTATION HUBS IN THE CONDITIONS OF DENSE DEVELOPMENT THE TERRITORY

A quantitative assessment of the customer focus passenger transportation in railway transport is proposed, taking into account the contribution of a number constituent elements of a technical and technological nature, which can improve the quality of the transport service provided. A feature of this approach is the final comprehensive feasibility study of the feasibility introducing a system of measures that ensure the maximum improvement in the quality of service, expressed in quantitative terms, taking into account the payback of capital investments allocated by the railway for the design, construction and operation of appropriate technical and technological solutions.

Получено 02.12.2022

УДК 656.21

С. П. ВАКУЛЕНКО, Н. П. ЖУРАВЛЕВ, А. А. СИДРАКОВ, М. Ю. САВЕЛЬЕВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
post-iuit@bk.ru, smy87@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ СТАНЦИЙ ПРИМЫКАНИЯ И ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ЕДИНОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ

Указывается необходимость учета ряда показателей работы железнодорожных путей необщего пользования при разработке единого технологического процесса, не учитываемых в общесетевых методиках расчета продолжительности простоя вагонов на путях необщего пользования, связанных с технологическими особенностями работы с отдельными видами грузов, наличие узкой специализации грузовых фронтов, их ограниченная вместимость, выполнение дополнительных операций при подаче и уборке вагонов, враждебность маршрутов на станциях примыкания и т. д.

Железнодорожные пути необщего пользования, их сооружения и устройства должны обеспечивать ритмичную погрузку, выгрузку грузов, маневровую работу в соответствии с объемом перевозок, а также рациональное использование железнодорожного подвижного состава. Одним из основных направлений работы в данной области является повышение эффективности взаимодействия в работе станции примыкания владельца инфраструктуры общего пользования и железнодорожного пути необщего пользования на основе единого технологического процесса (ЕТП).

Основными компонентами, входящими в основу разработки ЕТП являются оперативное планирование и руководство работой станции примыкания и железнодорожного пути необщего пользования. Порядок разработки ЕТП регламентируется рядом руководящих документов, в частности [1–5]. В них дана детальная характеристика особенностей технологического процесса на станции примыкания и железнодорожного пути необщего пользования, которые должны быть учтены при определении его параметров.

Ниже на примере одного из морских терминалов, организованного в силу обстоятельств на застроенной территории машиностроительного завода, и потому по ряду характеристик отличающегося от современного складского терминала, который построен в соответствии с требованиями Технических регламентов и Сводов правил, показаны способы учета этих отличий в соответствии с вышеперечисленными документами.

Согласно [1, 2] договоры на эксплуатацию железнодорожных путей необщего пользования и договоры на подачу и уборку вагонов должны учитывать технологию функционирования железнодорожной станции, к которой примыкает железнодорожный путь необщего пользования, и технологию функционирования железнодорожного пути необщего пользования, а в соответствующих случаях единые технологические процессы, порядок разработки и утверждения которых устанавливается правилами перевозок грузов железнодорожным транспортом.

При реализации указанных положений необходимо учитывать особенности компоновки мест выгрузки и погрузки на перегрузочном комплексе завода, генеральным планом которого использование его в качестве перегрузочного комплекса не предусматривалось. Тупиковая схема железнодорожных путей не позволяет подать вагон непосредственно к месту выгрузки и выполнить перестановку вагонов на грузовых фронтах.

Договорами устанавливаются порядок подачи и уборки вагонов, а также технологические сроки оборота вагонов, контейнеров на железнодорожных путях необщего пользования, технологическое время, связанное с подачей вагонов к местам погрузки, выгрузки грузов и уборкой вагонов с этих мест, а также технологические нормы погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов.

Если на грузовых терминалах общего пользования груженные вагоны подаются непосредственно к местам их разгрузки и продолжительность погрузочно-разгрузочных работ соответствует нормам [3], то на площадке рассматриваемого терминала расстояния перемещения грузов от вагона до штабеля, как правило, существенно превышают величины, принимаемые в расчетах в соответствии с [3]. При этом существенно увеличивается продолжительность цикла ПТМ, уменьшается их производительность, что должно учитываться при расчете технологического срока оборота вагонов.

Не менее важным является выявление для этого расчетов корректных исходных данных. В [4, п. 2.7] указано, что «Исходными данными для составления суточного плана-графика являются: фактический грузооборот на железнодорожном пути необщего пользования за предыдущий год с разбивкой по родам груза и типу подвижного состава с учетом коэффициента неравномерности 1,1–1,5».

При разработке рассматриваемого ЕТП должно учитываться, что общесетевые методики расчета величины простоя вагонов на путях необщего пользования не учитывают отдельные параметры и технологии его работы:

- особенности технологии работы с отдельными видами грузов;
- узкая специализация грузовых фронтов;
- ограниченная вместимость грузовых фронтов;

– дополнительные операции при подаче и уборке вагонов, связанные с наличием охранных устройств на путях, а также наличием негабаритных мест;

– враждебность маршрутов и высокая загрузка горловины выставочного парка станции примыкания;

– наличие двух отдельных примыканий перегрузочного комплекса к станции примыкания;

– использование грузовых средств для одновременной выгрузки-погрузки на двух путях.

При подаче вагонов отдельных категорий маршрутами средний простой превышает 65 ч, из которых простой в ожидании подачи – более 50 ч. При этом в связи с недостаточным путевым развитием единовременно на пути необщего пользования могут находиться не более 35 вагонов. Отстой остальной части (166 вагонов) выполняется на путях выставочного парка станции примыкания, что ухудшает условия ее работы, а также приводит к необоснованным штрафам для перегрузочного терминала.

При расчете времени на подачу и уборку вагонов на (с) путей терминала следует учитывать технологию работы пути необщего пользования и ее необходимо корректировать с учетом следующих факторов:

– наличие в одной подаче вагонов на различные пути и погрузочно-выгрузочные фронты;

– необходимость расстановки вагонов по фронту выгрузки;

– необходимость выезда за границы пути необщего пользования для производства маневров по расстановке вагонов по грузовым фронтам.

Также к особенностям работы пути необщего пользования перегрузочного комплекса относятся:

– необходимость транспортировки отдельных категорий грузов (алюминий, прокат металлов) погрузчиками до складских площадок на расстоянии, существенно превышающие аналогичные параметры на грузовых фронтах терминалов общего пользования, где складские площадки находятся близ разгружаемого вагона;

– величина подачи вагонов равная или превышающая вместимость грузового фронта;

– выполнение дополнительных операций, связанных с таможенным оформлением вагонов и подготовительно-заключительными процедурами.

Время на грузовые операции для отдельных категорий грузов не может быть принято с учетом нормативных величин и определяется расчетным путем. С учетом особенностей технологии работы пути необщего пользования продолжительность грузовых операций для вагонов с одной и с двумя грузовыми операциями увеличивается.

При разработке проекта сменно-суточного плана вагоны с полным сроком учитываются в числе планируемых к погрузке-выгрузке, а вагоны с неполным сроком – в числе поданных для погрузки/выгрузки в сутки, следующие за планируемыми [5]. При этом принимается во внимание технологический срок оборота вагонов, основанный на учете особенностей процесса на базе документов [1–5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2003 № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40444/. – Дата доступа : 18.10.2022.

2 Приказ МПС России от 18.06.2003 № 26 «Об утверждении Правил эксплуатации и обслуживания железнодорожных путей необщего пользования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://base.garant.ru/186037/>. – Дата доступа : 18.10.2022.

3 Приказ МПС России от 10.11.2003 № 70 «Об утверждении Методики по разработке и определению технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=51057>. – Дата доступа : 18.10.2022.

4 Приказ МПС России от 29.09.2003 № 67 «Об утверждении Порядка разработки и определения технологических сроков оборота вагонов и технологических норм погрузки грузов в вагоны и выгрузки грузов из вагонов» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=63298>. – Дата доступа : 18.10.2022.

5 Приказ Минтранса России от 26.08.2020 № 327 «Об утверждении типовых форм договора об организации работы по обеспечению перевалки грузов в морском порту» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202009150070>. – Дата доступа : 18.10.2022.

S. P. VAKULENKO, N. P. ZHURAVLEV, A. A. SIDRAKOV, M. Yu. SAVELIEV

FEATURES OF THE TECHNOLOGY OF JUNCTION STATIONS AND PATHS OF NON-PUBLIC USE IN A SINGLE TECHNOLOGICAL PROCESS

The article points out the need to take into account a number of indicators of the operation of paths of non-public use when developing a single technological process that are not taken into account in network-wide methods for calculating the duration of idle time of wagons on paths of non-public use related to the technological features of working with certain types of cargo, the presence of a narrow specialization of cargo fronts, their limited capacity, the performance of additional operations when feeding and cleaning wagons, the hostility of routes at the junction stations, etc.

Получено 19.10.2022

УДК 656.6

С. П. ВАКУЛЕНКО, П. В. КУРЕНКОВ, А. В. АСТАФЬЕВ
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва
posp-iuit@b.ru

ПОЛИМОДАЛЬНАЯ ЛОГИСТИКА УЧАСТИЯ ДНЕПРОВСКОЙ ФЛОТИЛИИ В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

Исследуется история становления и роли речного транспорта в развитии экономики России на примере участия Днепровской флотилии в стратегических боях во время Великой Отечественной войны. Описана полимодальная логистика автомобильного и железнодорожного транспорта в передислокации речных судов на театре военных действий.

История создания Российского речного флота связывается с датой 4 января 1737 года, когда при активном содействии вице-канцлера графа Остермана вышел Указ Сената о постройке в Брянском адмиралтействе на реке Десна малых судов флотилии. В основном это были дубель-шлюпки, мелкосидящие прамы и транспортные плашкоуты, способные пройти Днепровские пороги. Флотилия должна была содействовать Днепровской армии генерал-фельдмаршала Б. К. Миниха во взятии крепости Очаков – главного опорного пункта Турции в Северном Причерноморье.

18 сентября 1739 года в Белграде был заключен мирный договор с Турцией, по которому России был оставлен лишь город Азов без права плавания в Азовском море. Поэтому 15 октября 1739 года Днепровская флотилия, насчитывавшая к тому времени 657 судов, Указом императрицы Анны Иоанновны была расформирована, а значительная часть судов была уничтожена.

В 1915 году Россия заказала в США фирме «Муллинс и К°» 18 бронированных дозорных катеров, которые к марту 1916 года доставили в Петроград через Владивосток.

Весной 1916 г. Генштаб решил направить на фронт 16 дозорных бронекатеров с четырьмя офицерами и 96 нижними чинами. Два бронекатера было решено оставить в Петрограде в качестве учебных для подготовки личного состава катеров. Однако отправка катеров затянулась, и лишь с 26 мая по 11 июня 1916 г. 12 бронекатеров прибыли в Мозырь. Оставшиеся четыре бронекатера были отправлены в Двинск в распоряжение 5-й армии. На Двине 26 мая из этих катеров образовали взвод бронекатеров 5-й армии. Базой катеров стало местечко Двинская Погулянка.

Переписка по созданию советской Днепровской флотилии началась в начале февраля 1919 г. между Полевым штабом Советской Украины и Морским штабом РСФСР. Морское ведомство, занятое событиями на Балтике и Каспии, не взяло в это время на себя организацию флотилии, а направило в конце апреля 1919 г. в распоряжение Украинского командования нескольких специалистов, которые вошли в состав особой комиссии по вооружению кораблей Днепровской флотилии при начальнике военных сообщений 1-й армии Советской Украины (впоследствии XII Красной Армии). Приказом по флотилии от 21 марта 1919 г. ее первоначальный боевой состав определялся шестью бронепароходами и пятью бронекатерами.

Возрождение Днепровской флотилии началось после 18 марта 1921 года, когда в Риге был подписан мирный договор, который положил конец польско-большевистской войне. В 1927 году высокими темпами происходило формирование, модернизация и усиление Пинской флотилии, которая технически была обеспечена кораблями Днепровской флотилии. В состав Пинской флотилии вошли дивизион мониторов, группа канонерских лодок, дивизион бронекатеров, отряд глиссеров, 46-я отдельная авиаэскадрилья, 6-я отдельная рота морской пехоты, 109-й зенитный артиллерийский дивизион, флотский полуэкипаж, учебный отряд кораблей (рисунок 1). Произведенная мобилизация усилила флотилию кораблями и личным составом.



Рисунок 1 – Боевая готовность речного транспорта

22 июня 1941 года в 9 часов утра фашистская авиация нанесла удар по кораблям и объектам Пинской военной флотилии. Развертывание флотилии, оперативно подчиненной командующему Западным фронтом, было начато утром первого дня войны. На следующий день передовой отряд прибыл к Кобрину, где корабли флотилии в соответствии с заранее разработанным планом должны были оказывать содействие войскам 4-й армии. Однако в связи с отходом частей 4-й армии и отсутствием связи с ней командующий флотилией решил отвести корабли в район Пинска.

С началом Великой Отечественной войны флотилия оказалась на стыке двух групп армий противника («Центр» и «Юг») и двух советских фронтов (Западного и Юго-Западного). К 11 июля 1941 г. основные силы флотилии были сведены в три отряда: Березинский, Припятский (на Березине и Припяти в оперативном подчинении Западному фронту) и Днепровский (на Днепре в оперативном подчинении Юго-Западному фронту). Березинский отряд взаимодействовал с 21-й армией, Припятский – с частями 4-й и 5-й армий, Днепровский – с частями 26-й и 38-й армий. В августе 1941 г. были сформированы Киевский и Черниговский отряды. Корабли оказывали артиллерийскую поддержку обороняющимся войскам, наносили удары по скоплениям живой силы и техники противника, препятствовали его переправе через реки, прикрывали отход наших частей через водные преграды [3].

В 1943 году мощный оборонительный рубеж Вермахта («Восточный вал») проходил по рекам Сож, Молочная, Днепр. Лесисто-болотистая местность затрудняла продвижение советских войск, а топкие участки и слабо развитая дорожная сеть сковывали маневр тяжелой техники. Ввиду предстоящего мощного наступления летом 1943 года советское командование решило использовать реки, как дороги (рисунок 2).



Рисунок 2 – Оборонительный рубеж Вермахта

14 сентября 1943 года приказом наркома военно-морского флота была воссоздана Днепровская военная флотилия, и возглавил её капитан первого ранга Виссарион Виссарионович Григорьев (рисунок 3). Соединение формировали под Сталинградом, комплектование шло сложно, техники не хватало, из состава Волжской флотилии днепровцы получили всего 18 бронекатеров.

Первые годы войны показали, что «речные танки» – так называла наши бронекатера пехота – могут многое, а при высадке в глубоком тылу противника они и вовсе незаменимы. Высокую скорость и маневренность дополняла внушительная огневая мощь. «Изучив театр боевых действий испещренной сетью рек, я понял, какая важная роль отводилась флотилии в предстоящем наступлении», – писал командующий В. В. Григорьев [1].

Большой проблемой для кораблей становилось намеренное загрязнение рек большими обломками мусора, а также заминированные участки рек. Даже после очистки завалов оставалась опасность сплава мин по течению рек.

К 12 ноября 1943 года по железной дороге к станции Пироговка прибыли эшелоны с катерами. В короткие сроки был построен 800-метровый железнодорожный участок от станции к берегу Десны с сооружением деревянного склиза для спуска катеров с платформ на воду (рисунок 4, 5).

Бронекатера оснащались артиллерийским оружием, что позволяло уничтожить минометные батареи и большое количество живой силы противника. Благодаря скорости катеров доставка стрелковых рот в глубокий тыл увеличивалась скорость продвижения наступательной операции, а также уменьшалось количество жертв в военных операциях.

Говоря о роли водного транспорта, нужно уточнить, что из-за дождливой погоды вода на перекатах таких рек, как Березина, могла подниматься на 1,5 метра. Советские войска не могли форсировать реку вброд, поэтому за 36 часов под бомбёжкой днепровцы перебросили через реку несколько десятков тысяч солдат и офицеров, что помогло сохранить темп наступательной операции.

На Березине речные танки сыграли важную роль в разгроме немецкой группировки, но обозначился и ряд проблем, главной из которых была невысокая броневая защита катеров. Благодаря развитию промышленности на фронт отправлялись новые улучшенные катера, которые были оснащены башнями знаменитых Т-34 и могли лучше поддерживать пехоту огнём.



Рисунок 3 – Григорьев
Виссарион Виссарионович
(1907–1992 гг.)



Рисунок 4 – Погрузка полуглиссеров и бронекатеров на железнодорожные платформы

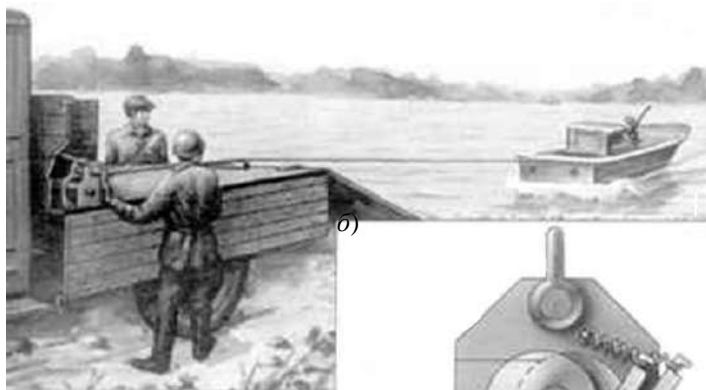


Рисунок 5 – Транспортировка катеров Днепровской флотилии по железной дороге

Освобождение Белоруссии продолжилось в направлении Пинска, который удалось вернуть благодаря созданию котла и тыловых операций с реки. Поэтому успешность этих операций повысила боевой дух солдат водного военного транспорта.

По плану военного командования из Днепровского бассейна нужно было выйти на Висленский, однако немцы разрушили Днепровско-Бугский канал, что остановило «речные танки». Командующий Первым Белорусским фронтом не мог допустить потери такой поддержки, поэтому приказал переправить флотилию по железной дороге. Однако после выгрузки катера сели на мель из-за того, что река обмелела, поэтому нужно было найти способ выйти на большую воду. Силами солдат с катеров было разгружены боеприпасы и топливо. Этих действий оказалось недостаточно, и на помощь пришли трактора, которые волоком тащили корабли, чтобы успеть переправить боевую поддержку в срок. Также прибегали к использованию автомобильного транспорта при перевалке. Чтобы доставить катер к железнодорожной платформе, его с помощью лебедки, оборудованной на грузовой машине, погружали на платформу (рисунок 6).

а)



б)

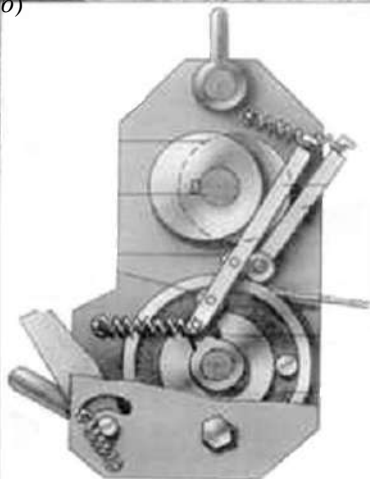


Рисунок 6 – Погрузка катеров на автомашины с помощью лебедки:

а – вытягивание катера на берег; *б* – конструкция лебедки

Во второй половине марта 1945 года корабли флотилии совершили 500-километровый переход по Висле, Бромбергскому каналу, рекам Нетце и Варта и сосредоточились у города Кюстрина для подготовки к штурму Берлина [2].

17 апреля началось широкомасштабное наступление на Берлин. В районе Румильсбурга река разлилась на 350 метров, мостов не было, но днепровцы обеспечили переправу катеров, что позволило оперативно перебросить передовые воинские подразделения.

Наиболее тяжелой задачей оказалось форсирование реки Шпрее с её высокими бетонными берегами. На западном берегу немецкие солдаты выгрузили из бронетранспортера предметы, похожие на баллоны с отравляющим газом. Концентрация частей на этом участке была запредельной. Танки и артиллерию применять было нельзя из-за угрозы взрыва баллонов. Оставалось атаковать с воды. Экипаж флотилии уничтожил из крупнокалиберных пулемётов оборонявшиеся группы фашистов, далее прикрылся дымовыми завесами и вышел из боя без потерь.

В мае 1945 года флаги Днепровской военной флотилии уже развивались на фоне поверженного Рейхстага. Последней боевой задачей этой войны стало разминирование русла Шпрее (рисунок 7).

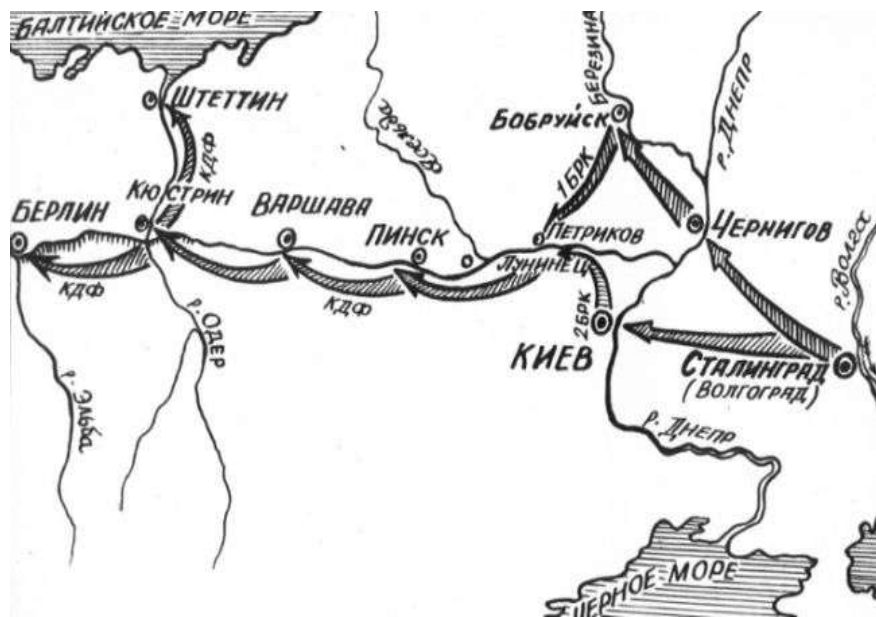


Рисунок 7 – Боевой путь Краснознаменной ордена Ушакова I степени Днепровской военной флотилии

В настоящее время речной транспорт мало используется на территории Республики Беларусь. Внутренние водные пути республики расположены в бассейнах рек Днепр, Неман, Западная Двина и Буг. Протяжённость рек страны составляет более 50 тыс. км. Из них пригодных для транспортного судоходства около 3,5 тыс. км, используется около 2 тыс. км, в том числе на реке Днепр – около 530,6 км, Березине – 304,3 км, Соже – 298,9 км, Припяти – 466,4 км, Немане – 90,8 км, Западной Двине – 197,3 км, Днепроовско-Бугском канале – 92,9 км, Мухавце – 59,1 км, Пине – 41,1 км, верхнем участке Припяти – 7 км, Микашевичском канале – 6 км, Горыни – 13,5 км, Туровском затоне – 1,5 км, Августовском канале – 21,2 км, Свислочи – 4,6 км. Из них 1252,1 км – с гарантированными габаритами пути.

С целью улучшения судоходных условий Днепроовско-Бугский канал претерпевал несколько реконструкций. Проблемы были связаны с изменением климата, из-за которого реки обмелели или превратились в болотистую местность. Так, существует проект раскопки старых каналов, благодаря возможной реализации которого можно было бы снизить загруженность железной дороги, что способно привести к понижению тарифов и увеличению скорости доставки грузов. Однако по экономическим соображениям этот проект остается пока не реализованным.

Таким образом, роль речного транспорта в Великой Отечественной войне и, в частности, Днепровской флотилии, весьма значительна. Днепровская флотилия прошла вместе с наступающими армиями боевой путь протяженностью в несколько тысяч километров от Волги до Шпрее, переходя с одного речного бассейна на другой, обеспечивая решающую помощь армиям при выполнении боевых задач. Когда же между этими бассейнами не было водного пути, то сотни боевых кораблей и тысячи тонн боевого снаряжения перебрасывалось по железной дороге. Лишь с Вислы на Одер и на Шпрее корабли Днепровской флотилии прошли своим ходом. Это доказывает важность использования разных видов транспорта с эффективной полимодальной логистикой, что способствовало достижению общей победной цели в годы Великой Отечественной войны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ВМФ СССР. Хроника победы. Днепровская флотилия. Дорога – документальное кино [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://goroga.ucoz.ru>. – Дата доступа : 18.09.2022.

2 Героической Днепровской флотилии 100 лет. Днепровская флотилия: судьба как подвиг [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.sb.by>. – Дата доступа : 18.09.2022.

3 Моремход – Днепровская флотилия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.moremhod.info/index.php/dnegr-menu>. – Дата доступа : 28.11.2022.

4 Локтионов, И. И. Пинская и Днепровская флотилии в Великой Отечественной войне / И. И. Локтионов. – М. : Воениздат, 1958. – 276 с.

POLYMODAL LOGISTIC OF PARTICIPATION OF THE DNIEPER FLONILIA IN THE GREAT PATRIOTIC WAR

The article examines the history of the formation and role of river transport in the development of the Russian economy. The question of the participation of river transport, represented by the Dnieper flotilla, in achieving victory in strategic battles during the Great Patriotic War is considered. The polymodal logistics of the participation of road and rail transport, as well as human resources in the transfer and redeployment of river vessels in the theater of operations of the Great Patriotic War (WWII) is described.

Получено 27.11.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.2

T. A. ВАСИЛЬЕВА, С. М. ВАСИЛЬЕВ

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

ИСТОРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И СТАНОВЛЕНИЯ ШКОЛ И УЧИЛИЩ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВЕДОМСТВА ГОМЕЛЬЩИНЫ

Представлена история создания, становления и развития железнодорожных школ и училищ на территории Гомельщины.

Общеобразовательные школы железнодорожного ведомства на территории Российской империи появились в последней трети XIX века. Все существующие тогда двухклассные школы были церковно-приходскими и разделялись на три типа:

- школы с учительскими классами, которые готовили учителей для церковно-приходских школ;
- школы обычного образовательного типа;
- железнодорожные школы.

Первая железнодорожная школа на нынешней территории Беларуси открылась на станции Гомель Либаво-Роменской железной дороги 1 сентября 1883 года. 40 мальчиков из семей железнодорожников получили возможность сесть за парты. После постройки собственного здания школы в 1889 г. численность учащихся достигла 120 учеников, а к началу XX века – более 300 [1].

На территории Могилевской губернии по состоянию на 1909 год на станциях работали четыре железнодорожные школы:

- Гомель Либаво-Роменской железной дороги;
- Гомель Полесских железных дорог;
- Жлобин Либаво-Роменской железной дороги;
- Орша Московско-Брестской железной дороги.

Школы содержались за счет железнодорожных Управлений, в отношении своего материального существования находились в благоприятных обстоятельствах. Ежегодный бюджет четырех железнодорожных школ Могилевской губернии давал возможность иметь в достаточном количестве учительский персонал и все необходимые учебные руководства и пособия. Это гарантировало достижение достаточно высоких результатов обучения [2]. Так, Гомельская двухклассная железнодорожная церковно-приходская школа содержалась на средства от вычета 0,5 % из получаемых членами попечительства этой школы жалования, также от взноса с каждого ученика за право обучения в размере 5 руб., и от управления Либаво-Роменской железной дороги, отпускающего ежегодно по 500 руб.; всего – 1500 руб. в год [3].

В железнодорожные церковно-приходские школы в первую очередь принимались дети железнодорожных служащих, как штатных, так и подённых. Во вторую очередь принимались дети – родственники железнодорожных служащих (сёстры, братья, племянники), находившиеся на их иждивении. В третью очередь, – по особому постановлению Училищного совета – дети-сироты или дети, родители которых случайно попали в трудную жизненную ситуацию. В четвёртую очередь – остальные.

Курс обучения в школах был шестилетний (3 года в первом классе и 3 – во втором). Причем второй класс был отдельной от первого школой, куда поступали из первого класса. В первый класс принимались только грамотные. Для обучения грамоте при школах имелось подготовительное отделение, в которое могли поступать в 1 класс и грамотные со стороны.

Педагогический совет железнодорожной приходской школы Либаво-Роменской железной дороги в 1894 году в интересах как можно большего распространения книг среди жителей г. Гомеля получил разрешение на открытие при школе книжного склада, в котором продавались учебники, учебные руководства и книги для внеклассного чтения как для детей, так и взрослых [4].

Кроме общеобразовательных целей железнодорожные школы имели задачей подготовку учеников детей железнодорожных служащих в технические железнодорожные училища. А это диктовало перестройку учебного процесса. Для обсуждения наболевших проблем в 1893 году под руководством начальника Либаво-Роменской железной дороги было создано совещание по школьным делам. В нем приняли участие попечители школ и начальник Гомельского технического железнодорожного училища. По итогам совещания в учебном курсе железнодорожных школ были приняты некоторые изменения и

расширения программ. Особенно это касалось математических предметов. Более обстоятельно стал проходить курс арифметики, вместо линейного черчения – полный элементарный курс геометрии. Также железнодорожные школы имели своего агента по наблюдению за общим ходом школьной жизни в лице попечителя каждой школы, которым становился то или иное административное лицо из местных железнодорожных служащих. С 1906 года организована целая система надзора и управления со стороны железнодорожных Управлений над железнодорожными школами. При управлениях дорог были организованы особые комитеты для заведывания школами, и кроме того, каждая дорога содержала своего отдельного ревизора по школам для руководства учебной частью [2].

Первое техническое железнодорожное училище на территории Гомельщины было открыто 20 октября 1878 года на станции Гомель Либаво-Роменской железной дороги. В железнодорожные училища принимались лица, окончившие курс железнодорожных церковно-приходских школ и выдержавшие вступительный экзамен. Курс обучения в железнодорожных училищах Российской империи был, как правило, трёхлетним, при этом ещё два года отводилось обязательной стажировке по специальности непосредственно на железных дорогах.

Окончившие училище и получившие установленный аттестат могли сдать экзамен на звание техника путей сообщения. О том, что сделать это было не так просто, свидетельствует Положение о техниках путей сообщения: «Испытания на звание техника путей сообщения производятся по программам, составляемым конференцией Института инженеров путей сообщения, из следующих предметов: черчения инженерного, архитектурного и ситуационного; низшей геодезии и производства изысканий; архитектуры и строительного искусства; начал теоретической, практической и строительной механики; составления смет и технических отчетов по правилам, принятым в Министерстве путей сообщения».

Для ремесленных учеников, будущих рабочих и мастеровых в Либаве и Гомеле были открыты двухклассные курсы. Программа обучения состояла из чтения и правописания, арифметики, рисования, геометрии и геометрического черчения, проекционного и технического черчения, физики, механики, курса сопротивления материалов.

Стремление работников железнодорожного транспорта дать общее и профессиональное образование своим детям приносило плоды. Уровень грамотности железнодорожников Беларуси постоянно повышался: с 84 % в 1895–1907 годах до 86,2 % в 1908–1913 годах. Среди рабочих мастерских и депо удельный вес грамотных был еще выше – 87,6 % [1].

1 сентября 1922 года в Гомеле открылась четырехгодичная школа фабрично-заводского ученичества, созданная при Гомельских Главных мастер-

ских Западной железной дороги. Необходимость создания школы обуславливалась острой потребностью в квалифицированных кадрах для железнодорожного транспорта, которые после преодоления разрухи, оставленной империалистической и гражданской войнами, приобретали очень большое значение.

В то время районы, обслуживаемые железной дорогой, стали огромной строительной площадкой. Началось ускоренное переоснащение железнодорожного транспорта новой техникой. Маломощные паровозы уступали дороге более сильным с гораздо лучшими техническими характеристиками. Поэтапно обновлялись железнодорожные пути. Решать эти сложные вопросы могли только хорошо подготовленные, с прочными специальными знаниями, кадры.

Первый набор составил 35 человек по специальности «Слесарь по ремонту паровозов». Наставниками обучающейся молодежи были преимущественно наиболее опытные мастера Гомельских главных мастерских Западной дороги. Первый выпуск ремонтников паровозов состоялся в 1926 году. В 1940 году Гомельская школа фабрично-заводского ученичества была преобразована в железнодорожное училище, где в то время занималось 30 человек.

Однако начавшаяся Великая Отечественная война коренным образом изменила привычный уклад жизни людей. В годы войны училище не прекратило своего существования. В короткие сроки была проведена эвакуация его материально-технической базы в город Белово Кемеровской области. Преподаватели и учащиеся занимались ремонтом паровозов и вагонов, которые были так необходимы фронту. Многие преподаватели, учащиеся и выпускники училища взяли в руки оружие, стали бойцами народного ополчения Железнодорожного района города, а после оккупации Гомеля – подпольщиками и партизанами. Многие ушли воевать на фронт.

26 ноября 1943 года Гомель был освобожден от фашистских оккупантов, куда вскоре прибыли преподаватели и учащиеся, было доставлено необходимое оборудование железнодорожного училища, продолжившее свою работу. Учебное учреждение было переименовано в профессионально-техническое училище № 35 железнодорожного транспорта. Сейчас оно носит название Гомельский государственный колледж транспорта и транспортных коммуникаций и в настоящее время подготавливает таких специалистов широкого профиля, как:

- помощник машиниста тепловоза, дизель-поезда;
- помощник машиниста тепловоза, электровоза;
- осмотрщик-ремонтник вагонов, составитель поездов;
- слесарь по ремонту подвижного состава;
- проводник пассажирского вагона, кассир билетный;

- монтер пути;
- оператор дефектоскопной тележки.

В 2022 году этому учреждению образования исполнилось 100 лет. За историю его существования было выпущено более 35 тысяч специалистов, которые стали настоящими профессионалами своего дела [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Чему и как учились в XIX веке [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.rw.by/corporate/press_center/reportings_interview_article/2012/05/chemu_i_kak_uchilis_v_xix_veke. – Дата доступа : 04.12.2022.

2 Могилевские епархиальные ведомости / под ред. П. Сахарова, А. Малевича. – Могилев, 1909. – № 11. – С. 411–420.

3 Могилевские епархиальные ведомости / под ред. П. Сахарова, А. Малевича. – Могилев, 1888. – № 33–34. – С. 297.

4 Могилевские епархиальные ведомости / под ред. П. Сахарова, А. Малевича. – Могилев, 1894. – № 25. – С. 531.

5 История Гомельского Государственного колледжа транспорта и транспортных коммуникаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ggptu-35.gomel.by/istoriya-liceya>. – Дата доступа : 04.12.2022.

T. A. VASILIEVA, S. M. VASILIEV

THE HISTORY OF EDUCATION AND THE FORMATION SCHOOLS AND COLLEGES OF THE RAILWAY DEPARTMENT OF GOMEL REGION

The history of the creation, formation and development of schools and colleges of the railway department in the Gomel region is presented.

Получено 05.12.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 51-7:656.2

T. A. ВЛАСЮК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
vlasiuk.ta@gmail.com*

ПРИМЕНЕНИЕ PEST-АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Исследуется возможность применения PEST-анализа для оценки неравномерности регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте, который характеризуется различными видами неравномерности, что связано со многими факторами, среди которых смена времен года, предоставление отпусков работающим

гражданам, наличие праздничных и выходных дней. Использование инструментария PEST-анализа позволит учесть не только внешние факторы среды, оказывающие значительное влияние на работу железной дороги, но и выделить активные составляющие, способствующие дальнейшему эффективному развитию пассажирских перевозок, исходя из потребностей населения.

В настоящее время широкое применение в различных отраслях экономики находит PEST-анализ, который обеспечивает глубокое понимание текущего состояния внешней среды и рисков в будущем, связанных с инновационным развитием транспортной системы [1–4]. Данный вид анализа может быть применен и для железнодорожного транспорта, что особенно актуально в изменившихся социально-экономических условиях и сложившейся санитарно-эпидемиологической ситуации в течение трех последних лет, что привело к значительным изменениям по многим основополагающим параметрам работы железной дороги. При этом следует отметить, что данный метод обладает наглядностью результатов, которые представляются в табличной форме и возможностью выбора параметров с учетом стратегических целей и задач железнодорожного транспорта.

PEST-анализ – это, прежде всего, учет правовых (законодательных), экономических, социальных и технологических факторов, которые оказывают влияние на деятельность железнодорожного транспорта, что особенно важно при составлении стратегических планов и прогноза в течение ближайших трех лет.

Рассмотрим применение PEST-анализа для оценки неравномерности регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте. Для проведения PEST-анализа необходимо:

- определить факторы, которые оказывают влияние на сезонную неравномерность регионального пассажиропотока;
- собрать информацию о динамике и характеру изменения каждого фактора;
- выполнить анализ значимости и степени влияния каждого из рассматриваемых факторов.

После выполнения данных этапов составляется сводная таблица PEST-анализа, включающая целый ряд позиций (рисунок 1).

Определим факторы, которые относятся к данным направлениям применительно к работе железнодорожного транспорта (таблица 1).

На основании таблицы 1 выполним оценку степени влияния каждого из перечисленных факторов на неравномерность регионального пассажиропотока. При этом степень влияния фактора может быть оценена при помощи метода семантического дифференциала по шкале Осгуда от 1 до 3 (таблица 2).



Рисунок 1 – Структура PEST-анализа

Факторы, которые не оказывают влияние на неравномерность регионального пассажиропотока, не рассматриваются, а оценка степени влияния фактора представляет собой субъективную экспертную оценку (таблица 3).

Таблица 1 – Краткая характеристика факторов, влияющих на неравномерность регионального пассажиропотока

Факторы	Краткая характеристика	Анализируемые изменения
Законодательные	Государственная стабильность	Тарифы и льготы и т. п.
		Будущее и существующее законодательство, регулирующее правила работы железнодорожного транспорта
		Государственная поддержка развития железнодорожного транспорта
Экономические	Темпы роста экономики	Уровень доходов населения
		Конкурентность
		Развитие рынка транспортных услуг
Социальные	Социально-культурная среда	Внутрирегиональная миграция населения
		Размер и структура семьи
		Половозрастная структура населения и продолжительность жизни
		Требования к качеству услуги и уровню сервиса
		Уровень миграции и миграционные настроения
		Темпы роста населения
Технологические	Показатели имеющихся и внедряемых технологий	Транспортные предпочтения населения региона
		Уровень инноваций транспорта
		Расходы на исследования и разработки
		Развитие и проникновение интернета, развитие мобильных устройств

Таблица 2 – Характеристика количественного индексирования значений по шкале Осгуда

Количественное индексирование значений шкалы	Оценка степени влияния фактора на сезонную неравномерность регионального пассажиропотока
1	Влияние фактора незначительное
2	Значимое влияние фактора
3	Влияние фактора очень значительно

Таблица 3 – Оценка влияния факторов по шкале Осгуда

Факторы	Анализируемые изменения	Оценка влияния фактора
Законодательные	Тарифы, льготы и т. п.	3
	Будущее и существующее законодательство, регулирующее правила работы пассажирского транспорта	2
	Государственная поддержка развития железнодорожного транспорта	3
Экономические	Уровень доходов населения	3
	Конкурентность	3
	Развитие рынка транспортных услуг	3
Социальные	Внутрирегиональная миграция населения	3
	Размер и структура семьи	1
	Половозрастная структура населения и продолжительность жизни	1
	Требования к качеству услуги и уровню сервиса	2
	Уровень миграции и миграционные настроения	2
	Темпы роста населения	2
	Транспортные предпочтения населения региона	3
Технологические	Уровень инноваций и технологического железнодорожного транспорта	2
	Расходы на исследования и разработки	1
	Развитие и проникновение интернета, развитие мобильных устройств	2

Вероятность колебаний PEST-факторов оценивается экспертами по 5-балльной шкале, где 1 означает минимальную вероятность изменения фактора, а 5 – максимальную (таблица 4).

После выставления всех оценок по ним рассчитывается среднее арифметическое и выставляется в отдельной колонке таблицы 4. Далее рассчитывается реальная значимость каждого фактора, что позволяет не только оценить его влияние, но и осуществить контроль за изменением неравномерности регионального пассажиропотока (таблица 5).

Таблица 4 – Экспертная оценка колебаний PEST-факторов

Анализируемые изменения	Оценка влияния фактора	Экспертная оценка					Среднее значение
		1	2	3	4	5	
Тарифы и льготы и т. п.	3	5	5	5	5	5	5,0
Будущее и существующее законодательство, регулирующие правила работы пассажирского железнодорожного транспорта	2	3	2	2	1	1	1,8
Государственная поддержка развития железнодорожного транспорта	3	2	3	3	2	4	2,8
Уровень доходов населения	3	5	4	4	5	5	4,6
Конкурентность	3	5	5	5	5	5	5,0
Развитие рынка транспортных услуг	3	4	4	5	5	4	4,4
Внутрирегиональная миграция населения	3	5	5	5	5	5	5
Размер и структура семьи	1	2	3	3	2	2	2,4
Половозрастная структура населения и продолжительность жизни	1	1	2	3	2	2	2,0
Требования к качеству услуги и уровню сервиса	2	2	3	3	2	4	2,8
Уровень миграции и миграционные настроения	2	3	4	4	5	4	3,8
Темпы роста населения	2	3	3	4	4	5	3,8
Транспортные предпочтения населения региона	3	4	4	5	5	4	4,4
Уровень инноваций и технологического железнодорожного транспорта	2	2	2	3	2	3	2,4
Расходы на исследования и разработки	1	2	2	1	1	2	1,6
Развитие и проникновение интернета, развитие различных мобильных устройств	2	3	4	4	5	3	3,8
<i>Итого</i>	36						55,6

На основании PEST-анализа установлено, что на неравномерность регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте помимо климатических факторов, также значительное влияние оказывают экономические факторы (уровень доходов населения, конкурентность среди различных видов транспорта, развитие рынка транспортных услуг). В меньшей степени оказывают влияние технологические факторы.

Таким образом, PEST-анализ позволяет производить оценку факторов по достаточно гибкой методике их влияния на пассажиропоток и вскрыть внутренние резервы железной дороги.

Таблица 5 – Оценка с поправкой на удельный вес значимости фактора

Анализируемые изменения	Оценка влияния фактора	Среднее значение	Оценка с поправкой на удельный вес значимости фактора
Тарифы и льготы и т. п.	3	5,0	0,13
Будущее и существующее законодательство, регулирующие правила работы пассажирского железнодорожного транспорта	2	1,8	0,36
Государственная поддержка развития железнодорожного транспорта	3	2,8	0,23
Уровень доходов населения	3	4,6	0,14
Конкурентность	3	5,0	0,13
Развитие рынка транспортных услуг	3	4,4	0,15
Внутрирегиональная миграция населения	3	5,0	0,13
Размер и структура семьи	1	2,4	0,27
Половозрастная структура населения и продолжительность жизни	1	2,0	0,32
Требования к качеству услуги и уровню сервиса	2	2,8	0,23
Уровень миграции и миграционные настроения	2	3,8	0,17
Темпы роста населения	2	3,8	0,17
Транспортные предпочтения населения региона	3	4,4	0,15
Уровень инноваций и технологического железнодорожного транспорта	2	2,4	0,27
Расходы на исследования и разработки	1	1,6	0,40
Развитие и проникновение интернета, развитие мобильных устройств	2	3,8	0,17
<i>Итого</i>	36	55,6	

В итоге можно получить так называемую модель «реакции» для конкретного регионального маршрута на железнодорожном транспорте с учетом совокупности факторов и повысить качество обслуживания населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Таранушич, Д. М. PEST-анализ как метод стратегического анализа / Д. М. Таранушич, Е. Е. Шидакова // Современный научный вестник. – 2016. – № 1. – С. 43–49.
- 2 Котлер, Ф. Стратегический маркетинг некоммерческих организаций / Ф. Котлер, А. Р. Андреасен. – 6-е изд. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 854 с.
- 3 Ситникова, Ю. Е. SWOT-анализ и PEST-анализ как наиболее эффективные инструменты стратегического планирования / Ю. Е. Ситникова // Аллея науки. – 2019. – Т. 1. – № 1 (28). – С. 523–528.
- 4 PEST-анализ разбираем подробно [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://powerbranding.ru/biznes-analiz/pest/>. – Дата доступа : 28.11.2022.

T. A. VLASIUK

USING PEST ANALYSIS FOR EVALUATION IRREGULARITIES OF REGIONAL PASSENGER FLOW BY RAILWAY TRANSPORT

Regional passenger traffic in rail transport is characterized by various types of unevenness, which is associated with many factors, including the change of seasons, the provision of holidays for working citizens, as well as the availability of holidays, taking into account additional days off, when citizens tend to travel to the suburban are. In this regard, it is advisable to use PEST-analysis to assess the unevenness of regional passenger traffic in railway transport, which will take into account not only external environmental factors that have a significant impact on the operation of the railway, but also determine the prospects for further development of passenger traffic, based on the needs of the population.

Получено 01.12.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.072.6:005.311

T. A. VLASIUK, A. N. BELOUS, L. A. GONCHAROVA

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
vlasiuk.ta@gmail.com*

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССАЖИРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ НА ОСНОВЕ МАТРИЦЫ АНСОФФА

Рассматривается возможность применения матрицы Ансоффа для оценки эффективности информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте. Приведены отличительные особенности данного метода, который позволяет подобрать оптимальное решение, исходя из конкретных условий, и обеспечивает эффективную организацию информирования пассажиров.

Согласно отчету Национального статистического комитета Республики Беларусь в 2020 году пассажирооборот на железнодорожном транспорте составил 6274,1 млн пас·км, а на автомобильном – 11228,6 млн пас·км и соответственно перевезено пассажиров на железнодорожном транспорте 79,7 млн человек, на автомобильном, включая таксомоторный, – 1212,0 млн человек. Приведенные показатели свидетельствуют о прочной и устойчивой позиции автомобильного транспорта на рынке транспортных услуг.

Структура пассажирооборота по видам транспорта в процентах к итогу приведена на рисунке 1.

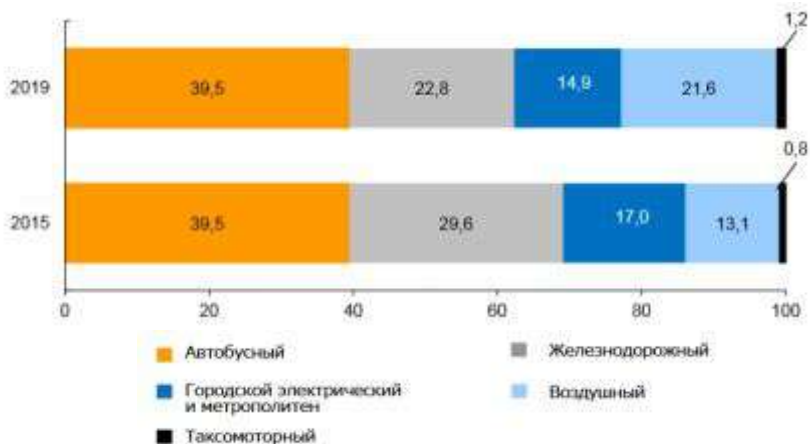


Рисунок 1 – Структура пассажирооборота по видам транспорта

За последние 6 лет пассажирооборот автомобильного, городского электрического транспорта и метрополитена увеличился на 5,8 % (с 14162 млн пас·км в 2016 году до 14 982 млн пас·км в 2019 году). Эта тенденция обусловлена ростом пассажирооборота международных автомобильных перевозок пассажиров в регулярном сообщении (с 312 млн пас·км в 2016 году до 1728,2 млн пас·км в 2019 году). Вместе с тем в 2020 году пассажирооборот автомобильного, городского электрического транспорта и метрополитена снизился на 23,6 % к 2019 году и на 20,8 % к 2015 году, что обусловлено социально-экономическими последствиями пандемии коронавирусной инфекции. Повышение уровня заболеваемости и принятые профилактические меры привели к снижению потребностей населения в перемещениях.

На железнодорожном транспорте пассажирооборот в 2020 году составил 3,7 млрд пас·км и снизился по сравнению с 2015 годом на 47,4 %.

В 2021 году пассажирооборот всех видов транспорта Республики Беларусь увеличился на 12,1 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года (20 217,8 млн пас·км, объем перевозок пассажиров – 1547,3 млн человек. На железнодорожном транспорте пассажирооборот 4490,6 млн пас·км, автомобильном (автобусы) – 7942,0 млн пас·км, городском электрическом и метрополитене – 3181,0 млн пас·км.

Объем перевозок пассажиров на железной дороге 61,4 млн человек, на автомобильном (автобусы) транспорте – 940,7 млн человек, городском электрическом и метрополитене – 543,1 млн человек.

Приведенный статистический анализ показывает устойчивую тенденцию роста автомобильных перевозок в Республике Беларусь и активную экспансию автобусного транспорта, который выступает альтернативой железной дороге не только на пригородных направлениях, но и в дальнем сообщении.

Сегодня мы наблюдаем значительное влияние автомобильного, городского электрического транспорта и метрополитена на развитие социальной сферы в Республике Беларусь, которыми осуществляется более 95 % от общего объема перевозок пассажиров всеми видами транспорта. Наибольшую долю в общем объеме перевозок пассажиров и пассажирообороте автомобильного, городского электрического транспорта и метрополитена за 2020 год занимают перевозки пассажиров автобусами – 61,9 и 40 % соответственно, а суммарная доля перевозок пассажиров городским электрическим транспортом (трамваями и троллейбусами) и метрополитеном составляет 34,2 и 15,1 %.

Таким образом, для выполнения перевозок в полном объеме на железнодорожном транспорте необходимо привлечение дополнительного пассажиропотока и укрепление «своей» позиции на рынке транспортных услуг, что является первостепенной задачей для железнодорожного транспорта. При этом привлечение пассажиров на железнодорожный транспорт возможно за счет эффективного информационного обеспечения и создания комфортных условий проезда, что позволит повысить конкурентоспособность железной дороги на рынке транспортных услуг.

Одним из направлений решения данной проблемы является применение матрицы Ансоффа, рассматривающей не только текущее состояние дел, но и связи, которые могут возникнуть в перспективе с возможными комбинациями старых и новых технологий по информационному обеспечению пассажиров, а также внедрение новых способов освоения железнодорожных пассажирских перевозок и предоставления услуг пассажиров как на вокзалах, так и пути следования. Применение матрицы Ансоффа позволяет выделить эффективную стратегию развития и сделать соответствующий выбор того или иного варианта. Следует отметить, что согласно матрице Ансоффа железнодорожному транспорту, прежде всего, необходимо развивать свои конкурентные преимущества по сравнению с другими видами транспорта.

С учетом вышеизложенного составим матрицу Ансоффа исходя из различных стратегий информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, матрица Ансоффа включает четыре стратегии развития информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте и предполагает выбор одной из четырех, что вызывает необходимость рассмотрения каждой из них в отдельности. Так, стратегия «Проникновение на рынок транспортных услуг» может быть рассмотрена согласно таблице 2.

Анализ таблицы 2 показал, что стратегия «Проникновение на информационный рынок транспортных услуг» позволяет рассмотреть возможности роста пассажиропотока, который привлекается на железнодорожный транспорт за счет различных предложений на существующем рынке информационного обеспечения транспортных услуг.

Таблица 1 – Матрица Ансоффа информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте

Информационное обеспечение пассажиров на железнодорожном транспорте	Существующее положение	Предложения
Существующее	Проникновение на информационный рынок транспортных услуг	Укрепление позиций на информационном рынке транспортных услуг
Прогнозируемое	Расширение информационного обеспечения рынка транспортных услуг	Диверсификация

Таблица 2 – Краткая характеристика стратегии «Проникновение на рынок транспортных услуг»

Критерии	Возможность достижения		
	Достижимо	Возможно	Невозможно
Темп роста пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте	Высокий	Замедленный	Низкий
Уровень информационных услуг, предоставляемых пассажирам	Высокий	Среднерыночные показатели	Низкий
Частота пользования информационными услугами пассажирами	Максимальная	Умеренная	Низкая
Конкурентоспособность услуги	Имеется	–	Не имеется

При этом необходимо постоянно увеличивать диапазон предоставляемых услуг исходя из современных тенденций сервисного обслуживания населения, например, организации информационного обеспечения через интернет-приложения и т. п.

Стратегия «Расширение информационного обеспечения рынка транспортных услуг» достигается путем продвижения существующих услуг для пассажиров посредством тщательной сегментации, таргетинга и позиционирования услуги и может быть рассмотрена на примере таблицы 3.

Анализ таблицы 3 показал, что стратегия «Расширение информационного обеспечения рынка транспортных услуг» позволяет открыть новые направления для применения существующего информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте, что подтверждается имеющимися возможностями для их реализации на железной дороге, которые в дальнейшем позволят увеличить прибыль за счет привлечения большего количества пассажиров, например, туристические поезда для различных видов туров.

Стратегия «Укрепление позиций на информационном рынке транспортных услуг» требует дополнительных финансовых затрат, но дает возможность в течение некоторого времени железнодорожному транспорту оставаться монополистом на рынке транспортных услуг в сфере информационного обеспечения за счет опережения конкурентов.

Таблица 3 – Краткая характеристика стратегии «Расширение информационного обеспечения рынка транспортных услуг»

Критерии	Возможность достижения		
	Достижимо	Возможно	Невозможно
Наличие достижений на информационном рынке транспортных услуг	Имеется	–	Не имеется
Количество видов транспорта на информационном рынке транспортных услуг	Незначительное	Небольшое	Большое
Темп развития информационного обеспечения транспортных услуг	Высокий	Умеренный	Замедленный
Уникальность услуги	Имеется	–	Не имеется
Конкурентоспособность услуги	Имеется	–	Не имеется

При использовании данной стратегии возможна разработка новых информационных предложений, ориентированных на существующий пассажиропоток (таблица 4).

Таблица 4 – Краткая характеристика стратегии «Укрепление позиций на информационном рынке транспортных услуг»

Критерии	Возможность достижения		
	Достижимо	Возможно	Невозможно
Темп развития существующего рынка информационного обеспечения транспортных услуг	Высокий	Растущий	Стагнация
Объем существующего рынка информационного обеспечения транспортных услуг	Крупный	Средний	Небольшой
Наличие недостатков в информационном обеспечении предоставляемых услуг	Имеется	–	Не имеется
Угроза появления новых видов информационного обеспечения на других видах транспорта	Имеется	–	Не имеется

Таким образом, из таблицы 4 видно, что на железнодорожном транспорте имеются все возможности для расширения информационного обеспечения предоставляемых услуг для пассажиров.

Стратегия «Диверсификация» подразумевает разработку новых услуг по информационному обеспечению для пассажиров, что, в свою очередь, считается наиболее рискованной стратегией. Однако стратегия диверсификации, несмотря на риск, может предложить наибольшее количество вариантов по дальнейшему развитию информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте (таблица 5).

Таблица 5 – Краткая характеристика стратегии «Диверсификация»

Критерии	Возможность достижения		
	Достижимо	Возможно	Невозможно
Темп развития существующего информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте	Стагнация	Замедление	Высокий
Конкуренция на различных видах транспорта по информационному обеспечению пассажиров о транспортных услугах	Высокая	Жесткая	Низкая
Дополнительные ресурсы для развития информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте	Имеется	–	Не имеется
Получение компенсации за введение нового информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте	Имеется	–	Не имеется
Возможность развития существующего информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте	Имеется	–	Не имеется

Анализ таблицы 5 показал, что в настоящее время можно не проводить диверсификацию, так как на железнодорожном транспорте имеются возможности для информационного обеспечения пассажиров с использованием новых и существующих услуг.

Оценка затрат и возможность получения эффекта в зависимости от стратегии, согласно зарубежных исследований, приведена в таблице 6.

Таким образом, проведенный анализ при помощи матрицы Ансоффа, показал имеющиеся возможности информационного обеспечения пассажиров на железнодорожном транспорте для повышения эффективности данного вида перевозок исходя из стратегии «Проникновение на информационный рынок транспортных услуг», которая является наиболее распространенной и наименее рискованной из четырех рассматриваемых альтернатив.

Таблица 6 – Затраты и возможность получения эффекта в зависимости от стратегии

Наименование стратегии	Затраты	Возможность получения эффекта, %
Проникновение на информационный рынок транспортных услуг	–	До 50
Расширение информационного обеспечения рынка транспортных услуг	В 4 раза	До 20
Укрепление позиций на информационном рынке транспортных услуг	В 8 раз	Более 30
Диверсификация	От 12 до 16 раз	5

Матрица Ансоффа показывает, что требуются дополнительные затраты, например на переподготовку персонала, однако это улучшит качество информационного обслуживания пассажиров и в дальнейшем позволит увеличить пассажиропоток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ансофф, И. Новая корпоративная стратегия / И. Ансофф. – СПб. : Питер Ком. 2005. – 206 с.
- 2 Экспертное бюро оценки и консалтинга [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.burocons.ru>. – Дата доступа : 12.12.2020.
- 3 Основы разработки маркетинговой стратегии и обоснование возможности ее реализации / М. В. Соловьева [и др.] // Вестник ВУиТ. – 2020. – Т. 2, № 3 (46). – С. 140–151.
- 4 Стратегический маркетинг : учеб. пособие / О. В. Фирсанова [и др.] // СПб : Изд-во Санкт-Петербургского гос. экономич. ун-та, 2018. – 73 с.
- 5 Власюк, Т. А. Применение матрицы Ансоффа для решения задач оценки эффективности работы железнодорожного транспорта при обслуживании межрегионального пассажирского сообщений / Т. А. Власюк // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 57–62.
- 6 Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 15.12.2022.

T. A. VLASIUK, A. N. BELOUS, L. A. GONCHAROVA

EVALUATION OF INFORMATION PROVISION PASSENGERS BY RAILWAY TRANSPORTBASED ON THE ANSOFF MATRIX

To assess the effectiveness of information support for passengers in railway transport, the use of the Ansoff matrix is proposed. The distinctive features of this method are given, which, as a comprehensive study, allows you to choose the optimal solution for its practical application, based on specific conditions, and provides an effective organization of informing passengers with the further possibility of traveling by rail.

Получено 01.12.2022

УДК 656.21:53.072:004.9

А. К. ГОЛОВНИЧ

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

КОГЕРЕНТНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ И ЕЕ ПРОТОТИПА

Исследуются возможности достоверного моделирования динамических процессов на железнодорожной станции с оценкой состояния прототипированных объектов по некоторому шаблону натурального эксперимента. Условием верификации модели является сходимость значений координатного положения модельных и реальных вагонов на станционном пути в заданное время. Рассматриваются основные требования к реализации когерентных моделей, имеющих структуру, изоморфную реальному образу.

Моделирование динамических процессов сложных технических систем формирует обособленную пространственно-временную локацию виртуальной симуляции, развивающейся в соответствии с определёнными модельными правилами, имитирующими физические процессы. Эти правила рассматриваются как причины изменения состояний модельных объектов.

Однако подобные алгоритмические правила лишь приближенно описывают действие природных законов окружающего мира. Состояния объектов реальной технической системы изменяются в результате коррелированного воздействия многих внешних и внутренних факторов теплового, электромагнитного, гравитационного и другого характера. Модельная реконструкция способна учитывать воздействие сил определенного значимого порядка влияния на объекты, непосредственно соприкасающиеся друг с другом или находящиеся в зоне рассчитываемого контакта. Прочие, как правило, относятся к случайным воздействиям и могут учитываться в виде некоторой поправочной величины. Поэтому важно, чтобы модельные объекты повторяли состояния своих прототипов, чего можно достичь при идентичных условиях протекания процессов модели и реальной системы. Для этого по мере развития модельного эксперимента его результаты должны сопоставляться с аналогичными прототипными процессами реальной системы. По результатам оценки состояний объектов модели и реальности ожидаются различные взаимные отклонения (рисунок 1).

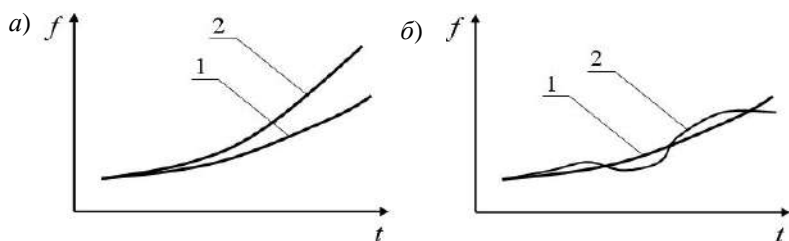


Рисунок 1 – Фазовые кривые состояний объектов реальной (1) и модельной (2) систем: а – дивергирующие, б – диспергирующие

Однако следует отметить, что убедительный эксперимент для проверки адекватности алгоритмических правил, имитирующих действие реальных физических законов, подготовить и провести достаточно сложно. Если определить некоторый эталонный процесс, например, для конкретной железнодорожной станции провести видеосъемку технологических операций приёма и расформирования поезда с фиксацией всех начальных состояний объектов станционной инфраструктуры и подвижного состава (в том числе и их дефектов, ветровой нагрузки, электромагнитных излучений, тяговых усилий поездных и маневровых локомотивов) и реализовать их в модели, то сравнение пространственных позиций объектов прототипа и информационной имитации позволит построить соответствующие фазовые кривые и определить их тип. Рассогласования позиций будут наблюдаться по причине неполного или некорректного учёта влияния множества взаимокоррелируемых воздействий. При этом можно ожидать, что фазовые кривые координатного положения модельных объектов будут соответствовать графику рисунка 1, а, так как алгоритмические правила содержат расчётные процедуры определения величин сопротивления движению вагонов без учёта возникающих трений в многочисленных сочленениях элементов конструкции подвижного состава, без влияния трудно регистрируемых дефектов пути и вагонов, возможных форс-мажорных обстоятельств, которые имеют место в реальных условиях эксплуатации железнодорожных станций. В результате расчётные сопротивления движению модельных объектов оказываются меньше, а соответствующие перемещения вагонов – больше, с фиксацией положения вагонов дальше от исходных точек начала движения по сравнению с прототипными аналогами.

Благодаря возможности многократного воспроизведения модельные операции могут повторяться с соответствующей корректировкой в расчётах величин сопротивлений движению вагонов, добавляя неучтенные потери на работу сил сопротивления поправочными коэффициентами, что в конечном итоге может привести к совпадению или близким значениям фазовых модельной 2 и прототипной 1 кривых. Поэтому соответствующие корректировочные меры позволяют изменить *дивергирующие* (см. рисунок, 1, а) на *диспергирующие* (см. рисунок 1, б) графики сопоставляемых фазовых кривых.

В этом случае состояния модельных объектов определённым образом повторяют состояния своих прототипов, распределяясь в некотором допустимом множестве незначительно различающихся состояний от основного идентифицирующего, которым обладает реальный объект. Если кривая 1 на рисунке 1, б является целеполагаемой, то состояния объектов модели должны изменяться таким образом, чтобы характеризующая их фазовая кривая 2 «нанизывалась» на первую, определённым образом обвивая её. Формирование подобной взаимодействующей структуры кривых, описывающих указанные процессы с тяготеющей конфигурацией кривой 2 к кривой 1, называется *имбрейсингом* (embracing). Embrace-конфигурация определяется внутренней связностью кривых, исключая отклонение модельной кривой от прототипной более чем на некоторые значения лимитной области.

Проверка сходимости параметрических позиций модели и реальности (MR-позиций) выполняется по определённым ключевым состояниям объектов. Например, для моделирования процесса приёма и расформирования поезда на станции выделяем следующие операции:

- подготовки маршрута для приёма поезда (O_1);
- приёма поезда на путь приемоотправочного парка (O_2);
- закрепления состава на пути (O_3);
- отцепки поездного локомотива (O_4);
- уборки локомотива в депо (O_5);
- подачи маневрового локомотива (O_6);
- прицепки к составу маневрового локомотива (O_7);
- уборки башмаков из-под состава (O_8);
- надвига состава на горку (O_9);
- роспуска состава (O_{10});
- заезда маневрового локомотива в парк приёма (O_{11}).

Завершение каждой из указанных операций фиксирует ключевое состояние f_i участвующих в модели объектов в соответствующий момент времени $t_{FIX(i)}$ (рисунок 2).

Существенной особенностью имбрейсинга является допустимость возможных отклонений модельных позиций как по времени завершения $\Delta t_{FIX(i)}$ ключевых операций, так и по достигаемому состоянию Δf_i модельных объектов. Соединение точек нижнего и верхнего пределов отклонений состояний модельных позиций определяет зону корректного прототипирования ξ^{MOD} процессов реальной технической системы. При этом по завершении некоторой ключевой операции O_i в момент времени $t_{FIX(i)}$ разброс параметризуемого состояния колеблется от Δf_i^- до Δf_i^+ . В общем случае $\Delta f_i^- \neq \Delta f_i^+$. Этот эффект визуально подчёркивается неоднородностью «толщины» зоны ξ^{MOD} по всему спектру моделируемых процессов (см. рисунок 2). Данная неотжественность отклонений модельных состояний объектов от прототипных называется *модельным шифтингом первого рода*.

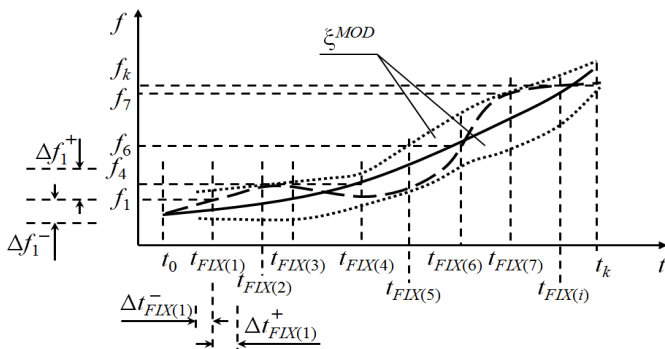


Рисунок 2 – Embrace-конфигурация параметрических MR-позиций состояний объектов

Как указывалось ранее, аналогичная коллизия наблюдается и для моментов завершения ключевых операций. Разброс $\Delta t_{FIX(i)}$ может быть от $\Delta t_{FIX(i)}^-$ до $\Delta t_{FIX(i)}^+$. Также в общем случае $\Delta t_{FIX(i)}^- \neq \Delta t_{FIX(i)}^+$. Этот диссонанс отклонений называется *модельным шифтингом второго рода*. Причины возникновения модельного шифтинга в данной статье не исследуются.

При моделировании процессов динамической системы необходимо обеспечить контролируемость шифтинга посредством установления предельных значений $\lim(\Delta t_{FIX(i)}^-)$, $\lim(\Delta t_{FIX(i)}^+)$, $\lim(\Delta f_i^-)$, $\lim(\Delta f_i^+)$. В процессе моделирования ожидается взаимное влияние шифтинга 1-го и 2-го родов, которые могут быть связаны причинно-следственной связью между собой (таблица 1).

Таблица 1 – Отклонение параметров функционирования модельных объектов относительно базовых позиций прототипов

Номер позиции	Влияющий признак	Результат влияния	Верификация модели
1	$\Delta t_{FIX(i)}^- < \lim(\Delta t_{FIX(i)}^-)$	$f_i^{MOD} \in \xi^{MOD}$	Обеспечивается
2	$\Delta t_{FIX(i)}^- \geq \lim(\Delta t_{FIX(i)}^-)$		Модель неработоспособна
3	$\Delta t_{FIX(i)}^+ < \lim(\Delta t_{FIX(i)}^+)$	$f_i^{MOD} \in \xi^{MOD}$	Обеспечивается
4	$\Delta t_{FIX(i)}^+ \geq \lim(\Delta t_{FIX(i)}^+)$		Модель неработоспособна
5	$\Delta f_i^- < \lim(\Delta f_i^-)$	$f_i^{MOD} \in \xi^{MOD}$	Обеспечивается
6	$\Delta f_i^- \geq \lim(\Delta f_i^-)$		Модель неработоспособна
7	$\Delta f_i^+ < \lim(\Delta f_i^+)$	$f_i^{MOD} \in \xi^{MOD}$	Обеспечивается
8	$\Delta f_i^+ \geq \lim(\Delta f_i^+)$		Модель неработоспособна
9	$\Delta t_{FIX(i)}^- \Rightarrow \Delta f_i^- < \lim(\Delta f_i^-)$	$f_i^{MOD} \in \xi^{MOD}$	Обеспечивается
10	$\Delta t_{FIX(i)}^- \Rightarrow \Delta f_i^- \geq \lim(\Delta f_i^-)$		Модель неработоспособна
11	$\Delta t_{FIX(i)}^- \Rightarrow \Delta f_i^+$		Неопределенна
12	$\Delta t_{FIX(i)}^+ \Rightarrow \Delta f_i^+ < \lim(\Delta f_i^+)$	$f_i^{MOD} \in \xi^{MOD}$	Обеспечивается
13	$\Delta t_{FIX(i)}^+ \Rightarrow \Delta f_i^+ \geq \lim(\Delta f_i^+)$		Модель неработоспособна
14	$\Delta t_{FIX(i)}^+ \Rightarrow \Delta f_i^-$		Неопределенна

Ключевые состояния модельных и реальных объектов определяются на момент завершения соответствующих операций $t(O_i)$. При этом базовыми ориентирами всегда являются позиции объектов реальной системы $t^{REAL}(O_i)$. Тогда

$$\begin{aligned} \Delta t_{FIX(i)} &= t^{REAL}(O_i) - t^{MOD}(O_i), \\ \Delta t_{FIX(i)} &= \Delta t_{FIX(i)}^-, \text{ если } t^{REAL}(O_i) > t^{MOD}(O_i), \\ \Delta t_{FIX(i)} &= \Delta t_{FIX(i)}^+, \text{ если } t^{REAL}(O_i) < t^{MOD}(O_i). \end{aligned}$$

При этом должны соблюдаться условия контролируемого шифтинга:

$$\Delta t_{FIX(i)}^- < \lim(\Delta t_{FIX(i)}^-), \Delta t_{FIX(i)}^+ < \lim(\Delta t_{FIX(i)}^+).$$

Многократное повторение одного и того же модельного эксперимента с введением переменного коэффициента, компенсирующего неучтенные влияния прочих факторов, позволит получить решения в границах зоны ξ^{MOD} (см. рисунок 2).

К сожалению, такой модельный эксперимент может быть проведен для условий имеющегося статистического материала по реальной станции, который ограничен некоторым отрезком времени $[t_0, t_k]$. При этом модель способна работать за пределами достигнутого времени t_k , далее которого нет сравнительной базы реального опыта.

Более того, условия выполнения технологических операций могут измениться (например, в структуре поступающего на станцию вагонопотока увеличится доля инновационных вагонов увеличенной грузоподъемности, приводящих к возрастанию нагрузки на верхнее и нижнее строения пути с изменением влияния сил сопротивления на объекты движения). С достаточной уверенностью можно сказать, что модель будет функционировать в новых условиях, и на экране дисплея будут формироваться соответствующие визуальные образы перемещающихся по станционным путям вагонов и локомотивов, но оценка корректности результатов расчётов соответствующих влияний на железнодорожный путь и вагоны не может быть выполнена из-за отсутствия оценочных данных для реальных процессов, проведенных в рамках модели.

С другой стороны, выполнение такого натурального эксперимента позволило бы скорректировать результаты работы только конкретной реализации данной модели. Даже незначительное изменение исходных условий потребует новой подготовки реального эксперимента для верификации результатов модели. И чем больше изменений условий происходит в модели, тем сложнее подготавливать и проводить соответствующий адекватный натуральный тест.

Можно попытаться сформировать обратную схему связи «модель – реальность»: сначала подготовить и провести детально запротоколированную процедуру операций приема и расформирования поезда на станции с существующими условиями, потом скрупулезно повторить эти операции в мо-

дела, проводя их в полном соответствии с обозначенными условиями, и по достигнутым результатам провести сравнение состояний натуральных и модельных объектов с последующей необходимой корректировкой модели с целью достижения требуемого уровня совпадения сопоставляемых значений показателей.

Корректировка результирующих значений параметров, характеризующих состояние объектов модели, должна производиться с помощью некоторой операцией, выравнивающей величины модельных показателей p_i^{MOD} до уровня необходимых нормированных p_i^{REAL} , установленных натурным экспериментом. При этом следует решить задачу достижения имбрейсинга в зоне допустимого отклонения модельных параметров в ξ^{MOD} с реализацией основных вариантов 1, 3, 5, 7, 9, 12 таблицы 1. Если посредством модельных итераций достигается embrace-конфигурация, то работа данной реализации модели продолжается за пределами временной шкалы $[t_0, t_k]$ до следующего отсчёта таймера $t_s > t_k$, где $(t_s - t_k) \approx (t_k - t_0)$.

Полученный экстраполяционный период времени $[t_k, t_s]$ работы модели анализируется по достигнутому показателю и подготавливается соответствующий натуральный эксперимент, повторяющий все условия проведенной модельной реконструкции. При подтверждении сходимости результатов модель считается верифицированной. Возможно, достаточно будет определить значение *коэффициента имбрейсинга* k_{emb} и применять его на последующих экстраполяционных периодах $[t_k, t_s]$, $[t_s, t_D]$, Однако существует большая вероятность объективного действия некоторой оценочной *функции имбрейсинга* с установленной аналитической или эмпирической зависимостями от целого ряда параметров.

Приведённую процедуру можно реализовать на конкретном примере. Пусть стоит задача моделирования работы парка приёма сортировочной станции. Выделяем последовательность технологических операций по приёму и расформированию поездов с фиксированными позициями ключевых состояний объектов из указанного выше перечня O_1-O_{11} . Для множества станционных объектов паркового пути данной станции, разложения прибывающих поездов с учетом всех вагонов, их типов, моделей, конструктивных особенностей, наименований грузов и их массы в вагонах формируется детализированная цифровая съёмка операций O_1-O_{11} с регистрацией состояний участвующих в натурном эксперименте объектов на протяжении всего периода времени выполнения данных операций.

Параметризация объектов и элементов технологического процесса обслуживания вагонопотоков на станции позволит получить полные и детальные количественные данные о прототипируемом образе, формируя цифровую копию физической реальности (ЦКФР). Контрольными параметрами ЦКФР являются значения $t_{FIX(i)}^{REAL}$, по которым рассчитывается период моделирования,

$$t_k - t_0 = \sum_{i=0}^k (t_{FIX(i+1)}^{REAL} - t_{FIX(i)}^{REAL}),$$

где k – количество ключевых состояний объектов (для рассматриваемого примера $k = 10$ при начальном индексе $i = 0$).

Для каждого $t_{FIX(i)}^{REAL}$ определяются достигаемые состояния объектов видеосканнинга, являющиеся ориентирами для последующей модели функционирования железнодорожной станции.

Так как позиционируется разработка физически адекватной информационной модели железнодорожной станции, то значимым признаком объектов принимается атрибут пространственного координированного положения, и существенным является изменение координат объектов за время операции $(t_{FIX(i+1)}^{REAL} - t_{FIX(i)}^{REAL})$. Таким образом, вагоны и локомотивы фиксируются конкретными координатными позициями на путях станции в результате производимой работы сил тяги локомотива и сопротивления движению. Железнодорожный путь, претерпевая эксплуатационные нагрузки от подвижного состава, также может изменить своё положение по причине смещений пути в кривых, расстройстве плана кривых из-за ударов стыках, температурных деформаций и др. Задокументированные состояния всех объектов станции являются контрольными ориентирами для модельных аналогов. Если координаты информационных объектов повторят значения своих прототипов в диапазоне допустимых погрешностей, то физическую модель системы можно признать адекватной реальности.

Однако, как уже отмечалось в данной статье, оценочные значения параметров модельных объектов и их прототипов будут различаться, и в некоторых случаях на значительную величину. Если уравнивающими коэффициентами выводить сопоставляющие фазовые кривые под нулевую невязку значений, то каждая модельная итерация потребует проведения подобной процедуры с постоянно различающимися коэффициентами. Поэтому необходимо определять допустимую зону шифтинга ξ^{MOD} (см. рисунок 2) с параметрами $\lim(\Delta t_{FIX(i)}^{- (+)})$ и $\lim(\Delta f_i^{- (+)})$. Так, для указанного примера с 11 операциями потребуется определить 22 значения предельных отклонений модельных вагонов от экспериментальных позиций положения прототипов. Например, величины $\lim(\Delta t_{FIX(i)}^{- (+)}) = 3$ сек и $\lim(\Delta f_i^{- (+)}) = 2$ м устанавливают, что соответственно время приёма модельного поезда на станцию (операция O_2) может опережать сопоставимое время по эксперименту не более чем на 3 секунды, а положение модельного поезда на пути парка приёма отличается не более чем на 2 м далее по сравнению с эталонным. Важно то, что априори нельзя для модели задавать соответствующие времена и места установки вагонов. Эти параметры должны вычисляться исходя из физики процесса движения вагонов поезда, обладающих заданными характеристиками, и оценки влияния на них различных условий и факторов.

Времена завершения базовых операций являются оценочными позициями сопоставления модельных и реальных состояний объектов. Именно в этих точках модельный процесс накладывается на шаблон прототипа, создавая *среду когерентного сравнения* значений параметров. Основными сопоставляющими величинами являются длительности $t_{FIX(i)}$ операций O_i и положения f_{ij} j -го вагона поезда на станционном пути. Последний параметр определяется расстоянием от некоторой привязочной точки (*fasten punkt*) до достигаемой на момент завершения операции O_i . *Fasten punkt (f-punkt)* устанавливается для каждого станционного пути (например, совпадает с положением предельного столбика, фиксирующего начало полезной длины данного пути).

Постоянное отслеживание модельных процессов и регулярное сравнение с эталоном требуют значительных информационных ресурсов и существенно усложняют общий алгоритм реализации динамической модели. Поэтому переход к дискретной схеме анализа с проверкой сходимости результатов работы имитирующей среды по фиксированным точкам позволит получить эффективный информационный продукт реконструкции физических процессов обслуживания вагонопотоков на железнодорожной станции. Общая сонаправленность, когерентность состояний объектов выражается в узких диапазонах допустимого разброса количественных измерений состояния модельного вагона по сравнению с эталонным за конкретное время.

Таким образом, основным условием верификации модели является когерентность репродуцированных и репродуцируемых процессов, обеспечивающая *эквивифинальность исходов* модели и реальности. Подбор соответствующей обучающей выборки реального эксперимента на базе некоторой железнодорожной станции позволяет настроить модельную реализацию, обеспечивая адекватное воспроизведение состояний объектов инфраструктуры и подвижного состава.

Сложность физических процессов и многогранность факторного влияния окружающей среды не позволяют формировать устойчивые когерентные схемы функционирования модели, которая может быть верифицирована только по основным MR-позициям типового технологического процесса работы железнодорожной станции. При других условиях модель не получает практического подтверждения, и её достоверность оценивается по ряду косвенных признаков экспертного и другого характера.

Таким образом, динамические модели, которые не имеют отражения в реальном образе, формируют *паллиативную репликацию* действительности. Если в когерентных моделях обязательно присутствуют две сопоставляемые структуры: *репликант* (исходная реальная система) и *репликат* (порождённая модельная система), то некогерентные модели монополярны и не имеют связи со своим физическим прототипом. В этом случае нельзя даже

утверждать, что аналог модельного монополярного образа существует, так как неизвестно, насколько корректно воспроизводится физическая реальность в некогерентной модели. Наличие репликата в отрыве от связующего с реальностью репликанта непосредственно указывает на несимметричную конструкцию трудно верифицируемой модели. Таким образом, следует отметить, что большинство формируемых моделей будет представлять собой неполную, *паллиативную репликацию* действительности, у которой достоверность физического продуцирования должна подтверждаться опосредованными способами. Когерентное моделирование формирует множество репликаций, удовлетворяющих условию допустимого отклонения различных модельных состояний объектов от установленного шаблона. Таким образом, прототипному репликанту тождественны несколько модельных генераций железнодорожных станций, незначительно отличающихся друг от друга положением вагонов на станционных путях и временем выполнения технологических операций.

Наиболее сложной задачей является определение меры отклонения состояния реплицирующих объектов от шаблона-репликанта. Тождественность модельных генераций указывает на неразличимость отдельных вариаций состояний объектов в пределах установленных значений $\lim(\Delta t_{FIX(i)}^{-+})$ и $\lim(\Delta f_i^{-+})$. Если необходимо в трехмерной динамической модели железнодорожной станции прототипировать N технологических операций, то с учётом шифтинга потребуется определить $4N \cdot [\lim(\Delta t_{FIX(i)}), \lim(\Delta f_i)]$ значений граничных позиций области ξ^{MOD} , называемых *лимитной матрицей репликата* (M_{REPL}). Лимитная матрица обладает свойством устойчивости, которое позволяет использовать полученные значения M_{REPL} для других реализаций модели при изменении внешних условий в пределах $\pm\Delta\Psi$. Некоторые предварительные исследования указывают на то, что диапазон изменений $\Delta\Psi$ намного шире, чем $\lim(\Delta t_{FIX(i)})$ и $\lim(\Delta f_i)$. Это значит, что большие параметрические вариации внешних условий взаимно компенсируются в процессе функционирования сложной технической системы и в конечном итоге приводят к незначительным колебаниям результирующих состояний объектов.

A. K. GOLOVNICH

COHERENCE OF PROCESSES DYNAMIC MODEL RAILWAY STATION AND PROTOTYPE

The clause investigates the opportunities of authentic modeling dynamic processes at railway station with an estimation of a condition prototyping of objects on some pattern real experiment. A condition of verification model is the convergence of importance a coordinate situation of model and real railway carriage on a station way to the given time. The basic requirements to realization coherence models with isomorphic to a real image.

Получено 10.04.2022

УДК 656.073

И. А. ЕЛОВОЙ, Л. В. ОСИПЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
gkrt@inbox.ru*

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК

Рассмотрены факторы актуальности железнодорожных перевозок в современных условиях, специфика железнодорожного транспорта на постсоветском пространстве. Установлены основные свойства железнодорожного транспорта, влияющие на развитие перевозок грузов. Исследованы перспективы развития железнодорожного транспорта в сфере грузовых перевозок.

Актуальность перевозок грузов железнодорожным транспортом обусловлена следующими факторами:

1) климатическими изменениями на земном шаре, которые приводят к появлению и увеличению форс-мажорных обстоятельств;

2) необходимостью уменьшения выбросов от сгорания топливных ресурсов в окружающую среду, в первую очередь, от тяговых средств автомобильного транспорта, за счет переключения грузовых перевозок на железные дороги;

3) развитием логистики и использованием ее принципов и правил в производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах международного и национального уровней, что позволяет реализовать указанные в пунктах один и два факторы;

4) увеличением расстояний перевозок грузов в связи с глобализацией и интеграцией мировой экономики, в том числе за счет производственных и государственных образований (транснациональных корпораций, союзов и др.);

5) целесообразностью использования эффективных международных и внутригосударственных интер- и мультимодальных схем доставки грузов с учетом преимуществ участвующих в них видов транспорта, в том числе железных дорог.

Специфика железнодорожного транспорта состоит в том, что на пространстве бывшего Советского Союза он представлял собой целостную систему, которая характеризовалась согласованностью действий непосредственных участников транспортного процесса. Данная система в свой состав включала транспорт общего и необщего пользования.

Основная цель железнодорожного транспорта состояла в *полном удовлетворении потребностей народного хозяйства в перевозках грузов* в соответствии с нормальными схемами грузопотоков, утвержденных Госпланом

и Госснабом СССР. При этом деятельность видов транспорта жестко регламентировалась. В частности, автомобильным транспортом общего пользования допускалась перевозка на расстояния до 50 км (в редких случаях до 100 км). С учетом данных условий были построены грузовые дворы на железнодорожном транспорте, которые выполняли необходимые грузовые и коммерческие операции в начально-конечных пунктах, а также при сортировке мелких отправок и контейнеров в пути следования в соответствии с планом формирования вагонов по данным видам отправок. В итоге решались актуальные на современном этапе развития экономики задачи *энергобережения и экологичности на транспорте*.

На местах необщего пользования решалась задача взаимодействия со станциями примыкания на основе единой технологии, которая учитывала особенности производственных процессов и станций железной дороги, принадлежности вагонного парка и маневровых локомотивов, ускорения оборота вагонов за счет сокращения простой на путях необщего пользования, ускорения грузовых операций и совершенствования складской системы хранения грузов. За сверхнормативный простой вагонов железной дороги взыскивался штраф, а те расходы, которые в настоящее время компенсируются за счет платы за пользование инвентарными вагонами, были включены в тариф на перевозку грузов. Причем данная величина была рассчитана исходя из нормативного срока нахождения вагонов на путях необщего пользования.

После распада Советского Союза в Устав железнодорожного транспорта была введена плата за пользование вагонами и отменен штраф за сверхнормативный простой, так как в основу была положена организация доставки грузов без складов, используемая в США и странах Западной Европы (впоследствии в Устав железнодорожного транспорта общего пользования Республики Беларусь дополнительно к плате за пользование вагонами была введена еще неустойка за сверхнормативный простой).

Свойства железнодорожного транспорта состоят в следующем:

1) *экстерриториальность*, определяющая особенности формирования законченной продукции железных дорог, которая измеряется в тонно-километрах. С учетом данного положения выделялись хозяйствующие субъекты. Например, на железнодорожном транспорте России в качестве хозяйствующего субъекта (перевозчика) выступает ОАО «Российские железные дороги». Железнодорожный транспорт ЕАЭС и даже стран СНГ следует рассматривать как единый организм, где должны быть унифицированы (стандартизированы) требования к инфраструктуре, тяговым и перевозочным средствам и другим элементам железнодорожной системы с целью обеспечения эффективности перевозочного процесса на основе единой технологии;

2) корпоративность организации эксплуатационной работы и управления железнодорожными перевозками, основанная:

а) на централизации организации подачи заявок с целью эффективного планирования поездообразования и продвижения поездопотоков с использованием системы рациональных расписаний, обеспечивающей возможность конкурировать перевозчикам различных форм собственности;

б) распределении выручки от перевозок между участниками перевозочного процесса, обеспечения развития научно-технического прогресса (инновационных технологий) на железнодорожном транспорте, объективного обоснования государственной поддержки убыточных объектов или использования государственно-частного партнерства при создании и развитии ограничивающих элементов производственно-транспортных или транспортно-сбытовых систем;

3) существенная неопределенность грузовых, пассажирских, вагоно- и поездопотоков, включая информационные, финансовые и экспедиторские потоки, что связано с экстерриториальностью, сложностью организации эксплуатационной работы и управления элементами железнодорожной системы в условиях круглосуточной работы в различных часовых поясах на пространстве ЕАЭС (СНГ);

4) мобилизационная эффективность железнодорожного транспорта, характеризующаяся его способностью к переброске на значительные расстояния больших объемов техники и людских ресурсов в условиях военных действий, эпидемий и других форс-мажорных обстоятельств;

5) специфичность железнодорожного транспорта, созданная при условии плановой экономики и требующей его реформирования с целью адаптивности к современным условиям функционирования логистических цепей движения ресурсов между элементами производственно-транспортных и транспортно-сбытовых систем. Это даст возможность формировать эффективные интер/мультимодальные схемы доставки грузов с участием железнодорожного транспорта, обеспечивая при этом эффективность и экологичность;

б) особенность подготовки кадров, повышения их квалификации и продвижения по карьерной лестнице, требующая использования единых учебных планов на пространстве СНГ и практико-ориентированной подготовки специалистов для эксплуатационной работы железнодорожного транспорта, их эффективного карьерного роста на основе соответствующих курсов повышения квалификации, а рациональное перемещение по структурным подразделениям с учетом места работы сотрудников на огромной территории вызывает потребность в наличии служебного жилья.

Основные положения развития железнодорожного транспорта во многом зависят от внутренних и внешних экономических факторов конкретного государства, что определяется процессами глобализации мировой экономики, а также от создания различных форм объединения промышленных групп, государств и других факторов. В соответствии с данными положениями

разрабатываются проекты размещения, создаются производственные и сбытовые предприятия и организации, которые в дальнейшем будут служить базой формирования логистических потоков в пределах внутренних и международных производственно-транспортных и транспортно-сбытовых систем. Элементами этих систем являются логистические цепи движения ресурсов, в которых составляющими будут схемы доставки грузов, где участниками могут быть один или несколько видов транспорта.

Выполненные исследования показали, что на начальных стадиях (этапах) сложных логистических производственно-транспортных систем сырьевые ресурсы целесообразно доставлять большими партиями и работать с запасами сырья, а на последних – малыми партиями к определенному моменту времени, что объясняется, например, большим ассортиментом (номенклатурой) комплектующих изделий. В большинстве случаев на начальных звеньях указанных сложных систем следует использовать простые схемы доставки и перевозить сырьевые ресурсы железнодорожным транспортом. В результате определяются требования к перевозочным средствам (вагонам) и технологии доставки таких материальных ресурсов.

I. A. ELOVOY, L. V. OSIPENKO

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF RAILWAY FREIGHT TRANSPORTATION

The factors of relevance of railway transportation in modern conditions, the specifics of railway transport in the post-Soviet space are considered. The main properties of railway transport affecting the development of cargo transportation have been established. The main provisions and prospects for the development of railway transport in the field of freight transportation are determined.

Получено 31.01.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.223.1

И. А. ЕЛОВОЙ, Е. Н. ПОТЫЛКИН

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
gkrt@inbox.ru*

СТРАТЕГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО ВАГОННОГО ПАРКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Рассмотрены вопросы функционирования железнодорожного транспорта Республики Беларусь в современных условиях, которые характеризуются ростом парка частных грузовых вагонов. Определены преимущества и недостатки возможного

перехода от инвентарного парка вагонов к приватным для различных субъектов хозяйствования. Результаты исследования могут быть использованы при разработке стратегии развития железнодорожного транспорта Республики Беларусь на ближайшую перспективу.

Для работы железнодорожного транспорта в современных условиях требуется его совершенствование в сфере техники, технологии, организационного, экономического и правового обеспечения с учетом специфики данного вида транспорта. В работе железнодорожного транспорта Республики Беларусь для достижения эффективности её функционирования следует учитывать различные виды сопряженности слагающих элементов.

1 *Техническая (инфраструктурная) составляющая* с разработкой требований к путевому развитию как мест необщего пользования, так и станций примыкания в условиях наличия и постоянного роста приватного парка вагонов. В частности, при строительстве большинства путей необщего пользования крупных промышленных предприятий в советский период времени простой вагонов под грузовой операцией составлял 24 часа, а в настоящее время – 48–72 часа, что требует увеличения путевого развития.

Приватные вагоны имеют больший порожний пробег по сравнению с вагонами железной дороги, что вызывает потребность в дополнительных технических и перевозочных средствах (пропускной способности, вагонном парке, тяговых средствах и др.). Данные обстоятельства требуют более глубоких исследований, например, оценки дополнительного путевого развития на местах общего и необщего пользования, эффекта от сокращения грузовых операций и уменьшения продолжительности хранения на складах и др. Кроме того, следует определить оптимальную длину путей общего и необщего пользования, приходящуюся на один вагон (например, вагон железной дороги, приватный, совместно железной дороги и приватный) [3].

2 *Технологическая составляющая* с разработкой и использованием единой технологии перевозки и взаимодействия в начально-конечных пунктах, а также в пути следования в местах взаимодействия различных видов транспорта. При этом особая роль отводится единой технологии, связанной с отстоем приватных вагонов как на путях общего, так и необщего пользования. Ее цель – минимизация маневровой работы, рациональное распределение отстоя приватных вагонов между путями необщего пользования и станциями примыкания, специализация путей отстоя как для временного размещения, так и для длительного простоя приватных вагонов.

3 *Организационно-информационно-экономическое обеспечение* функционирования железнодорожного транспорта не только в пределах Республики Беларусь, но и на территории стран СНГ. Ранее существовавшая организационная система железнодорожного транспорта основывалась на общем парке вагонов железных дорог и единой технологии планирования перевозок на базе заявок отправителей грузов, диспетчерском регулировании и организации грузо- и вагонопотоков. При этом затраты по пробегу ва-

гонов в порожнем состоянии были включены в тариф на перевозку грузов и вагоны из-под выгрузки следовали под погрузку на основе диспетчерского регулирования вагонов, наличной информации о местах их нахождения и погрузки грузов и др. Кроме того, провозная плата за перевозку груза взималась централизованно через банковскую систему в безакцептном порядке, что исключало дебиторскую задолженность и обеспечивало своевременность поступления провозных платежей на счет перевозчиков.

Наличие частных вагонов различных государств на пространстве СНГ существенно усложнило систему планирования перевозок на основе заявок отправителей, взаиморасчеты за перевозки, регулирование вагонного парка, тарифную систему и условия перевозок. В результате ряд вышеперечисленных функций выполняется экспедиторскими организациями, что привело к усложнению и удорожанию перевозочного процесса железнодорожного транспорта в пределах СНГ. Это требует разработки новых подходов и совершенствования существующей организационно-информационно-экономической системы управления железнодорожным транспортом, в первую очередь, в рамках ЕАЭС, а впоследствии – в пределах СНГ.

4 *Правовое обеспечение*, предусматривающее создание эффективной нормативно-правовой базы для участников ЕАЭС (СНГ) на основе соглашений (конвенций), регулирующих правовые отношения в пределах нескольких государств. Причем такое обеспечение должно учитывать цифровизацию в экономике и транспортных процессах на железнодорожных путях общего и необщего пользования.

Как известно, целью железнодорожных перевозок является удовлетворение требований хозяйствующих субъектов при перемещении материальных и товарных потоков в логистических цепях движения ресурсов, в том числе посредством участия в интер- и мультимодальных схемах доставки грузов. При этом требования клиентов транспорта будут характеризоваться следующими параметрами:

- 1) наличием необходимых транспортных средств и соответствующей им инфраструктуры;
- 2) приемлемым уровнем провозных платежей, включающих в свой состав тарифы и платы за дополнительно оказываемые услуги;
- 3) продолжительностью доставки грузов из пункта отправления в пункт назначения;
- 4) обеспечением сохранности груза;
- 5) оптимальным уровнем транспортно-экспедиционного обслуживания [1].

Для достижения данной цели в сфере железнодорожных перевозок следует решить следующие задачи.

1 Создание в рамках ЕАЭС и стран СНГ унифицированной системы железнодорожного транспорта и адаптация в ней Белорусской железной доро-

ги с целью формирования эффективных схем доставки с привлечением железных дорог стран СНГ.

2 Совместное планирование на основе заявок отправителей транспортных процессов с привлечением вагонов различных форм собственности и эффективным координированием взаимодействия поставщиков, перевозчиков и потребителей при доставке грузов железнодорожным транспортом. При этом должно создаваться унифицированное высокотехнологическое информационное обеспечение в пределах не только стран ЕАЭС, но и всех стран СНГ.

3 Обеспечение технологического единства транспорта общего и необщего пользования с учетом наличия парка вагонов различных форм собственности.

4 Реализация внутривнутриреспубликанских и международных эффективных схем доставки с привлечением железнодорожного транспорта на основе выбора оптимальной грузовой единицы и типа транспортного средства.

С учетом вышеперечисленных задач следует разрабатывать стратегию формирования вагонного парка и реформирования железнодорожного транспорта. Зарубежный опыт показывает, что реформирование железных дорог в различных странах преследует следующие задачи:

1) уменьшение транспортно-логистических издержек в логистических цепях движения ресурсов;

2) создание конкуренции в сфере железнодорожных перевозок на рынке транспортных услуг, что требует выделения в тарифах вагонной, локомотивной и инфраструктурной составляющих с целью приведения к сравнительной модели автомобильного транспорта с железнодорожным;

3) строительство практически параллельных железнодорожных линий с целью конкуренции частных перевозчиков и др.

Конечной целью рассмотренных вариантов является уменьшение транспортно-логистических издержек в логистических цепях движения ресурсов и выполнение требований отправителей и получателей грузов. Причем два последних пункта являются частными случаями первой задачи. При этом первый из двух последних вариантов основывается на единой инфраструктуре для грузовых и пассажирских перевозок, что обеспечивает ее интенсивную эксплуатацию.

Однако в любом варианте существует общая проблема минимизации прожогого пробега вагонов и их интенсивного использования по причине более низкого коэффициента использования по времени частных вагонов, что требует наличия большего количества таких вагонов и более сложной общей информационной базы с целью слежения за местом нахождения перевозочных средств и их состоянием. Такие обстоятельства создают условия для использования частных вагонов в качестве складов на колесах, а грузоотправитель или грузополучатель возмещает плату за пользование рассматриваемыми вагонами. В результате такого подхода экономия на

складских издержках и погрузочно-разгрузочных операциях может покрывать затраты, связанные с порожним пробегом частных порожних вагонов, их отстоем на путях, улучшением планирования и выполнения заявок грузоотправителей, чтобы частные вагоны, используемые как склад на колесах, могли оказаться в зоне их потребности под погрузку другим грузоотправителям.

Учитывая особенности функционирования железнодорожного транспорта и возникающую потребность в мобилизационных перевозках, целесообразным может оказаться вариант с различными формами собственности, предусматривающий наличие вагонов железной дороги (инвентарного парка) для осуществления вышеуказанных и других перевозок. В результате может повыситься адаптивность железной дороги в условиях конкуренции на рынке не только железнодорожных, но и перевозок другими видами транспорта.

Наличие совместного варианта с вагонами частного и инвентарного парка требует вывода вагонной составляющей из монопольного тарифа железнодорожного транспорта, что дает возможность на равных условиях конкурировать вагонам железной дороги с частными. В результате вагоны частные и железной дороги могут быть использованы как в качестве склада на колесах, так и с учетом требований клиентов в логистических цепях движения ресурсов.

Преимущества и недостатки перехода от инвентарного парка вагонов к частным для Республики Беларусь приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки перевода инвентарного парка вагонов в частный для Республики Беларусь

Преимущества	Недостатки
<p>Пополнение бюджета за счет налогов с прибыли собственника вагонов.</p> <p>Развитие конкуренции на рынке транспортных услуг в пределах ЕАЭС</p>	<p>Отсутствие возможности оперативной организации и осуществления воинских перевозок.</p> <p>Уменьшение возможности по сниженному тарифу осуществлять перевозки низкостоймых грузов.</p> <p>Снижение возможности перевозки узкоспецифичных грузов вследствие нецелесообразности приобретения соответствующего подвижного состава для собственника (тяжеловесные, сверхгабаритные, опасные и т. д.) или очень высокая стоимость их перевозки.</p> <p>Отсутствие соответствующей законодательной базы, регулирующей взаимоотношения всех заинтересованных сторон и регламентирующей действия по обеспечению значимых для государства перевозок.</p> <p>Снижение конкурентоспособности предприятий Республики Беларусь вследствие увеличения стоимости перевозок и увеличения сроков подачи вагонов.</p> <p>Снижение конкурентоспособности конечной продукции вследствие увеличения доли транспортной составляющей в цене</p>

Аналогично в таблице 2 указаны преимущества и недостатки перехода от инвентарного парка вагонов к приватному для Белорусской железной дороги, грузоотправителей, грузополучателей и владельцев приватного подвижного состава.

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие основные выводы.

1 На данном этапе развития железнодорожного транспорта к недостаткам подвижного состава инвентарного парка, по сравнению с приватными вагонами, можно отнести:

- высокий уровень износа, что является причиной наличия довольно частой непригодности в коммерческом отношении вагонов и по этой причине низкого уровня сохранности груза;

- содержание складских площадей из-за необходимости быстрого освобождения вагонов и выполнения грузовых операций через склад грузовладельцев. Это обусловлено наличием достаточно высокой платы за пользование такими вагонами, а также начислением грузовладельцам неустойки за простой подвижного состава 24 часа и более.

2 Среди достоинств вагонов инвентарного парка можно выделить:

- отлаженную систему оперативного планирования перевозок грузов;
- упрощенное документальное оформление следования порожнего подвижного состава инвентарного парка;

- универсальный тип подвижного состава, к которому относится значительная часть инвентарных вагонов, позволяет в большей степени, по сравнению со специализированным вагоном, снижать себестоимость их ремонта и содержания.

3 Инвентарный вагонный парк более мобилен, меньше простаивает в ожидании выполнения начально-конечных операций, по сравнению с парком частных вагонов, по следующим причинам:

- диспетчерскому аппарату предоставлена полная информация о потребности в инвентарном подвижном составе на сети Белорусской железной дороги;

- собственник приватного подвижного состава, как правило, работает с определенным кругом грузовладельцев и оборот его вагона значительно больше из-за порожнего пробега и длительного простоя;

- собственника подвижного состава в большей степени интересует не оборот вагона, а его доходность в единицу времени, которая тесно связана с платой за пользование вагонами [2];

- оплата железнодорожного тарифа груженого (порожнего) вагона по территории различных стран прописывается в контракте на поставку товара. Например, при поставке сырья в Республику Беларусь оплата железнодорожного тарифа груженого рейса вагона по территории других стран осуществляется поставщиком, по территории Республики Беларусь – потребителем сырья, а по транзитным железным дорогам – через экспедитора поставщиком или потребителем.

Таблица 2 – Преимущества и недостатки перехода от инвентарного парка вагонов к частным для субъектов железной дороги

Преимущества	Недостатки
<i>Для перевозчика (Белорусской железной дороги):</i>	
<ul style="list-style-type: none"> – отсутствие затрат на содержание вагонного парка; – отсутствие необходимости в содержании инфраструктуры для ремонта вагонов; – получение прибыли от выполнения ремонтных работ в случае сохранения инфраструктуры для ремонта вагонов; – отсутствие необходимости в содержании штата работников, ответственных за прием и исполнение заявок на перевозку, регулирования вагонного парка 	<ul style="list-style-type: none"> – необходимость развития инфраструктуры для обеспечения отстоя порожних частных вагонов в ожидании заключения договора; – дополнительные риски необеспечения безопасности перевозок вследствие ухудшения качества текущего содержания вагонного парка; – отсутствие централизованного планирования и выполнения плана перевозок и, как следствие, неравномерность загрузки инфраструктуры
<i>Для грузоотправителя, грузополучателя:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> – возможность заключения договора на длительное использование вагона; – возможность выбора оператора вагонов с наименьшей объявленной ставкой на предоставление вагона в рейс 	<ul style="list-style-type: none"> – дополнительные риски необеспечения требуемого объема перевозок вследствие дефицита вагонов; – рыночный механизм формирования цены на использование вагона (рост при дефиците); – необходимость оплаты издержек владельца вагонов, включаемых в стоимость использования; – сложность и большая продолжительность процедуры поиска оператора и заключения договора с владельцем подвижного состава
<i>Для владельца частного парка вагонов:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> – получение прибыли при использовании вагонов, в т. ч. при их нахождении за пределами Республики Беларусь (экспорт услуг); – возможность получения доходов в валюте при заключении договоров на использование вагонов с нерезидентами Республики Беларусь; – рыночный механизм формирования цены на использование вагона (рост при дефиците, снижение при профиците); – заключение максимально выгодных для собственника вагонов договоров 	<ul style="list-style-type: none"> – нерациональное использование вагонного парка; – риски возникновения профицита вагонов; – необходимость содержания и ремонта вагонного парка по рыночным ценам; – оплата порожнего рейса вагона; – оплата отстоя вагонов на инфраструктуре своего и других государств.

4 В процессе организации перевозки грузов в частных вагонах между грузоотправителем и собственником (оператором, распорядителем, арендатором, субарендатором) вагонов заключается договор оказания услуги по предоставлению подвижного состава для осуществления железнодорожных перевозок грузов. Под такими услугами понимается предоставление и обеспечение наличия на станции погрузки пригодных в техническом и коммерческом отношении вагонов, указанных в заявках на перевозку и диспетчерский контроль за продвижением вагонов. Для оказания услуги могут использоваться собственные, арендованные, а также привлеченные на ином законном основании вагоны.

5 Указанные в пункте 4 вагоны, предоставленные под перевозку грузов, используются исключительно по назначению по маршрутам, утвержденным сторонами договора. Обычно запрещается использование подвижного состава для хранения, то есть использования как склада на колесах. В то же время вагоны, принадлежащие предприятию на праве собственности, аренды или другом законном основании, часто используются в качестве склада на колесах. Такой режим эксплуатации подвижного состава может быть обоснован:

- отсутствием свободных складских площадей;
- сокращением грузовой операции, поскольку груз может быть доставлен сразу в производственный цех, минуя склад;
- мобильностью груза в вагоне по сравнению с находящимся в складе.

В условиях неопределенности, когда возникает резкая потребность в материальном ресурсе в определенном месте спроса на него, либо для производства с большим ассортиментом выпускаемой готовой продукции использование склада на колесах является целесообразным, проверенным на практике способом ускорения доставки материальных ресурсов.

6 Грузоотправитель или грузополучатель обеспечивает выполнение грузовых операций с частными вагонами в течение согласованного срока (как правило, не более 3 суток). В случае невыполнения указанного срока за сверхнормативное время нахождения вагонов под грузовыми операциями с грузовладельца взимается неустойка за каждые сутки простоя в пользу собственника (оператора) подвижного состава.

На практике все расходы собственника (оператора) подвижного состава, связанные с перевозкой грузов в его вагонах, компенсируются грузоотправителем или грузополучателем на договорной основе:

- тарифы на перевозку в соответствии с СМГС;
- сборы да дополнительные операции, связанные с перевозкой грузов;
- плата за время нахождения вагонов у грузоотправителей или грузополучателей;

– плата за время нахождения вагонов на путях отстоя, в связи с неприемом вагонов на станции погрузки или железнодорожные пути необщего пользования;

– плата за иные услуги (работы), связанные с перевозкой груза в частных вагонах.

7 В условиях, когда отгрузка произведенной продукции может быть осуществлена в тот же подвижной состав, который использовался при перевозке исходного сырья для предприятия-производителя, в договоре на услуги по предоставлению подвижного состава в пользование указывается, что под погрузку предоставляются вагоны из-под выгрузки на железнодорожном пути необщего пользования грузоотправителя. При этом вагон считается прибывшим под погрузку груза со следующих суток после выгрузки на железнодорожном пути необщего пользования предприятия-производителя.

8 При переходе к частному вагонному парку на Белорусской железной дороге важно иметь определённое количество вагонов для осуществления стратегически важных для государства перевозок (военных, социальных нужд и др.). Доля таких вагонов должна быть обоснована с учетом перспектив и стратегии развития железнодорожного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Еловой, И. А.* Интегрированные логистические системы доставки ресурсов : теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с.

2 *Потылкин, Е. Н.* Выбор режимов взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования / Е. Н. Потылкин // Железнодорожный транспорт: актуальные вопросы и инновации. – 2019. – № 1–2. – С. 28–40.

3 *Потылкин, Е. Н.* Рациональное соотношение частных и инвентарных вагонов на железнодорожных путях необщего пользования / Е. Н. Потылкин // Автомобиле- и тракторостроение : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14–18 мая 2018 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол. : Д. В. Капский [и др.]. – Минск, 2018. – С. 23–26.

I. A. ELOVOY, E. N. POTYLKIN

STRATEGY FOR FORMING A CARGO FLEET OF RAILWAY TRANSPORT OF THE REPUBLIC OF BELARUS

The issues of the functioning of the railway transport of the Republic of Belarus in modern conditions, which are characterized by the growth of the fleet of private freight wagons, are considered. The advantages and disadvantages of a possible transition from an inventory fleet of wagons to private ones for various business entities are determined. The results of the study can be used in the development of a strategy for the development of railway transport in the Republic of Belarus in the near future.

Получено 28.01.2022

УДК 656.224

А. А. ЕРОФЕЕВ

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

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В СИСТЕМЕ СМЕННО-СУТОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Рассмотрен опыт внедрения на Белорусской железной дороге автоматизированной системы сменно-суточного планирования грузовой работы. Сформулирована проблематика применения технологии искусственного интеллекта при решении эксплуатационных задач. Определена структура априорной модели ССП и структура базы знаний системы. Предложено прогнозирование погрузки и выгрузки дороги с использованием алгоритмов машинного обучения, основанных на регрессионном анализе данных. Приведено описание анализируемых массивов, целевой функции, функции качества и алгоритма прогнозирования.

В рамках создания на Белорусской железной дороге интеллектуальной системы управления перевозочным процессом (ИСУПП) разработана и внедрена автоматизированная система сменно-суточного планирования грузовой работы (АС ССП) [1]. Автоматизация с ее помощью процесса поддержки принятия управленческих решений в режиме реального времени и повышение уровня детализации, в первую очередь, вагонной модели позволили отказаться от традиционного способа оперативного планирования погрузки и выгрузки.

Ранее планирование выполнялось на базе экспертных решений, основанных на укрупненной информации о наличии вагонов и грузов, среднестатистических параметрах перевозочного процесса. Всё это не позволяло в полной мере исключить влияние так называемого «человеческого фактора» и добиться улучшения показателей эксплуатации вагонного парка. В результате увеличивался пробег порожних вагонов, тормозилось выполнение заявок на перевозку грузов, замедлялось продвижение грузопотоков, не всегда удавалось согласовывать между собой планы поездной и грузовой работы. Автоматизация задач оперативного планирования грузовой работы позволила решить эти проблемы [2]. Однако точность формируемых в АС ССП планов остается недостаточно высокой (на уровне 80–90 %). Повышение

достоверности планирования может быть достигнуто путем использования в системе технологий искусственного интеллекта.

Интеллектуализация решения задач ССП направлена на оптимизацию использования подвижного состава различных перевозчиков и удовлетворение потребностей клиентов в грузовых перевозках. Априорная модель ССП основана на следующих видах информации:

1 Условно-постоянная информация:

- план формирования грузовых поездов;
- технический план эксплуатационной работы;
- технические ограничения и условия использования инфраструктуры;
- нормативы выполнения технологических операций.

2 Переменная информация:

- актуальный график движения грузовых поездов;
- заявки на погрузку (отправочная модель дороги);
- текущая дислокация и технологическое состояние подвижного состава на дорожном полигоне (вагонная модель полигона);
- оперативные данные о состоянии объектов инфраструктуры (состояние грузовых фронтов, путей станций, вызванные отказами технических средств ограничения;
- результаты эксплуатационной работы за отчетный период;
- заявки соседних железных дорог на передачу поездов и вагонов по стыковым пунктам;
- прогноз состояния тяговых ресурсов в плановом периоде (локомотивная модель работы полигона и функция прогнозирования состояния локомотивов и наличия локомотивных бригад на период планирования).

Функциональную структуру ССП дополняет *база знаний* системы, содержащая плановые и контрольные формы по планированию погрузки и выгрузки, уточняющие расчетные коэффициенты, и *триады базы знаний* (исходные данные – плановые показатели – итоги реализации планов) за все отчетные периоды.

Гибридный решатель эксплуатационных задач (ГБРЭЗ) в АС ССП может быть представлен в виде следующих эксплуатационных задач:

- планирования количественных значений грузовой работы;
- планирования временных значений грузовой работы;
- согласование, корректировка и утверждение ССП.

При ССП одной из задач является объективное определение возможности выполнения грузовых операций с конкретными вагонами, которые находятся в пределах полигона сбора информации. Часто могут наблюдаться ситуации, когда находящийся на более дальнем расстоянии от станции назначения вагон успевают выгрузить в плановые сутки, а находящийся ближе – нет. В связи с этим возникает алеаторная неопределенность исходной для планирования информации.

В целях повышения качества планирования в рамках ИСУПП необходимо предусмотреть модуль прогнозирования, обеспечивающий эффективное определение возможности выполнения операций с вагоном в зависимости от его местонахождения и других значимых параметров эксплуатационной обстановки. Прогнозирование погрузки-выгрузки дороги предлагается выполнять с использованием *алгоритмов машинного обучения, основанных на регрессионном анализе данных.*

Задачей прогнозирования является предсказание числового значения погрузки и выгрузки вагонов на станции S_i по данным о состоянии эксплуатационной обстановки на полигоне управление. Задачей функционирования алгоритма обучения является определение функции $f: R_n \rightarrow R$.

Мера качества P определяется следующими выражениями:

$$\sum |P_{\text{погр}}| = \sum |(U_{\text{п.план}}^i + U_{\text{п.внеплан}}^i) - U_{\text{п.факт}}^i| \rightarrow 0, \quad (1)$$

$$\sum |P_{\text{выгр}}| = \sum |U_{\text{в.план}}^i - U_{\text{в.факт}}^i| \rightarrow 0, \quad (2)$$

где $P_{\text{погр}}$, $P_{\text{выгр}}$ – мера качества соответственно плана погрузки и плана выгрузки; $U_{\text{п.план}}^i$, $U_{\text{п.внеплан}}^i$, $U_{\text{п.факт}}^i$ – соответственно плановое, внеплановое и фактическое значение величины погрузки за период планирования по i -му объекту управления (станции, клиенту), вагонов; $U_{\text{в.план}}^i$, $U_{\text{в.факт}}^i$ – соответственно плановое и фактическое значение величины выгрузки за период планирования по i -му объекту управления (станции, клиенту), вагонов.

Выполнение равенств (1) и (2) обеспечивает минимизацию отклонений суммы плановой и внеплановой погрузки, а также плановой выгрузки от их выполненных значений за плановый период по каждому объекту управления.

Целью является построение модели, которая на основании данных об эксплуатационной обстановке на полигоне $x \in R_n$, определяет множество вагонов, подлежащих погрузке и выгрузке в плановый период $y \in \mathbb{R}$. Результатом линейной регрессии является линейная функция входных данных.

Обозначим y' значение y , предсказанное моделью. Определим результат модели в виде

$$y' = wx, \quad (3)$$

где $w \in \mathbb{R}^n$ – вектор весов параметров, характеризующих эксплуатационную обстановку на полигоне.

Признаки (факторы) x_n , влияющие на план погрузки:

- количество поданных заявок на погрузку в установленный период;
- грузоотправитель;
- груз;
- станция отправления;
- день недели;
- месяц года;
- избыток/недостаток порожних вагонов на полигоне.

Признаки (факторы) x_b , влияющие на план выгрузки:

- станция/участок дислокации отправки;
- станция назначения;
- РПС;
- груз;
- грузополучатель;
- день недели;
- месяц года;
- избыток/недостаток порожних вагонов на полигоне;
- коэффициент загрузки участков на маршруте следования;
- наличие «окон» на маршруте следования от станции или участка дислокации до станции назначения.

Задача прогнозирования значений погрузки и выгрузки имеет следующий вид. Имеется массив информации о выполненных погрузке и выгрузке вагонов за ретроспективный период T , который включает в себя информацию о плановых и фактических значениях показателей и формализованное описание эксплуатационной обстановки на полигоне.

Данный массив разделяется на две части:

- матрица плана с m примерами для оценки качества работы модели;
- матрица плана с m' примерами для обучения модели.

На основании данных о фактически выполненных показателях формируется вектор меток, содержащий правильные значения y для каждого из этих примеров. Для оценки качества модели формируется матрица плана $X_{(test)}$, включающая векторы меток регрессии $y_{(test)}$.

Оценку качества модели предлагается выполнять путем вычисления среднеквадратической ошибки модели на тестовом наборе. Если вектор \bar{y}_{test} содержит предсказания модели на тестовом наборе, то среднеквадратическая ошибка определяется по формуле

$$MSE_{test} = \frac{1}{m} \sum_i (\bar{y}_{test} - y_{test})_i^2. \quad (4)$$

Эта мера ошибки обращается в 0, когда $\bar{y}_{test} = y_{test}$. Кроме того,

$$MSE_{test} = \frac{1}{m} \left\| \bar{y}_{test} - y_{test} \right\|_2^2. \quad (5)$$

Поэтому ошибка тем больше, чем больше евклидово расстояние между предсказаниями и метками.

Требуется разработать алгоритм машинного обучения, который улучшает веса w таким образом, что MSE_{test} уменьшается по мере того, как алгоритм получает новый опыт, наблюдая обучающий набор (X_{train}, y_{train}) , т. е. минимизировать среднеквадратическую ошибку на обучающем наборе MSE_{train} .

Для минимизации MSE_{train} необходимо приравнять градиент нулю и решить получившееся уравнение (т. е. получить нормальное уравнение):

$$\begin{aligned}
 \nabla_w MSE_{train} &= 0, \\
 \Rightarrow \nabla_w \frac{1}{m} \left\| \bar{y}_{train} - y_{train} \right\|_2^2 &= 0, \\
 \Rightarrow \nabla_w \frac{1}{m} \left\| X_{train} w - y_{train} \right\|_2^2 &= 0, \tag{6} \\
 \Rightarrow \nabla_w (X_{train} w - y_{train})^T (X_{train} w - y_{train}) &= 0, \\
 \Rightarrow \nabla_w (w^T X_{train}^T X_{train} w - 2w^T X_{train}^T y_{train} + y_{train}^T y_{train}) &= 0, \\
 \Rightarrow 2(X_{train}^T X_{train} w - X_{train}^T y_{train}) &= 0, \\
 \Rightarrow w = (X_{train}^T X_{train})^{-1} X_{train}^T y_{train}.
 \end{aligned}$$

При использовании алгоритма машинного обучения формируется обучающий набор, который используется для минимизации ошибки обучения, а также тестовый набор для оценки качества обучений.

Качество работы алгоритма машинного обучения можно определить следующим образом:

- 1) сделать ошибку обучения как можно меньше;
- 2) сократить разрыв между ошибками обучения и тестирования.

Повышение качества модели прогнозирования может быть достигнуто за счет оптимизации емкости модели. Недостаточная емкость приводит к недообучению, и модель не позволяет получить достаточно малую ошибку на обучающем наборе. Избыточная емкость приводит к переобучению, когда разрыв между ошибками обучения и тестирования слишком велик (рисунок 1).

В ИСУПП предлагается применять следующие ключевые способы управления емкостью модели:

- модификация числа признаков с одновременным добавлением ассоциированных с этими признаками параметров;
- определение семейства функций, из которого можно выбирать алгоритм обучения в процессе варьирования параметров (репрезентативная емкость модели);
- управление величиной обучающей и тестовой выборки.

Количественное выражение емкости модели предлагается оценивать при помощи размерности Вапника – Червоненкиса (VC-размерность), измеряющей емкость бинарного классификатора [3].

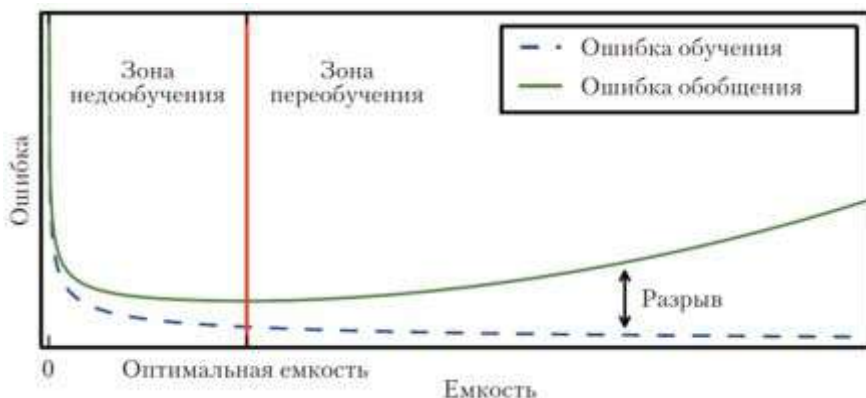


Рисунок 1 – Связь между емкостью модели и ошибкой

VC-размерность определяется как наибольшее возможное значение m , такое, что существует обучающий набор m разных точек x , которые классификатор может пометить произвольным образом.

Так как ошибка обобщения измеряется посредством MSE , а увеличение емкости влечет за собой повышение дисперсии и снижение смещения, то оценку оптимальной емкости модели предлагается производить путем перекрестной проверки смещения и дисперсии. В этом случае смещение измеряет ожидаемое отклонение от истинного значения функции или параметра, а дисперсия – это мера отклонения от ожидаемого значения оценки в произвольной выборке данных.

Среднеквадратическая ошибка (MSE) обеих оценок вычисляется по формуле

$$MSE = E[(\Theta_m' - \Theta)^2] = Bias(\Theta_m')^2 + Var(\Theta_m') . \quad (7)$$

При обучении больших моделей, репрезентативная емкость которых достаточна для переобучения, возможны случаи, когда ошибка обучения монотонно убывает со временем, а ошибка на контрольном наборе снова начинает расти. Следовательно, модель с более низкой ошибкой на контрольном наборе можно получить путем возврата к тем значениям параметров, которые существовали на момент наименьшей ошибки. В таких случаях предлагается использовать стратегию ранней остановки [4].

Каждый раз, когда ошибка на контрольном наборе улучшается, копия параметров модели сохраняется. Когда алгоритм обучения завершается, возвращаются не последние параметры, а те, которые имеют наименьшие ошибки. Алгоритм обучения следует остановить, когда на протяжении заранее заданного числа итераций не удастся улучшить параметры, по сравнению с наилучшими, запомненными ранее.

При такой постановке задачи обучения количество итераций, при которых не удастся улучшить решение, следует рассматривать как гиперпараметр модели (его использование позволяет управлять емкостью модели).

На основании накопленных с АС СПП данных о прогнозных и фактических значениях погрузки и выгрузки за 2019–2020 гг. установлено, что минимальная среднеквадратическая ошибка наблюдается при величине выборки от 50 до 70 предшествующих плановому периоду суток и составляет от 3 до 7 % прогнозируемой величины.

Дополнение обучающей выборки данными за аналогичный месяц предыдущего года увеличивает обучающую выборку до 80–100 значений. При этом *MSE* снижается до 2,5–5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Ерофеев, А. А.* Разработка интеллектуальной системы управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге / А. А. Ерофеев, О. А. Терещенко, В. В. Лавицкий // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 6. – С. 74–77.

2 *Ерофеев, А. А.* Автоматизация оперативного планирования грузовой работы / А. А. Ерофеев, П. М. Дулуб, О. А. Терещенко // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 7. – С. 11.

3 *Hastie, T.* Chapter 7.9. Vapnik – Chervonenkis Dimension / Т. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman // The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. – 2nd ed. – Springer-Verlag, 2009. – 746 p.

4 *Гудфеллоу, Я.* Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджо, А. Курвилль ; пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М. : ДМК Пресс, 2018. – 652 с.

A. A. EROFEEV

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR SOLVING OPERATIONAL PROBLEMS IN THE SYSTEM OF DAILY SHIFT PLANNING OF CARGO WORK RAILWAY STATION

The experience of introducing an automated system of shift-daily planning of cargo work on the Belarusian railway is considered. The problems of using artificial intelligence technology in solving operational problems are formulated. The structure of the a priori model of the SDP and the structure of the knowledge base of the system are determined. It is proposed to predict the loading and unloading of the road using machine learning algorithms based on data regression analysis. The descriptions of the analyzed arrays, the objective function, the quality function and the prediction algorithm are given.

Получено 01.12.2022

УДК 656.21

А. Н. ИВАНКОВ

ООО «ПСК ТЕХПРОЕКТ», г. Москва

aivankov@yandex.ru

М. В. ЧЕТЧУЕВ

*Петербургский государственный университет путей сообщения Импера-
тора Александра I, г. Санкт-Петербург*

mts@pgups.ru

ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ НОРМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ПУТЕЙ ДЛЯ ПРИЁМА И ОТПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДОВ В ПАРКАХ ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Приведены общие сведения о влиянии точности расчёта числа путей для приёма и отправления поездов на проектирование, строительство и последующую эксплуатацию технических станций. Представлены результаты анализа отменённых и действующих нормативных документов в части определения потребного числа путей на технических станциях. Выявлены основные недостатки рассмотренных норм и обоснованы потребности в их пересмотре. Изложены сведения о выполненной работе по актуализации действующих норм и полученных результатах.

Рациональность организации поездной работы на железнодорожных участках и эффективность использования их пропускных и провозных мощностей во многом определяется возможностями ограничивающих их технических станций [1]. В свою очередь, уровень пропускной и перерабатывающей способности участковых и сортировочных станций зависит от большого количества и сочетания различных технических и технологических параметров: числа приёмоотправочных и сортировочных путей, мощности используемых сортировочных устройств, количества маневровых локомотивов, числа работников в пунктах технического обслуживания и коммерческого осмотра [2, 3]. Анализ отменённых и действующих нормативных документов в области проектирования железнодорожных станций [4–7] показал, что отдельного внимания заслуживают следующие параметры:

- количество путей в приёмоотправочных парках участковых станций и транзитных парках сортировочных станций;
- количество путей в парках приёма и отправления сортировочных станций.

С одной стороны, наличие избыточного числа указанных путей неизбежно связано с дополнительными трудностями и финансовыми затратами.

На этапе проектирования под перспективное строительство станции требуется отводить большую площадь. Само строительство станции потребует дополнительных капитальных вложений на подготовку территории строительства, возведение земляного полотна, укладку верхнего строения пути, электрификацию путей и устройство других элементов железнодорожной инфраструктуры. При эксплуатации станции избыточные пути и сопутствующая им инфраструктура будут приводить к дополнительным затратам, связанным с их содержанием.

С другой стороны, нехватка путей для приёма и отправления поездов существенно ограничит пропускную и перерабатывающую способность самих станций, что неизбежно негативно отразится на количестве грузовых поездов, следующих по примыкающим к ним участкам. Часть поездов придётся «отставлять от движения» на подходах к техническим станциям по неприёму, что, в свою очередь, также вызовет рост соответствующих эксплуатационных расходов.

Начиная с Инструкции по проектированию станций и узлов на железных дорогах СССР [4] нормативное обоснование потребного количества путей для приёма и отправления поездов в парках технических станций осуществлялось с использованием специальных таблиц. Основой для формирования приведённых в [4] таблиц определения потребного путевого развития послужило моделирование, выполненное профессором Архангельским Е. В.

В последующем содержащиеся в [4] таблицы для определения потребного числа путей для приёма и отправления поездов в парках технических станций были трансформированы и опубликованы в более поздних нормативных документах [5, 6], включая действующий свод правил «Станционные здания, строения и сооружения» [7]. Требования к потребному путевому развитию участковых и сортировочных станций согласно [7] приведены в таблицах 1–3.

Изменения в части указаний по использованию рассматриваемых таблиц с развитием нормативной базы прослеживаются, однако их не следует считать принципиальными. Вместе с этим важно учесть, что за прошедшее с момента издания [4] время неоднократно менялись составность грузовых поездов, порядок и нормы закрепления вагонов, нормы времени на техническое обслуживание и другие факторы, существенно влияющие на продолжительность занятия путей в парках. Кроме этого, к таблице по определению числа путей в парке приёма сортировочной станции (см. таблицу 2) имеются и другие вопросы. В частности, в данной таблице использованы два параметра (загрузка горки и размер поездопотока), имеющие корреляционную связь, ввиду чего одновременно их рассматривать в функции определения потребного путевого развития не корректно.

Таблица 1 – Число приемоотправочных путей участковой станции в зависимости от числа грузовых поездов на направлении

Расчетное число грузовых поездов в сутки	Число приемоотправочных путей (без главных и ходовых путей) на участковых станциях
До 12	1
13–24	1–2
25–36	2–3
37–48	3–4
49–60	4–5
61–72	5–6
73–84	6–7
85–96	7–8
97–108	8–9
109–120	9–10
121–132	10–11

Таблица 2 – Число путей в парках приема сортировочной станции в зависимости от пропускной способности и загрузки горки

Расчетное число грузовых поездов (с учетом угловых передач) в сутки	Число путей (без ходовых и вытяжных) в парках приема сортировочных станций при загрузке сортировочной горки до		
	70 %	85 %	95 %
До 36	3	4	5
37–48	3–4	4–5	4–5
49–60	4–5	5–6	5–6
61–72	5	6	6–7
73–84	5–6	6–7	7–8
85–96	6–7	7–8	8–9
97–108	7	8–9	9–10
109–120	7–9	9–10	10–11
121–132	8–9	10–11	11–12

Таблица 3 – Число путей в парках сортировочных станций и в приемоотправочных парках участковых станций

Расчетное число грузовых поездов в сутки	Число путей (без ходовых и вытяжных) в парках отправления или транзитных сортировочных станций и приемоотправочных парках участковых станций при смене локомотивов и их резерве в размере		
	5 %	15 %	25 %
До 36	5–7	4–5	4–5
37–48	7–8	5–6	5
49–60	8–9	6–7	5–6
61–72	9–10	7–8	6–7
73–84	10–11	8–9	7–8
85–96	11–12	9–10	8–9
97–108	12–13	10–11	9–10
109–120	13–14	11–12	10
121–132	14–15	12–13	10–11
133–144	15–17	13	11–12
145–156	17–18	13–14	12–13

Из изложенного можно заключить, что на данный момент положения действующих норм по определению рассматриваемого путевого развития не соответствуют реальным условиям работы технических станций и требуют пересмотра.

В настоящее время рабочей группой из специалистов высших учебных заведений, проектных и научно-исследовательских институтов, во главе с Петербургским государственным университетом путей сообщения Императора Александра I проводится работа по актуализации норм и положений СП 119.13330 Железные дороги колеи 1520 мм. В рамках проводимых работ сделаны предложения по отмене требований в части определения путевого развития парков для приёма и отправления поездов на технических станциях, регламентируемых СП 225.1326000.2014 и внесении новых требований в актуализируемый СП 119.13330.

Поскольку потребное число путей в рассматриваемых парках определяется не только базовыми технико-технологическими параметрами, но и другими обстоятельствами [8], в частности, конфигурацией путевого развития железнодорожной станции, заключение о потребном количестве путей для приёма и отправления поездов на технических станциях на стадии разработки проектной документации регламентируется устанавливать с использованием имитационного или графо-аналитического моделирования [9].

На предпроектной стадии (предпроектные проработки, обоснование инвестиций, основные проектные решения и др.) в согласовываемую версию СП 119.13330 внесены допуски о возможности использования таблиц для определения потребного путевого развития. Регламентируемые таблицами значения были пересмотрены и изменены на основе выполненного в рамках подготовки СП 119.13330 графо-аналитического моделирования. В процессе выполнения графо-аналитического моделирования была установлена целесообразность изменения расчётного шага в количестве поступающих грузовых поездов с 12 (по действующим нормам) до 10.

Актуализированные нормы определения потребного количества путей для приёма и отправления поездов в парках технических станций приведены в таблицах 4–6.

Таблица 4 – Число приемоотправочных путей для грузовых поездов на участковых станциях (без смены локомотивов)

Расчетное число грузовых поездов соответствующего направления в сутки	Число приемоотправочных путей (без главных и ходовых путей) на участковых станциях для направления
До 10	1–2
11–20	2–4
21–30	4–6
31–40	5–7

Окончание таблицы 4

Расчетное число грузовых поездов соответствующего направления в сутки	Число приемоотправочных путей (без главных и ходовых путей) на участковых станциях для направления
41–50	7–8
51–60	8–9
61–70	9–10
71–80	10–11
81–90	11–12

Таблица 5 – Число путей в парках приёма сортировочных станций

Расчетное число грузовых поездов (с учетом угловых и других передач) в сутки	Число путей (без ходовых и вытяжных) в парках приема сортировочных станций
До 10	2–3
11–20	3–4
21–30	4–5
31–40	5–7
41–50	7–8
51–60	8–10
61–70	10–11
71–80	11–12
81–90	12–13

Таблица 6 – Число приемоотправочных путей для грузовых поездов на участковых станциях (со сменой локомотивов), число путей в парках отправления и приемоотправочных (транзитных) сортировочных станций

Расчетное число грузовых поездов в сутки	Число путей (без ходовых и вытяжных) в парках отправления или транзитных сортировочных станций, в приемоотправочных парках участковых станций при смене локомотивов
До 10	3–4
11–20	4–5
21–30	5–7
31–40	7–8
41–50	8–10
51–60	10–11
61–70	11–13
71–80	13–15
81–90	15–16

В настоящее время проект СП 119.13330 проходит согласование и в случае его утверждения приведённые в таблицах 4–6 данные примут статус официальных норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Chetchuev, M.* Features in Calculating the Operating Standards Non-linearly Related to the Station Activity Size. Lecture Notes in Networks and Systems this link is disabled / М. Chetchuev, V. Kostenko, N. Okulov. – 2022, 402 LNNS. – S. 906–914.

2 *Иванкова, Л. Н.* Развитие методов оптимизации технических и технологических параметров железнодорожных станций : [монография] / Л. Н. Иванкова, А. Н. Иванов, С. С. Котельников. – М. : Ай Пи Ар Медиа, 2020. – 107 с.

3 *Рыбин, П. К.* Особенности развития припортовых железнодорожных узлов: оптимизация инфраструктурных решений и технология взаимодействия видов транспорта / П. К. Рыбин, М. В. Четчуев // Бюллетень Ученого совета АО «ИЭРТ». – М. : Институт экономики и развития транспорта, 2022. – № 7. – С. 68–71.

4 Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР (ВСН 56-78) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://files.stroyinf.ru/Data1/5/5672/index.htm>. – Дата доступа : 10.09.2022.

5 Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм (СТН Ц-01-95) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200032134>. – Дата доступа : 10.09.2022.

6 Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм (ЦД-858) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200065511>. – Дата доступа : 10.09.2022.

7 СП 225.1326000.2014. Станционные здания, сооружения и устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200120203>. – Дата доступа : 10.09.2022.

8 *Костенко, В. В.* О внесении изменений в расчётные формулы потребного числа приёмоправочных путей в парках технических станций / В. В. Костенко, Д. Е. Богданович. – 2021. – Вып. 1. – С. 16–24.

9 *Четчуев, М. В.* Обоснование этапности развития горловин железнодорожных станций: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / М. В. Четчуев. – СПб., – 2012. – 176 с.

A. N. IVANKOV, M. V. CHETCHUEV

UPDATING THE CURRENT REGULATIONS FOR DETERMINING THE NUMBER OF TRACKS FOR RECEPTION AND DEPARTURE OF TRAINS IN THE PARKS OF TECHNICAL STATIONS

The article provides general information about the influence of the accuracy of calculating the number of tracks for receiving and departing trains on the design, construction and subsequent operation of technical stations. The results of the analysis of the canceled and current regulatory documents in terms of determining the required number of tracks at technical stations are presented. The main shortcomings of the considered norms are revealed and the need for their revision is substantiated. The final part contains information about the work done to update the existing norms and the results obtained.

Получено 22.09.2022

УДК 654.6.4

LIU KANG-NI,
Guangzhou Railway polytechnic, Chinese People's Republic

STOP FEATURE ANALYSIS OF GUANGZHOU – ZHUHAI INTERCITY RAILWAY BASED ON PASSENGER FLOW

This paper analyzes the dwelling regulation of Chinese representative intercity railway, Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway. In order to study the needs of stop schedule plan, the cluster analysis method is used to calibrate the class of stations according to passenger flow. Combined with a given passenger flow demand, the relationship between the class and stopping trains of station, originating-ending passenger trains, and the train dwelling regulation of different grade trains, such as the number of stops, stop ratio and stop distance, association between station class and service trains were analyzed systematically. It is show that there are obvious hierarchy features in current intercity railway stop schedule: The distribution of Guangzhou – Zhuhai train passages is provided with a master- more deputy structure, the train service amount successively decreases according to station grade and the originating-destination passenger trains focus on the stations of high class. Train service frequency between the stations is closely relate to OD passenger flow, the long-distance trains operate in the Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway between Guangzhou and Zhuhai makes the passenger flow along the way obtains higher train service to Guangzhou South.

Operating trains according to passenger flow is the basic principle for formulating a railway passenger train plan, and the distribution of passenger flow is a decisive factor in determining the operation and stops of trains [1]. The relationship between passenger flow distribution and the number of service trains is more complicated, due to the huge number of combinations of departure and destination stations and stations and stops of trains. In western Europe and Japan, generally the number of stop stations is regard as an important feature of high-speed trains. It is a commonly used method to determine the starting and ending points and stops of trains according to the distribution law of OD passenger flow.

In China, it has a rich practical experience in passenger station classification for existing railway, and the division criteria have been scientifically tested and tested to be of high scientificity and rationality. There are many classification and types of trains, and there is a relatively clear corresponding relationship between train level and stop station level.

In contrast, the high-speed railway station ranks are generally higher, the discrimination is not obvious, and the train types are relatively single. Therefore, the correspondence between the high-speed railway train service frequency and the passenger flow distribution needs to be further clarified.

Domestic and foreign scholars have conducted a lot of research on the laws of railway passenger flow, the operation plan of high-speed railway trains and the setting of train stops. In terms of passenger flow analysis, Suh SD [2] studied the Korean high-speed railway (KTX) to verify that the quality of transport services has a great impact on passenger travel behavior; Bingyu Feng [3] used gray neural network technology to study the trend of passenger flow. Ma Yanxiang [4] studied the periodicity, trend and stability of short-term passenger flow in railways, and obtained the rule that the short-term passenger flow of the railway is generally stable and cyclically changes in units of weeks.

In the high-speed railway train operation plan and parking station setting optimization, Chang Yh., Niu Hm. studied the train operation plan and map problem under the preset stop station scheme respectively [5, 6]. Xu Ruihua [7] combined the determination of the stop station with the passenger flow of the train. The method determines the train stop plan adopted the passenger flow merger and according to the passenger flow. Li Dewei [8] established the optimization model of the high-speed railway train stop plan based on the station train service. Deng Lianbo [9] constructed a two-level planning model for the passenger train stops based on the relationship between the number of service trains and passenger flow choices.

It has become the consensus of researchers to formulate the train operation plan based on the passenger flow law. However, in general, the relationship between the train service frequency and passenger flow of China's high-speed railways needs to be further discussed. The research on the high-speed railway train operation plan and stop station setting optimization needs to be supported by relevant operation practice laws. The intercity railway has facilitated interconnection and commuting due to its "public transit" operating mode.

This paper takes the actual train operation plan of Guangzhou – Zhuhai intercity railway, a most representative intercity railway in China, as the research object, and research on the train dwelling regulation. Using the agglomeration clustering method, the Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway station is classified according to the passenger flow. The analysis of the train dwelling regulation mainly includes the matching relationship between the number of parked trains, station class, the number of train stops, the train level, the number of trains per passenger flow OD and the OD passenger flow demand. Based on the above analysis, this paper summarizes the stop station setting regular intercity railway.

Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway is an inter-city railway connecting Guangzhou and Zhuhai in Guangdong Province of China. It runs from north to south. It is the south end of Beijing Harbin – Beijing Hong Kong Macao channel of China's "eight vertical and eight horizontal" high-speed railway network. It is also one of the main lines of the inter-city rapid rail transit in the Pearl River Delta. Guangzhou – Zhuhai intercity railway is distributed in the shape of Chinese characters "human" (figure 1).

The total length of Guangzhou South Railway Station to Zhuhai Station is 116 km, it is the main line. And the length of branch line, Xiaolan Station to Xinhui Station, is 27 km, also it connects the Jiangmen – Maoming high-speed railway. So, cross-line passenger flow is considered in the passenger flow analysis.

This article selects the train operation diagram on 5th November, 2019 as an example. There are 222 trains run in Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway, including 126 trains on this line, all of which are intercity trains (speed 250 km/h) starting with "C"; and 96 trains across the line. Among them, there are 82 Medium-speed trains (250 km/h) starting with "D", and 14 high-speed trains (350 km/h) starting with "G". The Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway has a total of 22 stations and 20 have been opened. There are 17 stations in the main line (Guangzhou South – Zhuhai) and 3 stations in the branch line (Xiaolan – Xinhui). Among them, there are 3 departure stations namely Guangzhou South Station, Zhuhai Railway Station and Xinhui Station, and the other 17 stations are intermediate stations.

According to the passenger volume, freight volume and technical operation volume, the existing railway stations in China are divided into six grades: special grade, first to fifth grade. But the grades and discrimination of high-speed railway stations are not obvious. Therefore, the cluster analysis method is used to calibrate the station class according to the passenger flow demand situation, and the station passenger traffic is selected as the clustering index, and the passenger traffic Q_k of the station "k" is the sum of the sending and arriving passenger traffic:

$$Q_k = \sum_{i=1}^H f(i, k) + \sum_{j=1}^H f(k, j), \quad (1)$$

where $f(i, k)$, $f(k, j)$ are the passenger flow from station "i" to station "k" and from station "k" to station "j" respectively $i, j = 1, 2, \dots, H$, H is the number of stations. Taking the average daily passenger flow as the reference data, the average daily passenger flow of the stations of Guangzhou – Zhuhai intercity railway from October 15 to November 15, 2019 is shown in figure 2.



Figure 1 – The map of Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway

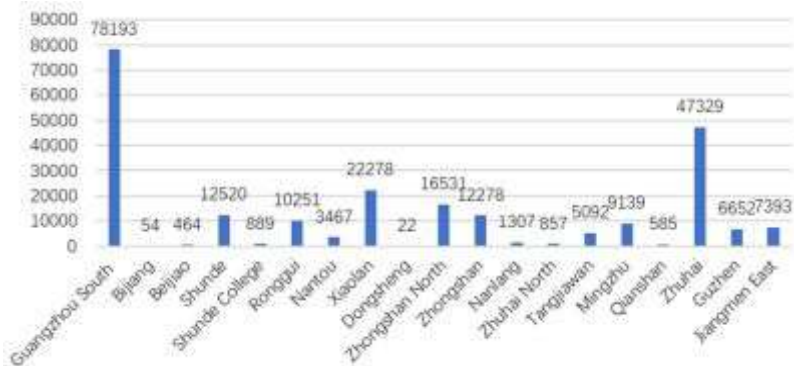


Figure 2 – The average daily passenger flow of stations

Using software "SPSS" to classify stations by agglomerative clustering Analysis (CA). The idea is to first cluster each station as a single cluster, and then merge the two closest data objects each time to cluster until all objects are merged into one class or stop clustering when a certain termination condition is reached. The similarity is calculated using the square Euclidian distance, and the distance between the classes is converted to a value between 1 and 25. The clustering process tree diagram of the Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway Station is shown in figure 3.

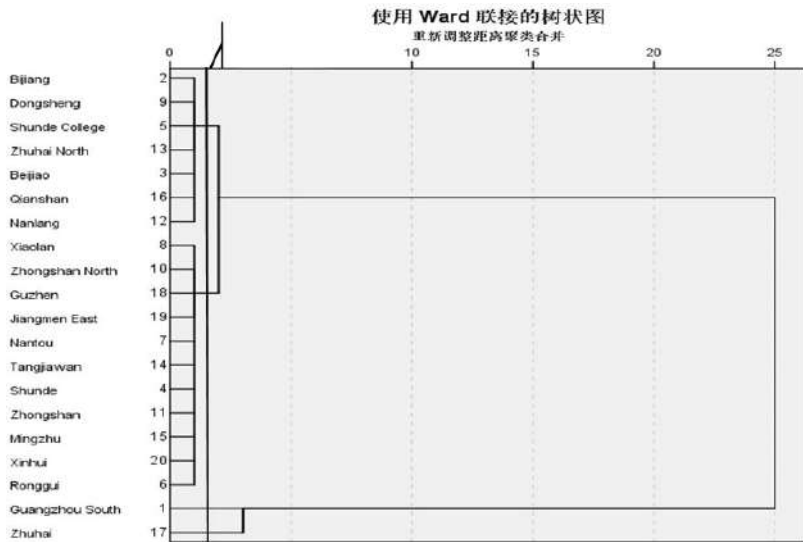


Figure 3 – The clustering process tree diagram

Setting the termination condition as group distance $\geq 1,56$, and divide 20 stations of the whole line into 4 classes, as shown in table 1.

Table 1 – Station class division table

Station class	Stations
First class	Guangzhou south
Second class	Zhuhai
Third class	Ronggui, Xinhui, Mingzhu, Zhongshan, Shunde, Tangjiawan, Nantou, Jiangmen-east, Guzhen, Zhongshanbei, Xiaolan
Fourth class	Nanlang, Qianshan, Beijiao, Zhuhai north, Shunde college, Dongshen, Bijiang

Table 2 shows the average daily passenger flow of all classes of stations of Guangzhou-Zhuhai intercity railway. It can be seen that the passenger flow of each level has obvious differences, which shows the effectiveness of station clustering.

Table 2 – The average daily passenger flow of each stations class

Unit: person. time

Station class	First class	Second class	Third class	Fourth class
Average Passenger flow	78193	47329	3947	360

The trains of the station providing boarding and landing for passengers include the departure and arrival trains and parking trains. The number of service trains in the station reflects the passenger flow service level of the station. The train service status of each station of the Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway is shown in figure 4.

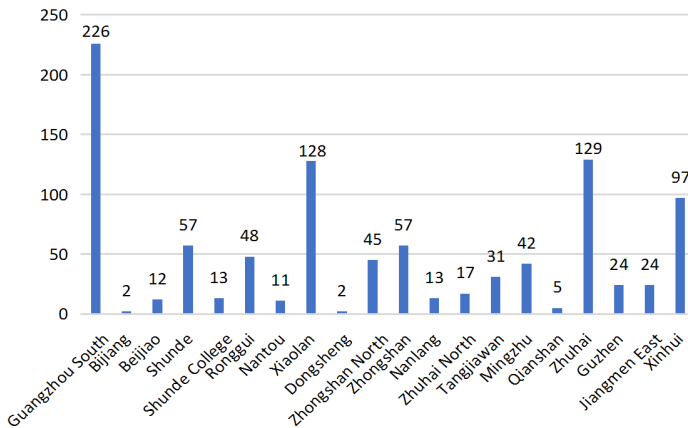


Figure 4 – Train service frequency of each station

As can be seen from the figure, the "C" prefix trains at each station are far more than the "D" and "G" prefix trains. The total number of train services at each station is also significantly different and has a significant hierarchy.

The distribution of departure and arrival trains of Guangzhou-Zhuhai intercity railway is shown in figure 5.



Figure 5 – Frequency of departure trains

There are only three stations, Guangzhou South, Zhuhai and Xinhui, which have set up departure and arrival trains. Among which 58 % are from Guangzhou south, 41 % are from Zhuhai and only 1 % are from Xinhui. It can be seen that the starting trains of Guangzhou Zhuhai intercity are mainly set in Guangzhou south railway station, and the branch line from Guangzhou south railway station to Xinhui railway station is extended to Yangjiang station of Jiangmen – Maoming

High Speed Railway, so most of the trains start and end at Yangjiang station, where the starting and end ratio of Xinhui station is low.

The relationship between the passenger flow of the Guangzhou – Zhuhai intercity railway and the train service frequency is shown in figure 6.

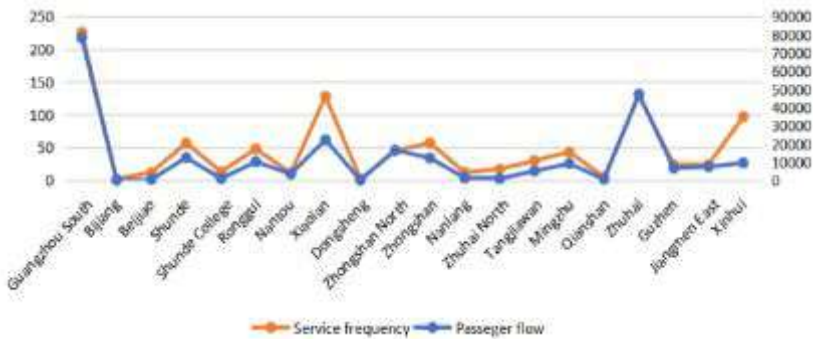


Figure 6 – Combination diagram of train frequency and passenger flow

From the figure, it can be seen that the train service frequency is closely related to the station passenger flow, the station with a large number of passenger flow volume has a large service frequency. For example, the train service frequencies of Guangzhou South and Zhuhai are more prominent, which classified in first class and second class, while the service frequencies of the third class stations Xiaolan and Xinhui Station are similar, closely following Zhuhai Station. The remaining third class stations are significantly lower than the above-mentioned high-grade stations, but higher than the fourth-class stations.

The station service frequency shows the busy degree of the station, and

also reflects the grade of the station to a certain extent. Based on the above classification of each station on Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway, the average service frequency and passenger flow of nodes at different levels are compared, as shown in table 3.

Table 3 – Comparison of passenger flow and train service frequency

Station Class	Passenger flow of node	"C" train	"D" train	"G" train	Originating train
First class	78193	127	83	16	93
Second class	47329	96	23	10	65
Third class	10474	40	17	4	2
Fourth class	597	9	1	1	0
Sum	136593	272	124	31	160

Furthermore, the analysis of the average service frequency, originating trains frequency and stopping trains frequency of the different grade trains of each class station, is shown in figure 7.



Figure 7 – The structure of the service trains for all station classes

As we can see "C"-rank trains services mainly in the stations of first class and second class , which service frequency are respectively account for 46,64 % and 35,26 % of all "C"-rank trains; "D"-rank trains mainly service the stations of first class, reached 66,94 %; "G"-rank trains also mainly service the stations of first class, reached 51,61 %. At the same time, the highest frequency of the originating train is the trains of first class and second class, respectively accounted for 58,13 % and 40,63 % of all departing train, however the lower nodes such as fourth class without originating train, which is corresponding to station status of passenger demand.

Through figure 8, "C"- rank trains in the station at all classes occupy the main body status, the proportion of the "C"-rank trains to the total number of trains are over 56,19 %, the fourth class is even reached 81,82 %. It shows that Guangzhou

– Zhuhai Intercity Railway mainly operates intercity trains starting with "C", "D" medium-speed trains and "G" high-speed trains are cross line trains with few stops.

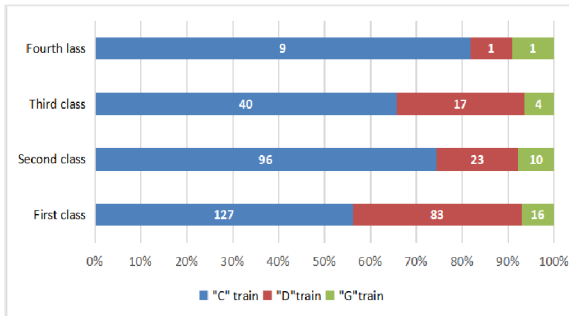


Figure 8 – The structure of service trains for all classes stations

passengers. Intermediate stations with less passenger flow mainly rely on the parking trains to transport passengers. The greater the number of train stops, the more convenient it is for passengers to board and land. However, stopping too many stations on the way will reduce the travel speed and lose the significance of high-speed for high-speed train, even extend the travel time of passengers who not to get on the train. Therefore, the setting of train stops should not only consider the convenience of passengers' travel, but also must not reduce the travel speed of the train too much, so as to avoid increasing the travel time of passengers. In addition, different train stopping schemes will attract different passenger flows, which will affect the congestion and comfort of passengers on the train.

Figure 9 is a pie chart of the distribution of departure trains at each station's class. The first class account for 58 %, the second class account for 41 %, and the fourth class have no departure trains. It can be seen that the departure and terminal stations are basically set at high-level nodes.

Train stop is mainly to meet the needs of Midway



Figure 9 – The pie chart of the distribution of originating trains

Every level train dwelling regulation are analyzed below from two aspects: the number and the distance of stopping stations.

Guangzhou Zhuhai Intercity Railway operates 222 trains a day, including 14 high-speed ("G") trains, 82 medium speed ("D") trains and 126 intercity ("C") trains. The statistics of the number of stops of three classes of trains are shown in table 4.

Due to the "G" and "D" trains are cross line trains, they are run a short section

of the Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway. As can be seen in table 4, the number of stops for medium-speed "D" trains at 250 km/h and high-speed "G" trains at 300 km/h is concentrated at 2–3 stations, and there is no case of stopping at more than 6. And the stops are all in the overlapping section of the line.

Table 4 – Operated trains distributing in different stop stations

Number of stops	2	3	4	5	6	7	8	9	Total trains
"C"train	0	2	14	40	42	18	8	2	126
"D"train	42	34	6	0	0	0	0	0	82
"G"train	5	9	0	1	0	0	0	0	14

Therefore, only "C" trains of Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway are examined here. As can be seen from the table 4, the maximum number of stops is 9 stops. The Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway has 17 stations on the main line and 11 stations on the branch line. 8 stations of them overlap. It can be seen that there are no stop-stop trains, and the trains are in skip-stop mode.

Due to the differences in starting points, further analysis of the stoppage ratio. The distribution chart of the stoppage ratio of "C" trains is shown in figure 10.

The stoppage ratio is between 18 % and 64 %. There are 61 trains, accounting for 48,5 % of the total number of trains in operation, whose stoppage ratio in the 29–35 % section. There are 14 trains whose stoppage ratio between 50 % and 65 %.

It shows that there are still different service ranges in train "C", and the coordination of various stop modes ensures the boarding and descending of each station and optimizes the resource allocation. The average stop distance of the train can be expressed as the ratio of the train running mileage and number of stopping stations. The average distance between stop stations is distributed as figure 11.

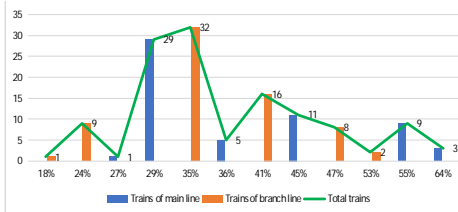


Figure 10 – The distribution of train stop ratio

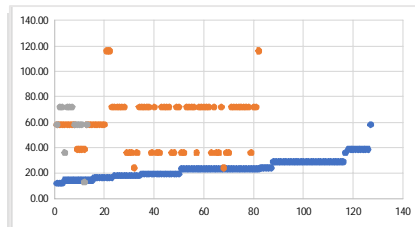


Figure 11 – The distribution of average stop distance

The stations are densely distributed with a distance of about 8 km on Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway. It can be seen from the figure that the average operating mileage between stations of "C" trains is between 12–58 km,

among which 101 trains are in the section with an average stopping mileage of 15–30 km, accounting for 79,5 % of the total trains. It can be seen that most of the "C" trains have shorter stopping distance and larger stopping frequency, which is convenient for short distance passengers, but it still reflects the mode of station selection and skip-stop of intercity trains.

The service frequency of OD refers to the number of train services that can arrive directly between od without transfer, which reflects the direct situation between each two stations, and also reflects the transfer demand of the scheme. According to the division of station class as the above, the train service frequency between various classes and OD passenger were calculated, shown in table 5.

Table 5 – OD train service frequency between stations of each class

Classes	Average OD passenger flow	Average service trains	Average originating-destination trains	Originating-destination trains ratio (%)
First to second class	2016	67	55	82
First to third class	1532	25		
First to fourth class	89	5		
Second to first class	2217	68	54	80
Second to third class	472	11		
Second to fourth class	136	4		
Third to first class	1389	16	1	6
Third to second class	694	11		
Between Third class	274	5		
Third to fourth class	68	2		
Fourth to first class	56	2		
Fourth to second class	163	3		
Fourth to third class	56	2		
Between Fourth class	15	1		

It can be seen that the train mainly serves between high-level stations. The average service frequency of OD decreases with the decrease of station level. The train service frequency between the first-class stations and the second and third class stations is higher, and the originating train is also set between them. The setting of the originating train from the first class station to the second and third level stations reaches 82 % and 80 % respectively. However, the frequency of passenger flow and OD train service between other level nodes is obviously low.

Based on the analysis of all aspects of Guangzhou – Zhuhai intercity railway stop, the following regulation are obtained.

1 Passenger flow and train distribution characteristics. Guangzhou – Zhuhai

Intercity Railway has the largest passenger flow in Guangzhou south station, followed by Zhuhai, Xiaolan and Xinhui. From the distribution of train operation, the train only starts and ends at the three major nodes of Guangzhou south, Zhuhai and Xinhui.

2 The service frequency of trains with different speed levels has hierarchical characteristics. In terms of the train service frequency of the station, the number of service trains will be reduced step by step according to the node level. High-speed train (G) and medium-speed train (D) mainly serve the first and secondary stations, while intercity-train "C" serves the first, secondary and third stations, and also realizes the coverage of the fourth nodes.

3 The number of train stops has a direct relationship with passenger flow demand and line characteristics, showing a multi-level distribution in terms of number. The number of stops for the main line of Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway is mostly distributed in 5–7 stations, and the number of stops for the branch line is mainly concentrated in 3–6 stations, but the overall proportion of stops is concentrated in 29–35 %, which shows that the intercity trains mostly adopt the mode of station selection. In terms of stopping distance, the average stopping distance of trains is concentrated in 15–30 km, which corresponds to the operation speed of 200 km/h and the characteristics of intercity passenger flow.

4 The train service frequency is closely related to OD passenger flow. Most of the trains running on Guangzhou – Zhuhai intercity railway are connected with Guangzhou south railway station. Guangzhou south railway station has achieved high OD with each station of the main and auxiliary lines. Therefore, the passenger flow is diverging from Guangzhou south railway station to the main and branch lines. Through the trains between Guangzhou south railway station, Zhuhai and Xinhui, the passenger flow service along the way can be realized. At the intersection of the main and branch lines, Xiaolan station has a higher train service frequency. The OD of passenger flow between small stations along the line is relatively low, and there is no train running between some small stations, which is related to the station spacing between small stations and other traffic modes.

Guangzhou – Zhuhai Intercity Railway is a representative intercity railway in China. On the one hand, the stop rule analyzed in this paper has its own characteristics, and also reflects the current situation of most intercity railways. In the follow-up research, the passenger flow characteristics will be further studied, and it is expected to put forward optimization suggestions for the stop scheme of intercity trains.

1 *Lian-bo, D.* Analysis on Relevance between Passenger Flow and Train Frequency on Beijing – Shanghai and Beijing – Guangzhou High-Speed Railways / D. Lian-bo, Liu Kang-ni. *Railway Transport and Economy*. – 2016. – No. 8 (38) – P. 19–25.

2 Effects of Korean Train Express (KTX) Operation on the National Transport System / S. D. Suh [et al.] // *Proceedings of the Asia Society for Transportation Studies*. – 2005(5). – P. 75–189.

3 *Feng, Bing-yu.* Research of Railway Passenger Volume Forecast based on Grey and Neural Network / Bing-yu Feng, Xue-ying Bao, Qi-cai Wang // *Journal of Railway Science and Engineering*. – 2015. – No. 12 (5). – P. 1227–1231.

4 *Yan-xiang, M.* Time Sequence Analysis of Railway Short-Term Passenger Flow / Ma Yan-xiang, Gao Song // *Railway Transport and Economy*. – 2010. – No. 32 (2). – P. 87–90.

5 *Chang, Y. H.* A Multi-Objective Model for Passenger Train Services Planning : Application to Taiwan’s High-Speed Rail Line / Y. H. Chang, C. H. Yeh, C. H. Shen // *Transportation Research Part B : Methodological*. – 2000. – No. 34 (2). – P. 91–106.

6 *Niu, H. M.* Train Scheduling for Minimizing Passenger Waiting Time with Time-Dependent Demand and Skip-Stop Patterns : Nonlinear Integer Programming Models with Linear Constraints / H. M. Niu, X. S. Zhou, R. H. Gao // *Transportation Research Part B : Methodological*. – 2015. – No. 76 (6). – P. 117–135.

7 *Xu, Rui-hua.* Study on Train Plans Optimization for Passenger Traffic Special Line / Rui-hua Xu, Xiao-lei Zou // *Journal of Tongji University (Natural Science)*. – 2005. – No. 33 (12). – P. 1608–1612.

8 High-Speed Railway Stopping Schedule Optimization Model Based on Node Service / Li De-wei [et al.] // *Journal of the China Railway Society*. – 2013. – No. 35 (6). – P. 1–5.

9 *Deng, Lian-bo.* Stop Schedule Plan Optimization for Passenger Train / Lian-bo Deng, Feng Shi, Wen-liang Zhou // *China Railway Science*. – 2009. – No. 30 (4). – P. 102–107.

Л. КАНИИ

АНАЛИЗ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ГУАНЧЖОУ – ДЖУХАЙ

Приведены статистические данные по объемам пассажирского движения на участке Гуанчжоу – Джухай. На основе кластерного анализа проведена калибровка класса железнодорожных станций участка, позволяющая оптимизировать расписание следования поездов и их остановки с учетом потребностей пассажиров. Предлагается выделять классы станций, для которых в зависимости от станции зарождения пассажиропотока и его размеров определяются типы пассажирских поездов и их параметры. Установлено, что максимальная интенсивность следования поездов должна быть определена со станции Гуанчжоу-Южный как отдельного пункта, являющегося станцией зарождения пассажиропотока по маршруту Гуанчжоу – Джухай.

Получено 27.10.2022

УДК 656.2

С. В. КАРАСЕВ, Д. А. СИВИЦКИЙ

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
gdsugdsu@yandex.ru*

МЕТОД ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Предлагается оценивать неравномерность на основе диверсификации основного потока транспортных единиц и определения коэффициентов вариации для разделенных потоков. На примере распределения работы между сортировочными устройствами железнодорожной станции с использованием методов математической статистики и интеллектуального анализа данных получены регрессионные модели для коэффициентов вариации потоков, поступающих на основное и вспомогательное устройства. Результаты могут использоваться для решения вопросов, связанных с расчётом пропускной способности объектов методами теории массового обслуживания или имитационного моделирования, с учётом их специализации и распределения работы.

Специализация систем и объектов железнодорожного транспорта требует создания соответствующих условий, главным из которых является разделение обслуживаемых требований по тому или иному признаку. Такого рода разделение (применительно к транспортному процессу) требует распределения общего входящего потока требований между несколькими обслуживающими устройствами по тому или иному признаку.

Одним из основных признаков, позволяющих отнести объект к специализированным, предлагается считать степень однородности обслуживаемых требований и однотипности выполняемых операций [1, 2]. Специализация позволяет в определенной степени снизить влияние факторов неравномерности [3] за счет того, что специализированный объект или система будет выполнять обработку потока требований более высокой степени однородности.

Уменьшение неравномерности параметров входящего потока будет достигаться за счет разделения требований по отдельным специализированным объектам (обслуживающим каналам), к каждому из которых будет поступать, очевидно, более однородный поток с меньшей неравномерностью и с меньшей же интенсивностью. Неравномерность входящего потока (по интервалам между поступающими на обслуживание требованиями) можно считать величиной, обратной к плотности (интенсивности) входящего потока.

Высокая интенсивность подхода способствует уменьшению интервалов между требованиями во входящем потоке. Снижение интенсивности под-

хода соответствует увеличению интервалов между требованиями, уменьшению загрузки обслуживающего объекта. Аналогичный эффект будет иметь разделение потока между несколькими специализированными обслуживающими объектами.

Функциональную связь между возможностями обслуживающего устройства и структурой выполняемой им работы можно выразить формулой

$$R_0 = f(N, O), \quad (1)$$

где N – количество транспортных единиц, которые обслуживаются на данном объекте; O – количество технологических операций, выполняемых с транспортной единицей на объекте.

При ограниченных ресурсных возможностях специализация связана, очевидно, с задачей перераспределения этих ресурсов, т. е. с определением эффективного баланса между разнообразием обслуживаемых требований и разнообразием выполняемых технологических операций при заданном R_0 .

В случае, когда ресурсных возможностей устройства R оказывается недостаточно, возможны два варианта решений:

- повышение ресурсных возможностей данного устройства до необходимого уровня;
- использование дополнительного обслуживающего устройства, которое может специализироваться на обслуживании части требований N либо на выполнении части операций O .

При выходе за ресурсные возможности рассматриваемого устройства специализация может потребовать расширения границ рассматриваемого объекта, с включением в них дополнительных обслуживающих устройств (параллельных технологических линий), участвующих в перераспределении транспортных единиц и (или) операций по их обслуживанию (рисунок 1).

В зависимости от иерархического уровня и типа объекта это могут быть:

- параллельные (дополнительные) ходы на полигоне железных дорог;
- дополнительные главные пути на перегонах железнодорожных линий, а также в железнодорожных узлах (в т. ч. в развязках);
- дополнительные железнодорожные станции в узлах;
- дополнительные парки путей и (или) пути в парках железнодорожных станций;
- вспомогательные сортировочные устройства и т. п. [2].

Таким образом, вопрос оценки влияния неравномерности транспортных потоков при специализации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта актуален для многих объектов, участвующих в перевозочном процессе.

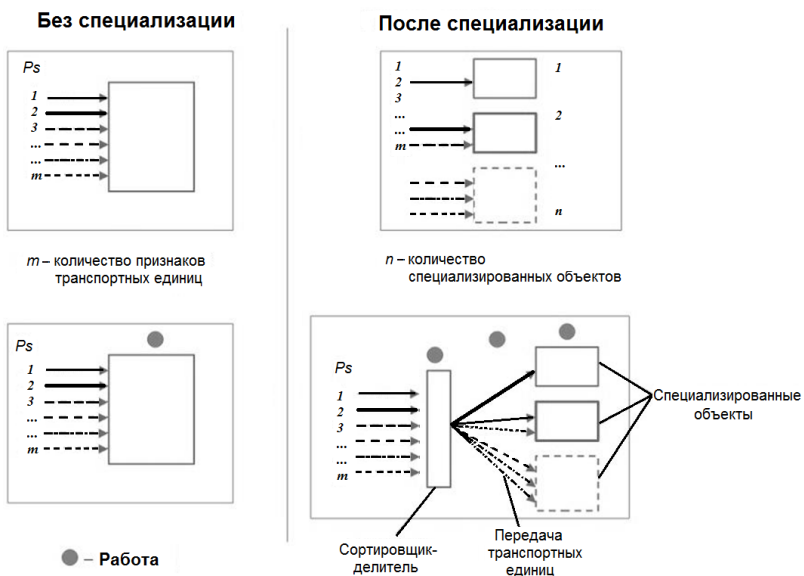


Рисунок 1 – Образование дополнительных обслуживающих объектов и работ при разделении потока по признакам транспортных единиц

В железнодорожных узлах, имеющих в своем составе несколько специализированных железнодорожных станций, возможно разделение обслуживаемых транспортных единиц между станциями (которые в данном случае являются обслуживающими объектами), например, по видам движения (пассажирское, грузовое). На уровне железнодорожных станций разделение транспортных единиц может происходить по специализированным паркам путей. Переработка вагонопотоков (например, транзитных и местных) на уровне станции может разделяться между основным и вспомогательным сортировочным устройствами [4]. На уровне железнодорожного узла возможно разделение сортировочной работы между специализированными сортировочными устройствами, располагающимися на разных станциях.

Специализация объектов в общем случае может приводить к появлению дополнительной работы, а также соответствующих устройств, что связано с обеспечением:

- разделения потоков;
- передачи разделенных потоков между специализированными устройствами.

Разделение потока поступающих требований при специализации обслуживающих устройств с точки зрения неравномерностей может иметь двоякий и разнонаправленный эффект:

– за счет повышения однородности обслуживаемых требований будет уменьшаться неравномерность времени обслуживания;

– из-за разделения потока будет уменьшаться интенсивность потоков на каждое специализированное устройство, что может привести к увеличению неравномерности интервалов между требованиями.

В общем виде специализация подразумевает перераспределение потока требований между каналами обслуживания. Достаточно часто входящий поток разделяется между двумя каналами обслуживания (один из которых будет специализированным), однако их может быть и больше, в зависимости от количества типов требований, по которым производится специализация работы и устройств (см. рисунок 1).

Для количественной оценки изменения неравномерности можно использовать коэффициент вариации для входящего потока (для интервалов между требованиями, поступающими на обслуживание), C_v^I , и коэффициент вариации времени обслуживания C_v^I .

Снижение неравномерности входящего потока за счет разделения смешанного потока на отдельные потоки с обеспечением их обслуживания специализированными объектами следует, на наш взгляд, считать одной из основных причин повышения производительности обслуживающей системы в целом. Причем такой положительный эффект будет проявляться не только непосредственно на обслуживаемом объекте, но и далее в пределах всей транспортно-логистической цепи.

Долю потока, которая может быть выделена для обслуживания на специализированной технологической линии, предлагается характеризовать коэффициентом диверсификации α_d^i , где i – порядковый номер технологической линии, выделяемой из общей массы обслуживаемых требований.

Так, при выделении потока составов на специализированное сортировочное устройство [5, 6] (рисунок 2) их доля будет обозначаться как α_d^1 , а оставшаяся часть потока, направляемая на основное устройство – α_d^0 . Коэффициент диверсификации, по нашему мнению, является важной характеристикой, которая может использоваться для определения эффективности специализации.



Рисунок 2 – Разделение входящего потока между сортировочными устройствами

Обобщенная модель выделения специализированных технологических линий и соответствующих им транспортных потоков представлена на рисунке 3.

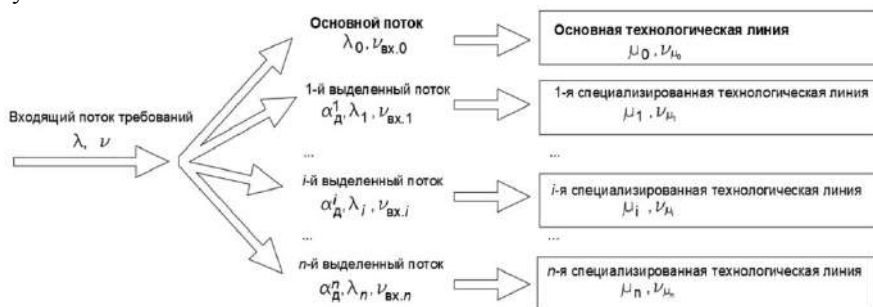


Рисунок 3 – Диверсификация потока требований

Первоначальный входящий в систему (под системой в данном случае подразумевается совокупность всех, в т. ч. специализированных, каналов обслуживания) поток требований можно охарактеризовать двумя параметрами: интенсивностью поступления λ и коэффициентом вариации $\nu_{вх}$, указывающим на то, насколько неравномерно поступают требования (т. е. насколько сильно отличаются друг от друга интервалы времени между ними).

После диверсификации выделяется основной поток с измененными параметрами интенсивности и неравномерности λ_0 и $\nu_{вх,0}$, а также заданное количество потоков, направленных на специализированные технологические линии (параметры λ_{0i} и $\nu_{вх,i}$).

Обслуживание до диверсификации также выполняется на одной универсальной технологической линии с параметрами интенсивности обслуживания μ и коэффициентом вариации времени обслуживания ν_{μ} , а после – на основной технологической линии (параметры μ_0 и ν_{μ_0}) и на специализированных (параметры μ_i и ν_{μ_i}). Перечисленные выше параметры являются определяющими с точки зрения показателей эффективности работы системы.

В связи с этим можно предположить, что интенсивность поступления требований на технологическую линию и интенсивность обслуживания требований определяют загрузку технологической линии, а коэффициент вариации оказывает влияние на параметры очереди и длительности нахождения в ней. Так, можно ожидать, что при диверсификации потока неравномерность поступления требований на различные технологические линии (т. е. неравномерность в разделенных потоках) увеличится, а неравномерность обслуживания, наоборот, снизится за счет выполнения более однородной работы с более узкой номенклатурой требований на каждой из технологических линий. При этом изменение коэффициентов вариации будет

одновременно связано с изначальной интенсивностью поступления требований в систему в общем потоке, коэффициентами вариации и коэффициентами диверсификации.

Наиболее распространенным вариантом является выделение одной специализированной технологической линии, т. е. специализация определённого вида работы из общей массы поступающих требований (основная технологическая линия и одна специализированная). Соответственно, далее решается задача определения коэффициентов вариации входящего потока $V_{вх0}$, $V_{вх1}$, $V_{ц0}$, $V_{ц1}$.

При рассмотрении реального объекта, на котором предполагается выделение какой-либо специализированной технологической линии, решение задачи определения коэффициентов вариации после диверсификации сводится к статистическому анализу информации о поступлении требований в систему с выделением потока, который необходимо специализировать. Исходя из этого формируются выборки с временами (моментами) поступления: а) на основную технологическую линию; б) на специализированную. Далее известными методами [7] определяются числовые характеристики этих выборок, в т. ч. рассчитываются коэффициенты вариации.

Однако такой «статистический» подход не позволяет выполнить расчет при отсутствии достоверной статистики, например, на этапе проектирования нового объекта, а также при необходимости исследования оптимальных границ диверсификации потока. В связи с этим актуальной является задача разработки математической модели, которая позволит рассчитать новые коэффициенты вариации $v_{вх0}$, $v_{вх1}$ с учетом диверсификации потоков при разделении системы на основной и вспомогательный канал обслуживания. В качестве требований, поступающих в систему, могут рассматриваться поезда, составы, вагоны (в зависимости от вида системы и характера ее работы).

На коэффициенты вариации $v_{вх0}$, $v_{вх1}$ оказывает влияние, в первую очередь, неравномерность исходного (смешанного) потока, характеризующаяся коэффициентом вариации $v_{вх}$. В свою очередь коэффициент вариации связан с интенсивностью входящего потока λ .

При увеличении загрузки любого устройства неравномерность будет снижаться за счет уплотнения потока (интервалов). В этом разница между работой в условиях высокой и низкой загрузки.

Помимо этого, существенное влияние на неравномерность оказывает коэффициент диверсификации $\alpha_{д}^1$, определяющий долю специализируемого потока: чем он ниже, тем, очевидно, слабее изменится неравномерность потока, поступающего на основную технологическую линию.

Для разработки математической модели определения коэффициентов вариации $v_{вх0}$, $v_{вх1}$ необходим значительный объем исходных данных, обеспечивающих варьирование перечисленных выше факторов (признаков)

$v_{вх}$, λ и α_d^1 . При этом для каждой из комбинации этих факторов должны быть определены $v_{вх0}$, $v_{вх1}$, которые будут являться откликами модели.

Изменение неравномерности при разделении потоков в случае специализации устройств исследовалось на основе выполнения вариантов расчетов. На первом этапе произведена генерация исходных данных для формирования модели расчета с определением следующих показателей.

1 Интенсивность поступления поездов в систему λ (например, поездов в расформирование в парк приема сортировочной станции).

С точки зрения математической модели, интенсивность – это удобная характеристика, однако для оценки неравномерности до и после диверсификации в первую очередь необходима генерация интервалов времени между поездами I_i . Интервалы времени генерировались методом Монте-Карло по показательному закону с минимальным значением интервала $I_{min} = 6$ мин. Каждому интервалу соответствует прибывающий поезд. Средний интервал между поездами $I_{cp} \in [6; 60]$ и изменяется с шагом в 1 минуту. Соответственно, для каждого I_{cp} рассчитывалась $\lambda = 1 / I_{cp}$.

2 Коэффициент диверсификации α_d^1 , который фиксировался последовательно в диапазоне $\alpha_d^1 \in [0,01; 0,5]$ с шагом 0,01.

Коэффициент вариации $v_{вх}$ определялся по интервалам времени I_i . На основании сгенерированных данных определялось выборочное среднее \bar{I}_v и соответствующее ему выборочное среднее квадратическое отклонение $\sigma_v(I)$, в результате чего рассчитывается $v_{вх} = \sigma_v(I) / \bar{I}_v$.

Для каждой комбинации факторов (λ и α_d^1) сгенерирована выборка, содержащая 1000 поездов. Для каждого поезда в соответствии с α_d^1 определяется номер технологической линии, на которую поезд должен поступить (0 или 1), после чего выделяются две отдельные выборки, на основании которых определены коэффициенты вариации $v_{вх0}$, $v_{вх1}$ аналогично коэффициенту вариации $v_{вх}$. Фрагмент результатов генерации исходных данных и расчета коэффициентов вариации $v_{вх0}$ и $v_{вх1}$ представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для моделирования

Номер	Признак			Отклики	
	I_{cp}	α_d^1	$v_{вх}$	$v_{вх0}$	$v_{вх1}$
	6	0,01	0,165	0,194	0,654
...
	15	0,15	0,652	0,682	0,952
...
	26	0,35	0,854	0,898	0,984

На основании данных, представленных в таблице 1, разработано несколько вариантов моделей расчета коэффициентов вариации: линейная модель, модель случайной регрессии лесов (машинное обучение) [8], модель

CatBoost (обучение методом градиентного спуска) [9]. Оценка моделей производится на основании метрики средней абсолютной ошибки (MAPE) в процентах:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|y_i - \bar{y}_i|}{y_i} \cdot 100, \quad (1)$$

где y_i и \bar{y}_i – фактическое и прогнозное значения отклика; N – размерность выборки. Полученные значения $MAPE$ представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения средней абсолютной ошибки в процентах для различных типов моделей

Моделируемая величина	В процентах		
	Линейная регрессия	Случайная регрессия лесов	CatBoost
$v_{вх0}$	3,88	2,66	2,57
$v_{вх1}$	6,49	6,39	6,38

Модели машинного обучения показывают несколько лучший результат, однако при этом более сложны в использовании. Линейная регрессия [10] показывает приемлемый результат – для коэффициента $v_{вх0}$ средняя абсолютная ошибка составила 3,88 %, а для $v_{вх1}$ – 6,49 %.

С точки зрения коэффициента вариации такое отклонение является приемлемым и не окажет существенного влияния на итоговый результат, например, при определении показателей эффективности работы систем, расматриваемых в качестве систем массового обслуживания.

Полученные регрессионные модели для коэффициентов вариации потоков, разделенных в результате специализации устройств, представлены в формулах (2), (3):

$$v_{вх0} = 0,22964694\alpha_d^1 + 0,00063228 \frac{1}{\lambda} + 0,57222175v_{вх} + 0,321; \quad (2)$$

$$v_{вх1} = -0,0946123\alpha_d^1 + 0,00041853 \frac{1}{\lambda} + 0,15450007v_{вх} + 0,828. \quad (3)$$

Полученные регрессионные зависимости для оценки неравномерности входящего потока с учетом его разделения по обслуживающим устройствам могут быть использованы для определения эффективности выделения специализированных технологических линий с использованием формул теории массового обслуживания [11] для расчета длины очереди и времени ожидания обслуживания для различных вариантов параметров входящего потока и времени обслуживания. В частности, для Пуассоновского входящего потока и произвольного распределения времени обслуживания (одноканальные системы, например, основная и вспомогательная сортировочные горки) можно использовать формулы Полячека – Хинчина:

$$L_{\text{оч}} = \frac{\rho^2(1+v_{\text{об}}^2)}{2(1-\rho)}, \quad (4)$$

$$W_{\text{оч}} = \frac{\rho^2(1+v_{\text{об}}^2)}{2\lambda(1-\rho)}, \quad (5)$$

где ρ – приведенная интенсивность; $L_{\text{оч}}$ – среднее количество заявок (транспортных единиц), находящихся в очереди; $W_{\text{оч}}$ – среднее время нахождения заявки в очереди (время ожидания обслуживания).

Коэффициентом вариации $v_{\text{об}}$ является результат расчета по формуле (2) или (3).

Важно отметить, что регрессионные зависимости (2) и (3) могут использоваться при оценке эффективности специализации различных объектов транспортной инфраструктуры в том случае, если они соответствуют условиям получения регрессионных моделей:

- интервал поступления транспортных единиц $I_{\text{ср}} \in [6; 60]$ мин;
- коэффициент диверсификации $\alpha_{\text{д}}^1 \in [0,01; 0,5]$.

Получаемые таким образом показатели, характеризующие очередь, могут напрямую использоваться для экспресс-оценки (в т. ч. экономической) эффективности специализации объектов инфраструктуры, участвующих в перевозочном процессе.

Следует заметить, что предложенные зависимости используются тогда, когда технологические линии (в частности, основное и вспомогательное сортировочные устройства) непосредственно примыкают к общему накопителю или предшествующему каналу обслуживания (например, по рисунку 2 – это парк приема). В противном случае, когда после разделения основного потока для поступления на вспомогательный канал обслуживания (например, вспомогательное сортировочное устройство) транспортные единицы требуется передавать с выполнением дополнительной технологической операции (например, перестановки в другой район станции маневровым порядком), необходимо учитывать возможное изменение интервалов в потоке, поступающем на вспомогательный канал, из-за влияния этой операции. Такая ситуация характерна для вариантов удаленного расположения вспомогательного сортировочного устройства на сортировочных станциях: со стороны парка отправления, между парком отправления и сортировочным и т. п. Для основного канала обслуживания (устройства) по-прежнему можно использовать выражение (2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Карасев, С. В. К вопросу расчета экономической эффективности специализации транспортных объектов, участвующих в перевозочном процессе / С. В. Карасев // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления : VI междунар. науч.-практ. конф., Ростов н/Д. – 2022. – С. 74–77.

2 Карасев, С. В. Методологические аспекты оценки эффективности специализации объектов железнодорожного транспорта в перевозочном процессе / С. В. Карасев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2022. – № 10. – С. 7–16.

3 Казаков, А. Л. Моделирование входящего транспортного потока на грузовую станцию с учетом его суточной неравномерности / А. Л. Казаков, А. М. Маслов // Транспорт Урала. – 2008. – № 2 (17). – С. 65–71.

4 Сивицкий, Д. А. Методика проектирования специализированных сортировочных устройств для многогруппной сортировки / Д. А. Сивицкий // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 2018. – С. 52–57.

5 Sivitsky, D. A. Methodology for selecting the multistage methods of train classification and design parameters of specialized shunting facilities based on modeling / D. A. Sivitsky, S. V. Karasev, D. V. Osipov // Transportation Research Procedia : 12th International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability, TITDS 2021. – 2022. – P. 323–332.

6 Карасев, С. В. Обоснование рациональных конструктивных и технологических параметров вариантов организации многогруппной сортировки на основе имитационного моделирования / С. В. Карасев, Д. А. Сивицкий // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76, № 2. – С. 94–100.

7 Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 8-е изд. – М. : Высш. шк., 2002. – 479 с.

8 Hastie, T. Random Forests. Chapter 15 / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman // The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. – 2nd ed. – Springer-Verlag, 2009. – 746 p.

9 Нестеров, Ю. Е. Методы выпуклой оптимизации / Ю. Е. Нестеров. – М. : Изд-во МЦНМО, 2010. – 281 с.

10 Соколов, Г. А. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике / Г. А. Соколов. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 109 с.

11 Гнеденко, Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М. : Наука, 2017. – 432 с.

S. V. KARASEV, D. A. SIVITSKY

METHOD OF ASSESSING UNEVEN TRAFFIC FLOWS IN SPECIALIZATION OF RAILWAY STATIONS

The article proposes to estimate the unevenness based on the diversification of the main flow of transport units and the determination of the coefficients of variation for divided flows. Using the example of the distribution of work between the sorting devices of the railway station using methods of mathematical statistics and data mining, regression models were obtained for the coefficients of variation of flows entering the main and auxiliary devices. The results can be used to solve issues related to calculating the throughput of objects using mass service theory or simulation modeling, taking into account their specialization and distribution of work.

Получено 01.12.2022

УДК 656.21.073

Н. А. КЕКИШ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
natalia.kekish@gmail.com

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТЕРМИНАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ РОСТА КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ ГРУЗОПОТОКА

Проводится анализ влияния потенциальной массовой контейнеризации грузопотока на пространственную организацию железнодорожных терминалов. Выдвинута гипотеза, что переход к обработке единого типа грузовых единиц приведет к функциональному зонированию терминалов не по принципу номенклатурной группы груза, а по принципу технологического этапа обработки контейнера. Предлагаемый вариант сегментирования территории терминала основывается на соблюдении логической последовательности операций и рационализации складской логистики по перемещению контейнеров в процессе их обработки. Выявлена ограниченность сферы применения существующих моделей пространственной организации морских контейнерных терминалов при проектировании аналогов для железнодорожного транспорта. В частности, предложено модифицировать методику расчета перерабатывающей способности грузовых фронтов для получения адекватных результатов с учетом различных схем размещения контейнеров на вагонах и количества выполняемых контейнеро-операций.

Перспективы роста контейнеризации грузопотока на Белорусской железной дороге базируются как на общемировых трендах транспортной отрасли, так и на изменениях в структуре производства и потребления в стране. Установка на повышение уровня обработки сырья на месте, на рост промышленного производства высокотехнологичной готовой продукции, на увеличение объемов экспорта в отдаленные регионы (Азия, Африка, Латинская Америка) настойчиво диктует необходимость перехода к методам интермодальной перевозки грузов с участием железнодорожного транспорта. Конечным итогом реализации данной тенденции видится кардинальное изменение структуры грузопотока, при котором контейнеры станут основным видом грузовых единиц и отправок, определяющим технологию работы железных дорог. Несмотря на различные методики оценки контейнеропригодности продукции [1–3], большинство авторов едины во мнении, что массив таких грузов достаточно велик для подобного прогноза. В данной статье, не

затрагивая непосредственно предпосылки, вероятность и механизм массовой контейнеризации грузопотока, хотелось бы обратиться к проблеме связанных с ней инфраструктурных преобразований грузового комплекса железнодорожного транспорта.

Контейнеризация железнодорожных перевозок неизбежно вызовет необходимость реконструкции имеющихся терминалов для обеспечения обработки грузопотока в его новой форме. В ряде случаев терминалы уже сейчас преобразуются в сухие порты – центры обработки грузопотока, объединяющие технологии морского, железнодорожного и автомобильного транспорта в интермодальных цепях доставки [4]. В связи с этим актуальным становится вопрос о принципах пространственной организации железнодорожных терминалов для массовой переработки контейнеропотока. В какой степени релевантным для решения этой задачи является огромный опыт, накопленный в сфере строительства и реконструкции морских терминалов? Достаточно ли сходны технологии терминальной обработки на железнодорожном и морском транспорте, чтобы использовать аналогичные планировочные решения? Получение ответа на эти вопросы и является задачей настоящего исследования.

Имеющаяся инфраструктура грузовых железнодорожных терминалов Белорусской железной дороги достаточно традиционна для пространства 1520 и построена по принципу обеспечения работы с различными категориями грузов. Отдельные сегменты терминала выделяются для разных категорий грузов исходя из общности условий хранения и технологии переработки, предусматривающей использование одинаковых механизмов. При массовой контейнеризации грузопотока вновь строящиеся и реконструируемые терминалы должны планироваться как специализированные контейнерные, что подразумевает изменение технологии переработки на терминале основных номенклатурных групп грузов.

Прежде всего следует разграничить две возможные технологии обработки контейнеров на местах общего пользования. Классическая технология обработки контейнеров на местах общего пользования предусматривает вывоз порожнего контейнера с терминала, загрузку груза в него у клиента (вне территории терминала), возврат груженого контейнера на терминал и передачу его перевозчику. При выдаче груза порядок технологических операций аналогичный (вывоз груженого контейнера, выгрузка груза за пределами терминала, возврат порожнего контейнера перевозчику). При работе с приватными контейнерами из этой технологической цепочки выпадают операции транспортировки порожнего контейнера от терминала к клиенту или обратно.

Существует альтернативная технически возможная, гораздо реже используемая, но имеющая свои преимущества для определенного круга мелких и средних грузовладельцев технология, когда груз завозится непосред-

ственно на терминал автотранспортом и загрузка контейнера выполняется на месте, без вывоза к клиенту. Непосредственно загрузка/разгрузка контейнера и сопутствующие операции могут выполняться как силами и средствами самих грузоотправителей, так и с привлечением технического оснащения и специалистов транспортно-экспедиционных компаний по договору. Такой вариант терминальной обработки контейнерной отправки условно в дальнейшем будем называть технологией с загрузкой на месте. Он предоставляет широкие возможности для оказания дополнительных транспортно-экспедиционных услуг на терминале (крепление груза внутри контейнера и снятие креплений, очистка, установка и снятие контейнерных вкладышей, механизация погрузочно-разгрузочных работ с использованием бункерных установок, конвейеров, кантователей контейнеров и т. п.) Выбор любой из этих технологий или применение их комбинации определяет планировку и складскую логистику терминала, а также его потребное техническое оснащение.

При контейнеризации грузопотока крытый склад для тарно-упаковочных грузов из планировочной схемы исключается и его функции будут выполняться контейнерной площадкой, в которой должны быть предусмотрены секции для порожних контейнеров, для груженых контейнеров по прибытию и отправлению, а также зона для загрузки и разгрузки контейнеров непосредственно на терминале (если планируется применение технологии с загрузкой на месте). Несколько контейнеров закрытого типа могут быть выделены для временного хранения грузов из прибывших поврежденных контейнеров. Следует отметить, что контейнеризация перевозок позволит вернуть на места общего пользования переработку скоропортящихся грузов в рефрижераторных и изотермических контейнерах. В этом случае на терминале должна быть организована отдельная секция для постановки рефрижераторных контейнеров с подводом к ней энергопитания.

Контейнерная технология позволяет организовать работу на терминале с наливными грузами. При этом танки-контейнеры будут проходить терминальную обработку только по классической технологии, а для контейнеров типа флекситанк может быть организована работа по обеим технологиям.

Работа с массовыми навалочными, насыпными, штучными грузами (партии более одного вагона) полностью переносится на места необщего пользования. Там же предлагается выполнять операции с длинномерными и тяжеловесными грузами (при отсутствии у грузовладельца своего места необщего пользования погрузка может выполняться на местах необщего пользования других грузовладельцев, имеющих соответствующее техническое оснащение, на основании договора). Навалочные, насыпные, штучные грузы при размере партии до вагона (включительно) от мелких и средних отправителей контейнеризируются и принимаются к перевозке на местах общего пользования в универсальных контейнерах и в специализированных

контейнерах открытого и закрытого типов. Могут применяться оба варианта терминальной обработки контейнеров. В любом случае, хранение грузов вне контейнеров на терминале не предусматривается.

Негабаритные грузы при технической возможности и целесообразности перевозки в контейнерах открытого типа могут обрабатываться на терминалах по обеим технологиям. При перевозке на платформах или транспортерах грузовые операции предлагается выполнять только на местах необщего пользования (аналогично длинномерным и тяжеловесным грузам).

Поскольку все контейнеры имеют общий принцип выполнения операций с ними как с грузовыми единицами и, соответственно, требуют одинаковых механизмов для переработки, то планировочное решение терминала базируется уже не на выделении секций по типу груза и/или используемого механизма, а на выбранной технологии терминальной обработки контейнеров и оптимизации складской логистики по их перемещению. Исходя из такого предположения терминал, на котором используются обе технологии обработки контейнеров, должен иметь следующие укрупненные функциональные зоны:

- для порожних контейнеров 1;
- груженых контейнеров 2;
- загрузки/разгрузки контейнеров 3;
- специального назначения 4.

Выделение укрупненных функциональных зон не равноценно территориальному разделению на эти зоны как единые образования в пределах терминала. Для выработки рационального планировочного решения необходимо сегментировать укрупненные функциональные зоны и расположить сегменты в пределах терминала исходя из набора выбранных критериев и их приоритета. Критериями расположения сегментов может быть соблюдение логической последовательности операций с контейнерами, минимизация передвижений погрузочно-выгрузочных механизмов и транспортных средств, сокращение количества враждебных перемещений по терминалу, обеспечение преимуществ в обработке для определенной категории контейнеропотока. При этом сегменты из одной укрупненной функциональной зоны могут территориально разобщены. Такой принцип зонирования в целом близок к используемому на морском транспорте [5].

Зона для порожних контейнеров 1 подразделяется на следующие сегменты:

- порожние контейнеры под погрузку 1.1;
- порожние контейнеры, отправляемые со станции без загрузки: порожние контейнеры перевозчика в регулировку на другие станции; порожние собственные контейнеры, следующие по указанию владельца; порожние контейнеры, направляемые в ремонт на другие станции 1.2;
- порожние контейнеры под промывку и другие виды специальной обработки 1.3;

- неисправные порожние контейнеры, ожидающие ремонта на месте 1.4;
- резерв, в который входят порожние контейнеры, в том числе сторонних операторов, хранящиеся на станции до запроса на их отправку 1.5.

Постановка порожних контейнеров в этой зоне предусматривается по-сегментно, дифференцированно по типам контейнеров, с ярусным хранением. Если конструкция контейнера это допускает, хранение для экономии площади и снижения высоты штабеля осуществляется в трансформированном виде (сложенные торцевые стенки, снятые угловые стойки и т. п.).

Зона для груженых контейнеров 2 подразделяется на сегменты:

- груженые контейнеры по отправлению 2.1;
- груженые контейнеры по прибытию 2.2;
- груженые контейнеры, с которыми на данном терминале выполняется операция сортировки 2.3.

Учитывая возможность перевозки габаритных и негабаритных грузов в контейнерах открытого типа, предполагается создание двух отдельных подсегментов хранения груженых контейнеров в зоне 2 для каждого из сегментов 2.1–2.3: подсегменты с ярусным хранением для контейнеров закрытого типа и контейнеров открытого типа, допускающих штабелирование по своей конструкции и габаритам перевозимого груза, и подсегменты с хранением контейнеров в один ярус (в этих подсегментах наравне с контейнерами могут проходить аналогичную терминальную обработку и порожние и груженые съемные автомобильные кузова).

Зона для загрузки/разгрузки контейнеров 3, исходя из специфики ее использования, потребует следующей сегментации:

- место для стоянки автотранспорта во время перегрузки груза по прямому варианту автомобиль – контейнер 3.1;
- место для расположения загружаемых/разгружаемых контейнеров 3.2;
- свободное пространство для размещения груза в процессе выполнения грузовых операций и маневра техники 3.3;
- место для установки стационарных погрузочно-выгрузочных устройств (кантователя, бункера, рампы и т. п.) 3.4.

Зона специального назначения 4 должна включать в себя следующие сегменты:

- место для таможенной обработки (зона таможенного контроля для контейнеров открытого типа, аналог склада временного хранения, место для проведения таможенного досмотра и т. д.) 4.1;
- место для постановки контейнеров, предназначенных для временного хранения грузов из несохранных отправок 4.2;
- место для перегрузки контейнеров между транспортом клиентов и транспортом терминала во входном канале 4.3.

Классической планировкой морского контейнерного терминала предусмотрен длинный причальный грузовой фронт (основной). Вблизи этого фронта располагаются контейнеры, с которыми выполняются грузовые операции в процессе обработки судов (готовые к погрузке на ближайшие суда, только что выгруженные, сортируемые с коротким интервалом между прибывающими и отправляющимися судами). Логичным планировочным решением для железнодорожного терминала выглядит повторение этого принципа, т. е. размещение вдоль длинного основного грузового фронта сегментов 1.3, 2.1–2.3. При большом объеме контейнеропотока и дефиците площади вдоль основного грузового фронта на нем располагаются только те контейнеры из данных сегментов, которые задействованы в обработке подвижного состава, находящегося на грузовом фронте в короткий интервал времени до, во время и после обработки. Остальная часть контейнеров из данных сегментов будет находиться в тыловой зоне терминала. Необходимым элементом планировки терминала должны быть проезды для перемещения контейнеров между сегментами согласно принятой технологии обработки, а также для работы погрузочно-выгрузочных механизмов, предназначенных для штабелирования и снятия контейнеров со штабеля. Перемещение контейнеров по территории терминала, в том числе между грузовым фронтом и тыловыми сегментами предлагается выполнять с помощью автоматизированных контейнерных тележек (AGV), без заезда автотранспорта клиентов вглубь терминала (кроме заезда к сегменту 3.1). Перегрузка контейнеров между автомобилями и AGV предусмотрена на специальной площадке на въезде в терминал. Это позволит максимально автоматизировать работу терминала, разработать наиболее рациональные схемы складской логистики с высоким уровнем производительности по уже имеющимся разработкам для морских контейнерных терминалов [6–8]. Перегрузочные операции в зоне основного грузового фронта при значительном объеме переработки вагонопотока традиционно выполняются козловыми кранами со спредерами, в тыловых сегментах – ричстакерами, порталными контейнеровозами или контейнероперегрузчиками автомобилей-контейнеровозов (во входном канале терминала). Учитывая большое разнообразие имеющихся на сегодняшний день вариантов технического оснащения и технологии работы терминала в зависимости от условий эксплуатации в каждом конкретном случае для окончательного выбора необходимо провести сравнительный анализ технологического процесса. Методика этого анализа для железнодорожного терминала по принципиальным позициям существенно не отличается от предлагаемой для морских терминалов [9].

Схема планировочного решения по типу морского терминала (с одним основным длинным грузовым фронтом) представлена на рисунке 1.

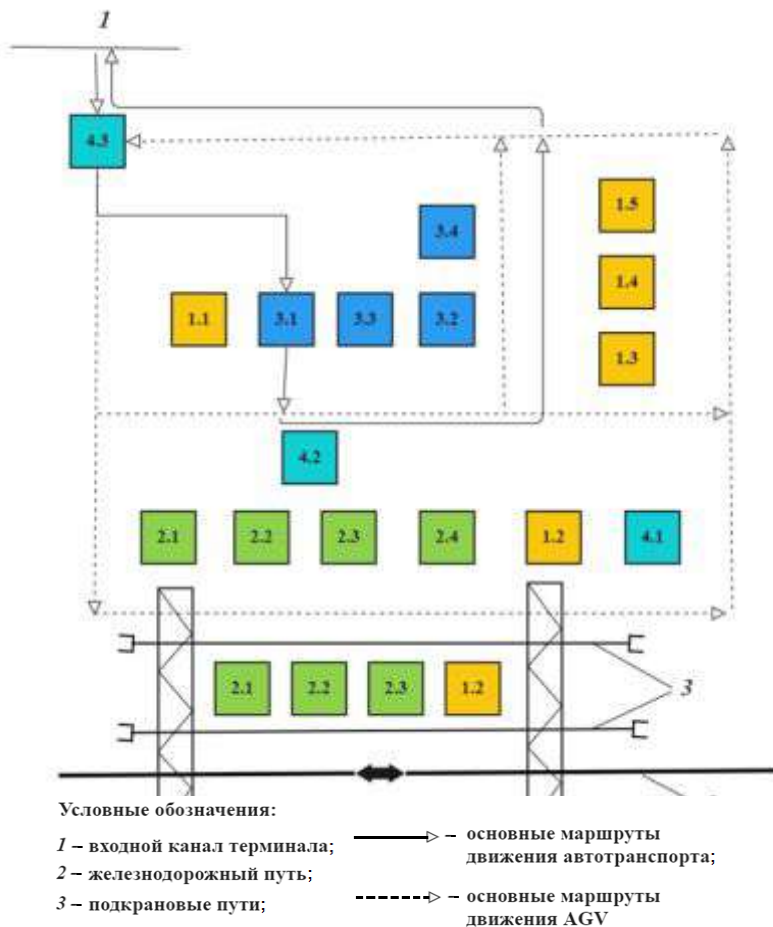


Рисунок 1 – Принципиальная схема планировочного решения железнодорожного контейнерного терминала с одним основным сквозным грузовым фронтом

Обозначение отдельных сегментов функциональных зон соответствует нумерации по тексту выше.

Данная схема предполагает работу вдоль одного грузового фронта со стоящим на нем подвижным составом. В разрезе железнодорожной технологии это означает обработку одной подачи вагонов или состава поезда. Достоинством схемы является минимальное количество маневров с подвижным составом.

Планировочное решение по типу морского терминала применимо при наличии достаточной по длине площадки, позволяющей обеспечить грузовой фронт на требуемый размер одновременной подачи, в случае погрузки целого контейнерного поезда – на установленную величину состава. Другим ограничителем является суточная перерабатывающая способность грузового фронта, которая определяется для условий параллельной работы всех обслуживающих его механизмов с учетом перерывов в работе, необходимых на обеспечение их эксплуатации. По классической методике перерабатывающая способность грузового фронта (в вагонах в сутки) на железнодорожном транспорте определяется по формуле

$$N_{\phi} = \frac{TN}{(t_{\text{пв}} + t_{\text{м}})z}, \quad (1)$$

где T – продолжительность работы средств механизации на грузовом фронте в течение суток с учетом всех необходимых технологических перерывов для обеспечения его эксплуатации, ч; N – число вагонов, подаваемых в течение суток; $t_{\text{пв}}$ – среднее время простоя вагонов одной подачи под грузовыми операциями при рациональном использовании имеющихся средств механизации, ч; $t_{\text{м}}$ – общая продолжительность маневров с одной подачей, ч; z – число подач в сутки.

Очевидно, что при общем принципе территориальной планировки терминала по классической схеме морского порта в железнодорожном варианте есть существенные отличия в ограничивающих параметрах, обусловленные отличиями в технологии работы. Например, имеется грузовой фронт с длиной, позволяющей обрабатывать подачу величиной до условного состава контейнерного поезда в 50 вагонов. Примем следующие допущения:

- на грузовом фронте требуется обработать 200 вагонов с контейнерами в сутки;
- минимальный перерыв в занятости грузового фронта, связанный с выполнением маневров по подаче-уборке и расстановке вагонов, составляет 0,3 часа;
- на каждом вагоне может размещаться от 1 до 3 контейнеров разных типоразмеров;
- величина подачи может составлять от 5 до 40 вагонов.

При указанных допущениях перерабатывающая способность грузового фронта должна обеспечивать следующие параметры (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что, начиная с 20 вагонов в одной подаче, максимально допустимая продолжительность обработки одного вагона практически не изменяется, что дает достаточно широкие возможности как по выбору варианта взаимодействия станции формирования контейнерных поездов и терминала, так и по планировочному решению терминала в части количества грузовых фронтов.

Таблица 1 – Определение максимально допустимой продолжительности обработки вагонов на грузовом фронте контейнерного терминала при различных вариантах подачи вагонов

Число вагонов в составе, ваг.	Среднее количество подач в сутки	Максимально допустимая продолжительность обработки подачи, ч	Максимально допустимая продолжительность обработки одного вагона подачи, ч
5	40	0,3	0,06
10	20	0,9	0,09
20	10	2,1	0,11
30	6,7	3,3	0,11
40	5	4,5	0,11
50	4	5,7	0,11

Очевидно, что одинаковая максимально допустимая продолжительность обработки одного вагона подачи может быть достигнута и при 10 подачах по 20 вагонов на несколько грузовых фронтов, и при подаче 4 полных контейнерных поездов на один и тот же грузовой фронт при условии обеспечения заявленной суммарной производительности перегрузочного оборудования. Если проводить аналогию с терминалами морских портов, то их производительность гораздо более критично зависит от планировочного решения терминала, поскольку стоимость перегрузочного оборудования намного ниже стоимости строительства дополнительных причалов [10].

Более существенным фактором, влияющим на потребное техническое обеспечение и итоговую наличную перерабатывающую способность грузовых фронтов терминала, является количество контейнеро-операций, которые требуется выполнить с каждым вагоном. Оно зависит как от схемы размещения контейнеров на вагоне, так и от необходимости выполнения сдвоенных операций. При одноярусной погрузке существующие технические условия предусматривают размещение на фитинговой платформе от 1 до 3 крупнотоннажных контейнеров, что означает выполнение с каждым вагоном от 1 до 6 контейнеро-операций, понимаемых как единичное перемещение контейнера между вагоном и площадкой. Минимальное количество контейнеро-операций производится при схеме размещения «один контейнер на вагон» с выполнением одной операции погрузки или выгрузки. Максимальное количество контейнеро-операций соответствует варианту обработки вагона с тремя контейнерами с выполнением сдвоенных операций выгрузки и погрузки. При этом продолжительность контейнеро-операции практически не зависит от типоразмера контейнера, а дополнительные операции, выполняемые перегрузочным оборудованием с вагонами, не предусмотрены. Таким образом, при одном и том же техническом

оснащении, частоте и размере подач вагонов наличная перерабатывающая способность грузового фронта, выраженная в вагонах, может различаться в 6 раз. Поэтому для железнодорожного транспорта перерабатывающую способность грузового фронта (или суммарную перерабатывающую способность грузовых фронтов) контейнерного терминала для целей расчета его параметров и максимально допустимой загрузки целесообразно оценивать не в вагонах, а в контейнерах с учетом количества контейнеро-операций. Формула для расчета перерабатывающей способности грузового фронта контейнерного терминала (в контейнерах) в этом случае примет вид

$$N_{\phi}^{\text{конт}} = \frac{T \sum_{i=1}^z (n_{\text{конт}})_i}{\sum_{i=1}^z (t_{\text{ко}} n_{\text{ко}} + t_{\text{м}})_i}, \quad (2)$$

где $n_{\text{конт}}$ – количество контейнеров в i -й подаче; $t_{\text{ко}}$ – продолжительность выполнения одной контейнеро-операции, ч; $n_{\text{ко}}$ – количество контейнеро-операций с вагонами i -й подачи.

Применение формулы (2) позволяет определить перерабатывающую способность грузовых фронтов контейнерного терминала при различных условиях функционирования (размеры контейнеропотока, величина и количество подач, количество контейнеро-операций), что дает возможность для сравнения вариантов технологии работы. При замене суммирования по отдельным подачам среднесуточными или максимальными суточными значениями количества контейнеров и количества контейнеро-операций результат расчета отражает соответственно перерабатывающую способность грузовых фронтов при работе в стабильном режиме (равномерная загрузка) и в пиковом режиме (лимит по выполняемым контейнеро-операциям). Следует иметь в виду, что при использовании формулы (2) для целей расчета максимальной суточной загрузки учитывается только та часть времени работы перегрузочного оборудования (T), которая расходуется на обработку грузового фронта железнодорожного транспорта, т. е. за вычетом времени работы механизмов, затрачиваемого на обработку потока между основным грузовым фронтом и тыловыми участками терминала. Такой подход позволяет адекватно учесть реальную продолжительность обработки вагонов.

В целом можно сделать вывод, что массовой контейнеризации грузопотока неизбежна трансформация существующих терминалов универсального типа в специализированные контейнерные, что повлечет изменение их пространственной организации и технологии работы. Оправданным представляется функциональное зонирование терминала с выделением сегментов и подсегментов размещения контейнеров по признаку технологического этапа их обработки. При этом общая площадь терминала в контейнерном варианте по сравнению с традиционным универсальным может быть существенно сокращена за счет ярусного хранения груженых и порожних контейнеров.

Опыт проектирования морских терминалов следует признать ограниченно применимым. В частности, на морском транспорте наиболее распространенным является вариант длинного причального основного грузового фронта, в то время как на железнодорожном транспорте могут быть успешно реализованы различные планировочные решения по расположению нескольких грузовых фронтов с одинаковыми или сопоставимыми показателями суммарной перерабатывающей способности. Определение показателя перерабатывающей способности по предложенной модификации классической формулы позволяет учесть варианты организации маневрового обслуживания, наличие различных схем размещения контейнеров на вагоне и количество выполняемых с каждым вагоном контейнеро-операций для адекватной оценки максимально допустимой суточной загрузки терминала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сай, В. М. Моделирование оценки потребности региона в контейнерных перевозках / В. М. Сай, Д. И. Кочнева // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16, № 4 (77) – С. 160–178.
- 2 Москвичев, О. В. Оценка потенциала и перспектив развития контейнерной транспортной системы / О. В. Москвичев, Ю. С. Никонов // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 4. – С. 37–39.
- 3 Никонов, Ю. С. Методика определения контейнеропригодности продукции / Ю. С. Никонов // Мир транспорта. – 2015. – № 3. – С. 184–190.
- 4 Галин, А. В. Сухие порты как часть транспортной инфраструктуры. Направления развития / А. В. Галин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2 (24). – С. 87–92.
- 5 Янченко, А. А. Экспериментальные исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы в условиях свободного порта Владивосток / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова, Д. А. Оськин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2019. – № 1. – С. 57–67.
- 6 Multi-AGV scheduling for conflict-free path planning in automated container terminals / M. Zhong [et al.] // Computers & Industrial Engineering. – 2020. – Vol. 142. – P. 248–257.
- 7 Yard crane and AGV scheduling in automated container terminal: A multi-robot task allocation framework / X. Chen [et al.] // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2020. – Vol. 114. – P. 241–271.
- 8 Сравнительный анализ показателей эффективности автоматизированных и неавтоматизированных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 1 (51). – С. 76–83.
- 9 Янченко, А. А. Методика анализа технологического процесса обработки груза на контейнерном терминале / А. А. Янченко, Т. Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 2. – С. 20–26.
- 10 Аналитические модели оценки производительности морских грузовых фронтов контейнерных терминалов / А. В. Галин [и др.] // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4 (42). – С. 249–253.

N. A. KEKISH

**CHANGE IN THE SPATIAL ORGANIZATION
OF RAILWAY TERMINALS AND TECHNICAL
SUPPORT OF TERMINAL INFRASTRUCTURE IN THE FACE
OF GROWING CONTAINERIZATION OF CARGO FLOW**

The article analyzes the impact of potential mass containerization of cargo flow on the spatial organization of railway terminals. There is a hypothesis that the transition to the processing of a single type of cargo units will lead to functional zoning of terminals not by a named group of cargo, but according to the principle of the technological stage of container processing. The proposed option for segmenting the territory of the terminal is based on the observance of the logical sequence of operations and the rationalization of warehouse logistics of containers during their processing. Research revealed the limitation of the scope of application of existing models of spatial organization of sea container terminals when it comes to the design of analogues for railway transport. In particular, it is proposed to modify the methodology of calculating the processing capacity of cargo areas in order to obtain adequate results, taking into account various layouts of containers on wagons and the number of performed container operations.

Получено 19.10.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.21.001.2:004

С. С. КОЖЕДУБ

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

**ФОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ
ГЕНЕРАЦИИ ЦИФРОВОГО МАСШТАБНОГО ПЛАНА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ**

Исследуется проблема проведения инженерно-геодезических изысканий на железнодорожных станциях с помощью специализированных программных приложений, позволяющих с незначительными затратами времени формировать цифровой масштабный план с дальнейшим широким использованием полученной базы данных по объектам съемки для решения различных целевых задач проектного и оперативного характера.

Активное развитие информационных технологий способствует автоматизации процессов, связанных с учетом, хранением и дальнейшим использованием данных, которые используются для решения прикладных задач по

проектированию, строительству, реконструкции, текущему содержанию объектов путевого хозяйства железнодорожного транспорта. Особую важность представляет исходная информационная база, обеспечивающая построение цифровых актуализированных масштабных планов железнодорожных станций, формирующихся по результатам инженерно-геодезической съёмки. На основании информации, хранящейся в структурированной базе данных по всем объектам выполненной цифровой съёмки, дальнейшее использование пакетов систем автоматизированного проектирования (AutoCAD, MicroStation, CADDY и др.) позволяет выполнить построение графического масштабного плана станции. Инструментальный набор САПР включает многочисленные геометрические примитивы, которые в элементном или блочном представлении могут идентифицировать участок пути, стрелочный перевод, поездной, маневровый сигнал или другой элемент путевого развития.

Встроенные в системы автоматизированного проектирования языки программирования позволяют создать специализированные программные надстройки, решающие различные прикладные задачи благодаря обращению к созданной базе данных. Цифровой масштабный план путевого развития и технического оснащения железнодорожной станции представляет собой графическое изображение объектов станции, созданное визуализацией соответствующих данных, полученных в результате проведенной съёмки. На цифровом плане отражается геометрически связное путевое развитие станции, включающее все оси станционных сквозных и тупиковых путей, стрелочных переводов, глухих пересечений. На цифровом плане также указываются такие объекты технического оснащения станции, как сигналы, предельные и пикетные столбики, упоры, здания, сооружения, ограждения [1].

Следует отметить, что план путевого развития и технического оснащения железнодорожной станции не является строго масштабным. Графическое обозначение стрелочных переводов, сигналов, пикетных столбиков, ограждений имеют только точки привязки, совпадающие с реальными прототипами. Условные визуальные образы на плане занимают в пять-шесть раз большую площадь, чем в реальности на станционной площадке. Таким образом, исходный масштабный план существующего путевого развития и технического оснащения представляет собой базовую структуру элементов станции, имеющих объектную основу, которые в исходном представлении базы данных неделимы.

Принципиальное отличие цифрового плана от бумажного аналога заключается в том, что компьютерная форма является динамическим изображением, настраиваемым в зависимости от конкретных требований пользователя. Эти две формы объединяет топологическая эквивалентность. Чертёж на бумаге можно рассматривать как рисунок, сплошной и неделимый. Цифровой план формируется из набора структурно определенных графических примитивов, идентифицирующих конкретные физические объ-

екты: станционные пути, стрелочные переводы и др. Каждый графический объект на плане приводится во взаимно однозначное соответствие с параметрическими конструктивами, хранящимися в базе данных.

Обеспечение целостности путевой схемы при хранении цифрового плана обеспечивается по точкам связи, которые являются общими для двух смежных графических объектов (рисунок 1).

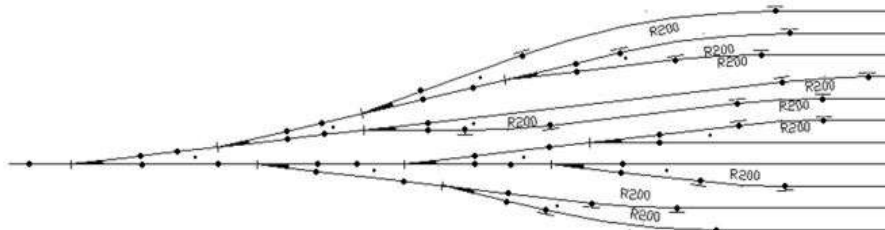


Рисунок 1 – Пример разметки горловины станции по связям линейных объектов

Точки связи, называемые контактными, имеют одинаковое значение характеризующих параметров для смежных графических объектов. Для построения цифрового масштабного плана железнодорожной станции в базе данных необходимо хранить параметры физических объектов, которые определенным образом (в масштабном или немасштабном виде) отображаются на плане. Объекты, информация о которых сохраняется в базе данных, группируются в станционные пути, парки и целые станции. Проектируемая таким образом база данных состоит из 28 таблиц. Структура базы данных и ее краткое описание представлены в таблице 1.

Схема разработанной базы данных отображена на рисунке 2.

Рассмотрим для примера таблицу хранения данных об обыкновенных стрелочных переводах «*Turnouts*». Таблица содержит информацию о съёмке обыкновенных стрелочных переводов, лежащих в парках станции, и связана отношением «один-ко-многим» с таблицей парков «*Yards*». Связь «многие-ко-многим» между таблицей стрелочных переводов «*Turnouts*» и таблицей точек съёмки «*SurveyPoints*» реализуется посредством введения дополнительной таблицы «*TurnoutPoints*» что разделяет любые транзитивные функциональные зависимости.

Данная связь «многие-ко-многим» исходит из того, что каждый обыкновенный стрелочный перевод содержит три точки съёмки, а точка съёмки может принадлежать двум смежным элементам путевой разработки, в том числе стрелочным переводам. Таким образом, дополнительная таблица «*TurnoutPoints*» разбивает данные на более легкую в управлении информацию, чем повышаются общая логичность системы и простота работы с ней.

Таблица 1 – Состав таблиц базы данных

Наименование	Общие сведения о содержимом
Station	Станции, для которых производится съёмка
Yards	Парки, входящие в станцию
Tracks	Пути находящиеся в парках
Turnouts	Обыкновенные стрелочные переводы
TurnoutPoints	Точки съёмки обыкновенных стрелочных переводов
InsulatedJoints	Изостыки
JointPoints	Точки съёмки изостыков
FixedCrossings	Глухие пересечения
FCrossingPoints	Точки съёмки глухих пересечений
Signals	Сведения о сигналах
RSections	Секция пути
RSectionsPoints	Точки съёмки секций путей
TreeWayTurnouts	Двойные перекрёстные стрелочные переводы
TWTurnoutsPoints	Точки съёмки двойных перекрёстных стрелочных переводов
EndStops	Упоры тупиков
EndStopPoints	Точки съёмки упоров
SurveyPoints	Данные о точках съёмки путевого развития
Buildings	Здания и сооружения, относящиеся к станции
BuildingsSurveyPoints	Точки съёмки зданий и сооружений
TypeStation	Справочник типов станций
TypeJoint	Справочник типов изостыков
TypeBase	Справочник видов оснований предельных столбиков
Control	Справочник типов управления стрелочными переводами
Sidedness	Сторонность обыкновенного стрелочного перевода
FrogNumbers	Справочник марок крестовин
TypesRails	Справочник типов рельсов
TypeSignal	Справочник видов сигналов
TypePrism	Справочник видов призм упоров

Выполнение такой нормализации приводит базу данных к третьей нормальной форме, сводя к минимуму избыточность данных и гарантируя при этом полноценно функционирующую информационную среду [2].

Разработанное приложение предназначено для учёта данных, полученных при проведении геодезической съёмки объектов железнодорожной станции. Этот программный продукт позволяет вводить в базу данных точки съёмки объектов путевого развития станции, уточнять полученные данные и удалять неактуальные. Кроме этого, в базе также хранятся данные обо всех объектах технического оснащения, находящихся на территории станции.

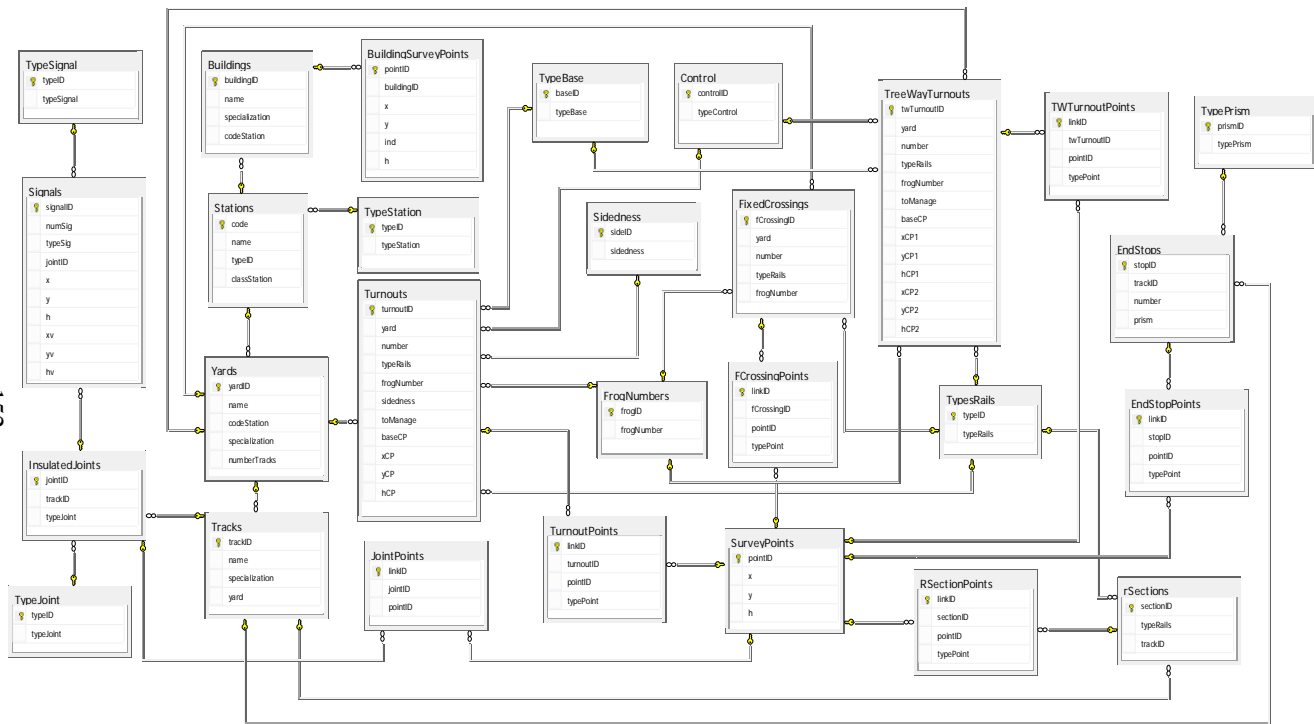


Рисунок 2 – Структура базы данных о съемке станции

Общий интерфейс программного продукта отображен на рисунке 3.

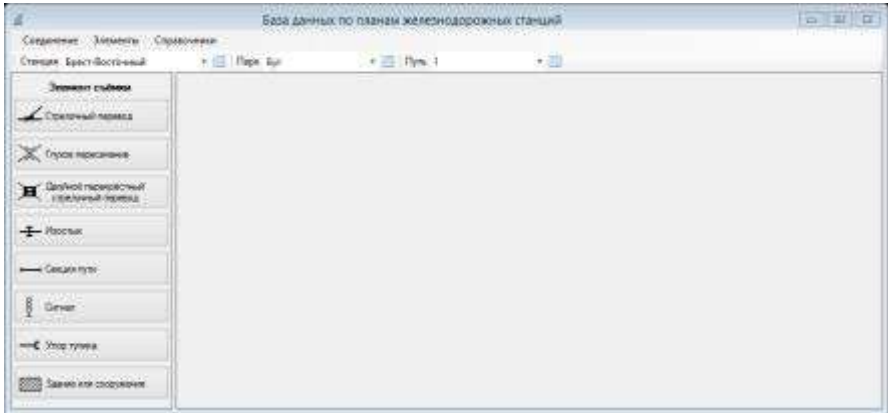


Рисунок 3 – Главное окно приложения

Приложение содержит меню, панель инструментов для выбора текущей железнодорожной станции, её парка и пути. В левой части окна находится панель кнопок «Элементы съёмки» для доступа к элементам управления, используемым для работы с элементами съёмки станции (рисунок 4).

Перед началом съёмки элементов станции производится планирование предстоящих работ с разметкой на абрисе предстоящих объектов съёмки. В процессе съёмки посредством выбора пунктов главного меню «Элементы» (рисунок 4) можно просмотреть, какие элементы уже сняты.

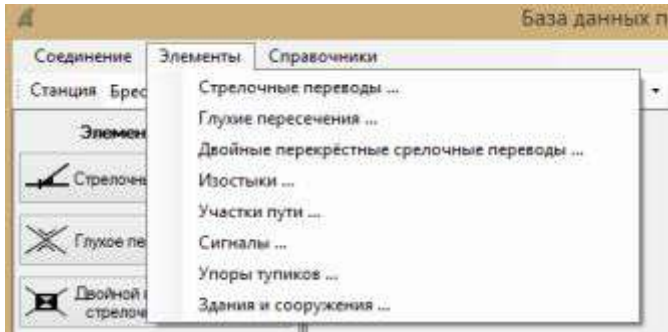


Рисунок 4 – Пункты меню «Элементы»

Например, при активизации пункта «Стрелочные переводы» откроется информационное окно (рисунок 5), в котором выдаётся список прошедших съёмку стрелочных переводов, принадлежащих парку данного списка. В этом списке можно указать существующий в базе данных другой парк текущей железнодорожной станции, и для него будет сформирован и выдан список существующих в базе съёмки стрелочных переводов.

Стрелочные переводы

Номер	Хпред столбца	Упред столбца	Нпред столбца	Х начало остреха	У начало остреха	Н начало остреха	Х задний стьяк II	У задний стьяк II	Н задний стьяк II	Х задний стьяк I	У задний стьяк I	Н задний стьяк I
115	8852.156	3619.190	101.302	8887.931	3656.516	101.667				8889.214	3638.585	101.534
129	8769.111	3743.826	101.065	8716.929	3706.260	101.061				8738.616	3726.475	101.152
123	8811.231	3790.565	101.148	8853.958	3830.665	101.417				8832.870	3810.414	101.336
121	8838.552	3619.978	101.207	8795.081	3781.964	101.234				8816.963	3602.198	101.270
135	8737.099	3728.411	101.058	8779.967	3766.641	101.185				8758.866	3746.405	101.202
137	8703.747	3761.403	100.979	8725.777	3721.055	101.109				8746.837	3741.305	101.196
141	8707.266	3694.080	100.903	8671.215	3662.456	101.027				8690.542	3680.992	101.062
250	8330.918	3296.713	100.526	8387.030	3399.003	100.737	8363.628	3377.492	100.704			
248	8386.645	3291.840	100.509	8329.976	3302.507	100.616	8354.064	3368.759	100.688			

Парк:

Рисунок 5 – Окно со списком элементов, относящихся к станционному парку

Как видно из рисунка 5, в таблице выдаются уникальный в пределах станционного парка номер стрелочного перевода и полученные координаты его точек, используемые в дальнейшем при построении плана станции. По каждому столбцу таблицы осуществляется сортировка номеров стрелочных переводов в возрастающем или убывающем порядке, производимая щелчком мышью по заголовку столбца.

Таким образом, приложение позволяет вести базу данных результатов геодезической съёмки объектов путевого развития железнодорожных станций, зданий и сооружений, образуя единую целостную объектную модель железнодорожных станций. На основании структурированных сведений, хранящихся в созданной базе данных, можно сформировать графический масштабный план станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Техника и технология автоматизированного проектирования железнодорожных станций и узлов (практика применения и перспективы) : учеб. пособие / Н. В. Правдин [и др.]. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 400 с.

2 Бондарь, А. Г. Microsoft SQL Server 2012 / А. Г. Бондарь. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 608 с.

S. S. KOZHEDUB

FORMATION OF A PARAMETRICAL BASIS GENERATION THE DIGITAL SCALE PLAN RAILWAY STATION

The problem of realization researches at railway stations with the help of the specialized program appendices allowing with insignificant expenses time to form the digital scale plan with further wide use of a received database on objects of shooting for the decision various target tasks of design and operative character.

Получено 30.10.2022

УДК 656.21:004.94

И. В. КОРОТКЕВИЧ

АО «Объединенная химическая компания „Уралхим”», г. Москва
steinbergivan@gmail.com

ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОНЛАЙН-КОНТРОЛЯ ДИСЛОКАЦИИ МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

Предлагается новый способ организации контроля и управления маневровой работой промышленного узла, основанный на актуальной информации по дислокации подвижного состава на всех путях железнодорожного узла, обеспечивающей рациональное планирование маневровой работы и исключающее непроизводительные простои вагонов и локомотивов по маршрутам пересечения на станциях. Цифровая инфраструктура, заложенная в основу системы контроля, позволит осуществить координатную привязку объектов управления и визуализировать для диспетчера общую картину перемещения поездов и одиночных локомотивов в узле.

Традиционным способом увеличения эффективности маневровой работы на железнодорожных станциях является использование электрической централизации стрелок и сигналов (ЭЦ). Специфика контроля маршрутов прохода подвижного состава традиционными ЭЦ обуславливается рядом ограничений ЭЦ, и ее использование экономически оправдано, как правило, в горловинах приемо-отправочных парков и на главных путях. Кроме того, следует отметить, что поездная работа, свойственная железнодорожным станциям государственного перевозчика, и грузовая работа промышленных станций имеют существенные различия по интенсивности производимой маневровой работы, несоразмеримой между собой длительности проведения отдельных операций, привлекаемых сторонних ресурсов иных подрядчиков и др.

Анализ технической оснащенности предприятий Уралхим [1] показывает, что в настоящее время управление маршрутами движения поездов по железнодорожной инфраструктуре промышленного транспорта компании централизовано на 30 %. Некоторые предприятия вообще не используют электрической централизации стрелок и сигналов, но вместе с тем выполняют значительные объемы работы. Такая ситуация свидетельствует о недостаточной методической проработке целесообразности использования традиционных систем ЭЦ.

Так, в железнодорожном промышленном узле Пермь (рисунок 1) сконцентрирована грузовая и маневровая работа нескольких предприятий (Уралхим, СИБУРХИМПРОМ, ЛУКОЙЛ), где наблюдается несовпадение бизнес-интересов грузовладельцев – владельцев инфраструктуры подъездных путей и логистических компаний, обслуживающих грузовладельцев.

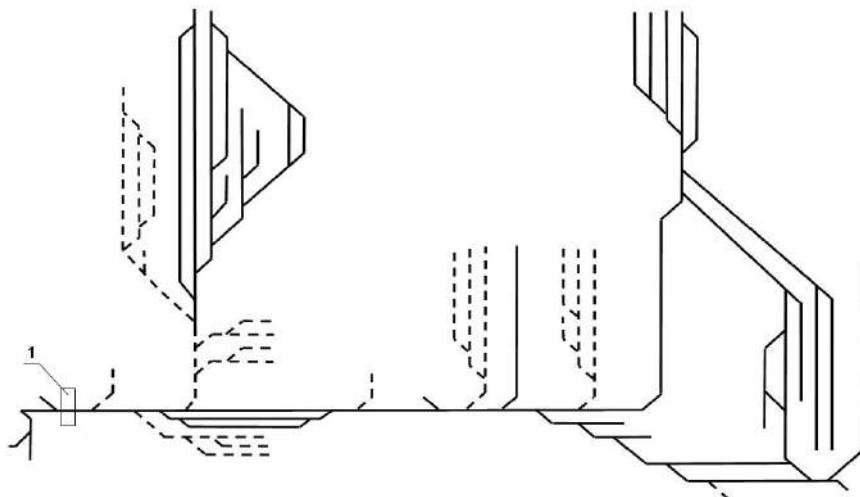


Рисунок 1 – Схема промышленного узла Пермь:

I – зона простоя составов в ожидании выхода на пути ОАО «РЖД»;

————— – пути «УРАЛХИМ»; - - - - - пути «СИБУРХИМПРОМ»

Ключевой особенностью технического оснащения пермского промышленного железнодорожного узла является отсутствие традиционных систем ЭЦ. Однако при этом в узле для выполнения заданного объема работы требуется одновременное передвижение не менее семи маневровых локомотивов с целью эффективного функционирования которых необходим действенный контроль за текущим положением подвижного состава. Для этого предлагается использование цифрового двойника железнодорожной инфраструктуры совместно с данными системы онлайн-контроля дислокации, что позволит решить следующие важные задачи:

- оперативный контроль выходов локомотивов различных перевозчиков на инфраструктуру различных грузовладельцев;
- накопление аналитической информации за необходимый период (смена, день, месяц) о перемещениях локомотивов различных владельцев по инфраструктуре;
- сбор аналитической информации по простоям в ожидании выхода локомотивов на пути перевозчика ОАО «РЖД».

Учитывая тот факт, что в настоящее время планирование маневровой работы каждым субъектом перевозочного процесса в узле осуществляется без учета интересов других участников, предлагаемая система позволит руководству всех компаний-участников реализовать меры по повышению эффективности маневровой работы. Установка соответствующего автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчерскому аппарату и ответственным руководителям каждой компании-участника в железнодорожном узле позволит:

- снизить нерациональные простои локомотивов и вагонов, вызванные конфликтом планов (например, когда два перевозчика запланировали работы своих локомотивов на вытяжке в одно и то же время или когда две маневровые бригады на смежных парках пытаются выполнить подачу и уборку вагонов на грузовых фронтах). Стороны, обладая свободной от субъективного фактора информацией по текущей дислокации, простоях и ожиданиях освобождения занятых путей для своих маневровых локомотивов, а также имеющие возможность просмотра архива перемещений, получают инструмент для аргументированного согласования планов работы и совершенствования технологии работы. Такие конфликты перестанут быть локальным консенсусом между руководителями диспетчерских смен или руководителей маневров различных компаний;

- повысить интенсивность использования инфраструктуры за счет более равномерной ее загрузки. Аналитика за определенный период, полученная с использованием цифрового двойника и архива перемещений, позволит успешно обосновывать требуемые уровни принятия решений по входным и контрольным параметрам грузовой работы для борьбы с системными узкими местами. Так, в периоде одних суток сдвиг некоторых операций для каждого участника в узле на 30 минут ранее или позже традиционно принятых позволит исключить конфликты на определенных ключевых участках инфраструктуры;

- создать предпосылки для построения системы гармонизированного сменно-суточного и оперативного планирования грузовой и маневровой работы.

Взаимосогласованная система сменно-суточного и оперативного планирования грузовой и маневровой работой позволит в перспективе перейти на использование техники работы общим парком локомотивов. Первым этапом такого перехода может стать общий технологический резервный парк локомотивов.

С целью обеспечения устойчивости транспортного обслуживания предприятий непрерывного цикла производства, к которым относятся и Уралхим, и СИБУРХИМПРОМ, и ЛУКОЙЛ, каждый железнодорожный оператор вынужден содержать избыточный парк, так как коэффициент надежности локомотива всегда менее 1,00, и в случае отказа одного маневрового локомо-

тива оперативно передислоцировать исправный локомотив в узел невозможно. Таким образом, если в узле каждый оператор из трех содержит дополнительно один локомотив, то из трех таких локомотивов один можно передислоцировать на другую станцию.

Следует отметить, что диспетчерский персонал иногда способствует снижению коэффициента использования своих локомотивов, чтобы обосновать безопасный избыток. В случае развития системы гармонизированного планирования данный подход (размен качества использования локомотива на количество локомотивов) теряет смысл, так как избыток локомотивов порождает дополнительные конфликты на инфраструктуре из-за увеличения количества передвижений. Кроме того, учитывая тот факт, что стоимость маневрового локомотива составляет около 100 млн рублей, внедрение системы и проведение мероприятий экономически целесообразно.

Также следует отметить, что по итогам нескольких активных итераций предлагаемых мер по совершенствованию грузовой и маневровой работы на основе полученных от цифрового двойника данных между участниками перевозочного процесса в узле возникнут горизонтальные связи, а также появится возможность планирования комплексного развития железнодорожного узла с учетом интересов всех участников. В настоящее время такие работы принципиально невозможны по объективным причинам ввиду отсутствия детализированных, свободных от субъективного фактора данных, закрытости технологических процессов участников, отсутствия мотивации и их заинтересованности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

I. V. KOROTKEVICH

INNOVATIVE ONLINE CONTROL SYSTEM FOR SHUNTING LOCOMOTIVES BASED ON THE USE OF A DIGITAL TWIN OF A RAILWAY STATION

A new way of organizing the control and management of shunting work an industrial hub is proposed, based on up-to-date information on the dislocation of rolling stock on all tracks a railway junction, ensuring rational planning of shunting work and eliminating unproductive downtime of wagons and locomotives along crossing routes at stations. The digital infrastructure laid down in the basis of the control system will make it possible to coordinate control objects and visualize for the dispatcher the general picture the movement of trains and single locomotives in the node.

Получено 12.11.2022

УДК 656.22+06

Е. Е. МИЗГИРЕВА

Ростовский государственный университет путей сообщения,

г. Ростов-на-Дону

BrutalD@yandex.ru

ВНЕДРЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В РОСТОВСКУЮ ГОРОДСКУЮ АГЛОМЕРАЦИЮ

Проанализированы место и роль Ростовской городской агломерации в Программе организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации. Рассмотрены агломерационные эффекты от внедрения ВСМ в Ростовский транспортный узел.

Высокоскоростные магистрали (ВСМ) являются значимым показателем уровня развития транспортной сферы и экономического, социального и политического потенциала страны. Вместе с тем развитость ВСМ отражает уровень качества жизни и коммуникационных способностей в государстве. Становление высокоскоростного и скоростного сообщения определено Программой организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации [1], согласно которой Ростовский транспортный узел включен в системообразующий проект линии Москва – Адлер. В связи с этим огромное значение имеет модернизация сети железных дорог для достижения возможности удовлетворить быстро растущий спрос на грузовые и пассажирские перевозки.

Ростовский транспортный узел является самым большим в Южном полигоне и именуется «Воротами Кавказа» (рисунок 1).

Год	Развитие транспортной инфраструктуры
1749	Основание Темерницкой таможи на левом берегу Дона
1750	К таможе пристроены пристань и пакауз
1756	Основание международной «Российской и Константинопольской торгующей компании»
1836	Строительство ростовской таможи
1839	В город прибыл пароход Митрадат, пришедший из Таганрога
1846	Построен первый чугунолитейный завод
1868	Проведена жд линия от Грушевских каменноугольных рудников до Аксайской пристани
1869	Окончание строительства жд линии от Харькова и Таганрога
1875	Пуск Ростово-Владикавказской железной дороги, открытие развального моста через Дон и первого крупного вокзала
1887	В городе действует конно-железная дорога
1902	Открытие первой трамвайной линии
1926	Заложен завод «Ростсельмаш»
1965	Открыт Ворошиловский мост
1952	Открыт Волго-Донской канал, город становится «портом 5 морей»

Рисунок 1 – Развитие транспортной инфраструктуры, г. Ростов-на-Дону

Ростовский транспортный узел представлен всеми видами транспорта: воздушный – международный аэропорт «Платов», обслуживающий как внутренние сообщения внутри страны, так и международные; водный – порты Ростовский, Таганрогский, Волгодонский, Азовский, Усть-Донецкий; железнодорожный – ведущий железнодорожный узел Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД»; автомобильный – трасса М4 «Дон».

Согласно технической документации все варианты магистрали незначительно отличаются по длине и по влиянию на экологию. Варианты строительства линии ВСМ на территории Ростовской городской агломерации представлены на рисунке 2.

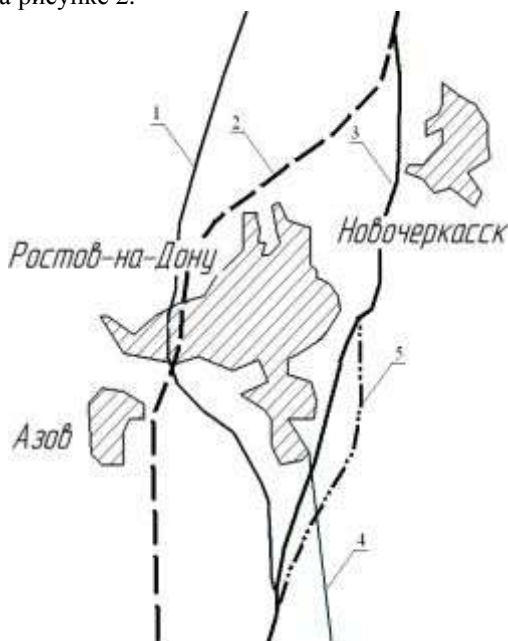


Рисунок 2 – Варианты строительства ВСМ:

1 – вариант, рекомендованный к реализации; 2–5 – альтернативные варианты

Ростовский транспортный узел обладает развитой инфраструктурой (таблица 1), а регион обеспечивает производство широкой номенклатуры грузов благодаря мощным предприятиям машиностроения (ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш», ОАО «Росвертол», ООО ПК «Новочеркасский электровозостроительный завод»), угольной, пищевой и нефтехимической промышленности (ОАО «Каменскволокно»), многоотраслевого сельскохозяйственного производства (ОАО «Астон», ООО «Юг Руси», ООО20 «Евродон»), легкой промышленности (ЗАО «Корпорация „Глория Джинс”») и др.

Согласно [1] Ростовская городская агломерация является ключевым звеном в организации скоростного и высокоскоростного движения в рамках южного полигона (рисунок 3).

Таблица 1 – Основные характеристики Ростовского транспортного узла

Протяженность автодорог, км	134,9	
Протяженность ж.-д. путей, км	83,4	
Протяженность речных путей, км	26,9	
Выход к морю	Ростовский порт – через р. Дон	
МТК, входящие в узел	«Север – Юг» (NS): NSR2, NSR2, NSA4, NSA6, NSA8, NSW4, «Трансиб» (TS): TSA4	
Виды транспорта	Магистральный	Железнодорожный, автомобильный, речной, воздушный
	Городской	Городская электричка, автобус, маршрутное такси, троллейбус, трамвай, скоростной трамвай

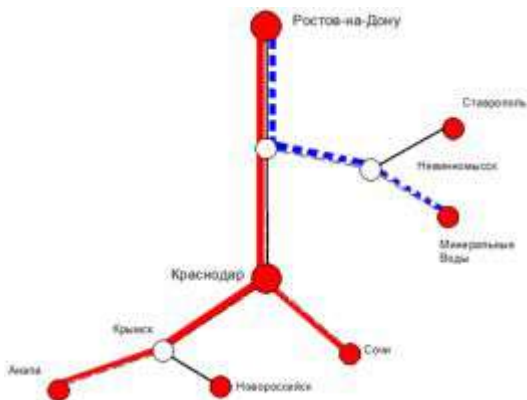


Рисунок 3 – Магистраль Южного полигона:

— — высокоскоростные; — скоростные

Организация скоростного и высокоскоростного пассажирского движения позволит получить определенные геополитические эффекты. Проект ВСМ-3, который является системообразующим на юге России, сократит время поездки от Москвы до курортов Азово-Черноморского побережья до одной ночи в пути. Уже на второй год эксплуатации на участке Москва – Адлер планируется 15 пар ночных поездов в сутки при пассажиропотоке почти 1,5 млн чел., а на маршруте Минеральные Воды – Ростов-на-Дону прогнозируемый пассажиропоток достигнет 0,6 млн чел. (таблица 2).

Таблица 2 – Основные показатели деятельности перевозчиков на ВСМ-3 (Юг)

Пассажиропоток, пас./год		Размеры движения, пар поездов	
на второй год эксплуатации	в 2031	на второй год эксплуатации	в 2031
12 018 023	12 626 872	74	74

Агломерационные эффекты представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Агломерационные эффекты от внедрения ВСМ в городскую среду

В результате внедрения ВСМ в Ростовской городской агломерации прирост валового регионального продукта достигнет 750 млрд руб. Реализация проектов ВСМ, кроме прямых положительных эффектов на развитие транспортной системы, также оказывает благоприятное воздействие на производительность труда, темпы роста городского развития, развитие туризма и общую занятость населения.

Изменения ряда показателей при внедрении ВСМ в Ростовскую городскую агломерацию представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение показателей при внедрении ВСМ

Наименование показателя	Значение показателя	
	До ВСМ	После ВСМ
Плотность транспортной сети, км/м ²	0,24	0,36
Относительная величина освоенной территории, га	305800	372807
Коэффициент Энгеля	0,39	0,46
Коэффициент связности узла	2,2	2,3
Коэффициент достижимости узла	2,69	2,6
Уровень организации узла	0,963	0,972

На примере строительства ВСМ мы видим, что масштабные инвестиции в сфере транспорта, как правило, влекут за собой развитие сообщения между периферийными районами и административными центрами, что благоприятно влияет на централизацию рынка труда и концентрацию трудовых ресурсов. Концентрация трудовых ресурсов тесно связана с уровнем производительности и последующим экономическим ростом (рисунок 5).



Рисунок 5 – Влияние концентрации трудовых ресурсов на экономический рост

Таким образом, развитие ВСМ оказывает положительное влияние на укрепление рынков, обеспечивая доступ к ключевым ресурсам, таким как финансовые, трудовые и пр. Все это ведет к увеличению производительности и, как следствие, к росту региональной экономики и экономики страны в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Программа организации скоростного и высокоскоростного движения железнодорожного сообщения в Российской Федерации : утв. протокольным решением заседания правления ОАО «РЖД» от 23 ноября 2015 г. № 43.

2 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р.

3 Булавина, Л. В. Проектирование и оценка транспортной сети и маршрутной системы в городах: выполнение курсового и дипломного проектов : учеб.-метод. пособие / Л. В. Булавина. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 48 с.

4 Высокоскоростная магистраль «Поволжье – Юг» в опорном каркасе ВСМ России / Д. В. Железнов [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 6 (60). – С. 53–58.

5 Иванова, Е. А. Развитие ВСМ в России с учётом динамики пассажиропотоков и общественного мнения / Е. А. Иванова, Т. А. Флягина // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18, № 6 (91). – С. 248–270.

6 Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс : учеб. пособие : в 2 т. / И. П. Киселев [и др.]; под ред. И. П. Киселева. – М. : «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – Т. 1. – 308 с.

7 Трапенов, В. В. Особенности разработки имитационной модели работы транспортно-складского комплекса / В. В. Трапенов, Н. М. Луганченко // Транспорт и логистика: актуальные проблемы стратегического развития и оперативного управления : VI Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д, 2022. – С. 233–236.

E. E. MIZGIREVA

ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE INTRODUCTION OF HIGH-SPEED HIGHWAYS IN THE ROSTOV URBAN AGGLOMERATION

The place and role of the city of Rostov-on-Don in the Program of the organization of high-speed and high-speed railway communication in the Russian Federation are analyzed. The agglomeration effects of the introduction of HSR into the Rostov transport hub are considered.

Получено 15.11.2022

УДК 656.021.5

В. Я. НЕГРЕЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ «ЛЁГКИХ» И «ТЯЖЁЛЫХ» ПОЕЗДОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

Сравнительными расчетами доказывается энергоэффективность технологии раздельного формирования «тяжёлых» и «лёгких» поездов, зависящей от степени заполнения пропускной способности участка и количества главных путей на перегоне, а также от размеров движения грузовых и пассажирских поездов, соотношения их скоростей движения, уровня технического оснащения сортировочной станции и количества раздельных пунктов на железнодорожном участке. Показано, что при увеличении уровня загрузки железнодорожного участка эффективность раздельного формирования «лёгких» и «тяжёлых» поездов повышается.

Повышение энергоэффективности перевозочного процесса, а также тенденция постоянного роста стоимости энергетических ресурсов, необходимость повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта существенно изменили отношение к задаче энергоэффективности перевозочного процесса. Одной из возможных технологий повышения энергоэффективности работы сортировочных станций является раздельное формирование тяжеловесных и длиннооставных поездов при ограниченной длине приемо-отправочных путей.

Для целого ряда назначений плана формирования поездов осевая нагрузка вагонов описывается нормальным законом распределения

$$P(q_0) = \frac{1}{\sigma_{q_0} \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{U^2}{2}, \quad (1)$$

где

$$U = \frac{q_0 - \bar{q}_0}{\sigma_{q_0}},$$

\bar{q}_0 – математическое ожидание случайной величины q_0 , т/ось; σ_{q_0} – среднее квадратическое отклонение осевой нагрузки, т.

С достаточной точностью

$$\sigma_{q_0} = \beta \sqrt{\bar{q}_0}, \quad (2)$$

где β – коэффициент, который изменяется в пределах от 0,5 до 0,8.

Границы для отнесения вагона к категории «лёгкий» или «тяжёлый» выбираются на основе анализа структуры погонопотоков отдельных назначений их мощностей и дальности следования. Наиболее часто принимается что вагон «лёгкий», если

$$q_{0л} \leq \bar{q}_0,$$

«тяжёлый», если

$$q_{0т} \geq \bar{q}_0.$$

При такой частой процедуре выбора категории вагона и нормальном законе распределения среднее значение осевой нагрузки «лёгких» вагонов

$$\bar{q}_{0л} = \bar{q}_0 - \frac{\int_0^0 q_0 P(q_0) dq_0}{\int_{-\infty}^0 P(q_0) dq_0}. \quad (3)$$

Для «тяжёлых» вагонов

$$\bar{q}_{0т} = \bar{q}_0 + \frac{\int_0^{\infty} q_0 P(q_0) dq_0}{\int_0^{\infty} P(q_0) dq_0}. \quad (4)$$

После подстановки (1) в (3) получается

$$\bar{q}_{0л} = \bar{q}_0 - \frac{\int_{-\infty}^0 q_0 \frac{1}{\sigma_{q_0} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{U^2}{2}} dq_0}{\int_{-\infty}^0 \frac{1}{\sigma_{q_0} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{U^2}{2}} dq_0}. \quad (5)$$

Опуская промежуточные выкладки, получим окончательное выражение для расчета $\bar{q}_{0л}, \bar{q}_{0т}$, т/ось, в этом частном случае деления вагонов на «лёгкие» и «тяжёлые»:

$$\bar{q}_{0л} = \bar{q}_0 - 0,798\sqrt{\sigma_{q_0}}, \quad \bar{q}_{0т} = \bar{q}_0 + 0,798\sqrt{\sigma_{q_0}}. \quad (6)$$

Например, если $\bar{q}_0 = 15$, $\sigma_{q_0} = 3$, то

$$\bar{q}_{0л} = 15 - 0,798\sqrt{3} = 13,6; \quad \bar{q}_{0т} = 16,4.$$

Удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги на бесстыковом пути определяется по формуле

$$w'_{0т} = 1,9 + 0,008v + 0,00025v^2. \quad (7)$$

В режиме холостого хода

$$w'_{0х} = 2,4 + 0,009v + 0,00035v^2. \quad (8)$$

Средневзвешенное основное удельное сопротивление движению локомотива

$$w'_0 = \beta w'_{0т} + (1 - \beta)w'_{0х}, \quad (9)$$

где β – доля режима тяги при движении поезда.

Работа по определению сил сопротивления при движении поезда, т·км,

$$R = L(m_n w'_0 + m_c w''_0 + (m_n + m_c)i_s)N_c \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

где L – длина участка, км; m_n, m_c – масса брутто соответственно локомотива и состава, т; N_c – среднесуточное количество поездов данного назначения.

При раздельном формировании «лёгких» и «тяжёлых» поездов

$$N_{сл} = \frac{m_{сут,л}}{n_c}, \quad (11)$$

где $m_{сут,л}$ – суточное количество «лёгких» вагонов; n_c – количество вагонов в составе «лёгкого» поезда.

Аналогичным образом рассчитывается $N_{ст}$.

Годовая экономия дизельного топлива при раздельном формировании поездов

$$\Delta B = 365 \cdot 0,85R. \quad (12)$$

Для иллюстрации энергоэффективности рассмотрим пример для участка длиной 320 км, обслуживаемого локомотивом массой 276 т и технической скоростью движения 70 км/ч. В режиме тяги $\beta = 0,65$. Среднесуточное количество вагонов данного назначения 240, математическое ожидание осевой нагрузки 15 т/ось, а её среднее квадратическое отклонение 3 т. Эквивалентный уклон $i_s = 0,3$ ‰.

Для исходного варианта формирования поездов основное удельное сопротивление движению грузовых поездов составляет

$$w''_0 = 0,7 + \frac{3,0 + 0,09 \cdot 70 + 0,002 \cdot 70^2}{15} = 1,97 \text{ кг/т.}$$

При раздельном формировании поездов осевая нагрузка для «тяжёлых» вагонов

$$\bar{q}_{0т} = 15 + 0,798\sqrt{3} = 16,38 \text{ т/ось.}$$

Для «лёгких»

$$\bar{q}_{0л} = 15 - 0,798\sqrt{3} = 13,62 \text{ т/ось.}$$

Удельное сопротивление движению «тяжёлых» вагонов

$$w''_{0т} = 0,7 + \frac{3,0 + 0,09 \cdot 70 + 0,002 \cdot 70^2}{16,38} = 1,87 \text{ кг/т.}$$

Для «лёгких» вагонов $w''_{0л} = 2,10$ кг/т.

Удельное сопротивление движению локомотива в режиме тяги $w'_{0т} = 3,69$ кг/т, а в режиме холостого хода – 4,75 кг/т. Средневзвешенное удельное сопротивление движению локомотива, если доля режима тяги $\beta = 0,65$ составит 4,06 кг/т.

Работа по преодолению сил сопротивления при исходном варианте формирования составов

$$R = 320(276 \cdot 4,06 + 1,97 \cdot 3600 + (276 + 3600) \cdot 0,3) \cdot \frac{240}{60} \cdot 10^{-3} = 12000,5 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Работа по преодолению сил сопротивления «легких» поездов, включающих 80 вагонов,

$$R_{л} = 320(276 \cdot 4,06 + 13,6 \cdot 4 \cdot 80 \cdot 2,10 + (276 + 13,6 \cdot 4 \cdot 80) \cdot 0,3) \cdot \frac{120}{80} \cdot 10^{-3} = 5591,1 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Для «тяжёлых» поездов

$$R_{т} = 320(276 \cdot 4,06 + 16,4 \cdot 4 \cdot 60 \cdot 1,87 + (276 + 16,4 \cdot 4 \cdot 60) \cdot 0,3) \cdot \frac{120}{60} \cdot \frac{15,0}{16,4} \cdot 10^{-3} = 5704,1 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Суммарная работа по преодолению сил сопротивления при раздельном формировании поездов $R_c = 11295,2$ т·км.

Раздельное формирование поездов данного назначения обеспечивает экономию механической работы локомотивов

$$\Delta R = 12000,5 - 11295,2 = 705,3 \text{ т} \cdot \text{км}.$$

Годовая экономия дизельного топлива

$$\Delta B = 365 \cdot 0,85 \cdot 705,3 = 218819 \text{ кг} = 218,8 \text{ т}.$$

Экономия ТЭР существенно зависит от продольного профиля железнодорожной линии. Исследования показали, что при уменьшении эквивалентного уклона величина экономии ТЭР также сокращается. Раздельное формирование «тяжёлых» и «лёгких» поездов позволяет получить существенный эффект, который возникает в связи с сокращением размеров движения на железнодорожной линии и ростом участковой скорости.

При традиционной технологии работы сортировочной станции коэффициент участковой скорости на однопутных линиях

$$\beta = \frac{(24 - t_{ст}(n_{гр} + 2n_{пас}))L}{24L - 12v_x t_{ст}}, \quad (13)$$

где L – длина однопутного участка; $n_{гр}$, $n_{пас}$ – среднесуточное количество соответственно грузовых и пассажирских поездов на участке; $t_{ст}$ – продолжительность нахождения вагонов на станции.

Величина $t_{ст}$ определяется по формуле

$$t_{\text{ст}} = (0,12 + 0,01n_p) \frac{2L}{z_{\text{пер}} v_x} + \sum \tau_{\text{пз}}, \quad (14)$$

где n_p – расчётное количество поездов на участке; $z_{\text{пер}}$ – количество перегонов на участке; v_x – ходовая скорость; $\sum \tau_{\text{пз}}$ – продолжительность разгона и замедления поезда.

При раздельном формировании поездов

$$\beta_{\text{рф}} = \frac{(24 - t_{\text{ст}}(n_{\text{гр}} - \Delta n_{\text{гр}} - 2n_{\text{пас}}))L}{24L - 12v_x t_{\text{ст}}}, \quad (15)$$

$$t_{\text{ст}} = (0,12 + 0,01(n_p - \Delta n)) \frac{2L}{z_{\text{пер}} v_x} + \sum \tau_{\text{пз}}. \quad (16)$$

При сравнении выражений (15) и (13) очевидно, что $\beta_{\text{рф}} > \beta$, что свидетельствует о повышении участковой скорости на величину

$$\Delta v_{\text{уч}} = v_x (\beta_{\text{рф}} - \beta). \quad (17)$$

Кроме повышения участковой скорости раздельное формирование «лёгких» и «тяжёлых» поездов сокращает количество остановок грузовых поездов на раздельных пунктах для скрещения и обгонов, приходящийся на пару поездов.

Для исходного варианта

$$k_{\text{ост}} = \frac{(n_{\text{гр}} + 2n_{\text{пас}})L}{12v_x \beta} - 1. \quad (18)$$

Для предлагаемой технологии

$$k_{\text{ост}}^p = \frac{(n_{\text{гр}} - \Delta n_{\text{гр}} - 2n_{\text{пас}})L}{12v_x \beta_{\text{рф}}} - 1. \quad (19)$$

Общее количество остановок поездов на участке за сутки

$$\bar{k}_{\text{ост}} = \left(\frac{k_{\text{ост}}}{2} + 1 \right) \cdot 2n_{\text{гр}}. \quad (20)$$

Среднесуточная экономия ТЭР из-за сокращения количества остановок на участке

$$\Delta B = 0,85 \left[\left(\frac{k_{\text{ост}}}{2} + 1 \right) \cdot 2n_{\text{гр}} b_{\text{ост}} - \left(\frac{k_{\text{ост}}^p}{2} + 1 \right) (2n_{\text{гр}} - \Delta n_{\text{гр}}) b_{\text{ост}}^p \right], \quad (21)$$

где $b_{\text{ост}}$, $b_{\text{ост}}^p$ – механическая работа локомотива, связанная с остановкой поезда на раздельном пункте для скрещения или обгона.

Анализ энергетической эффективности раздельного формирования поездов показывает, что она зависит от степени заполнения пропускной способ-

ности участка и количества главных путей на перегоне. С ростом уровня загрузки участка раздельное формирование «лёгких» и «тяжёлых» поездов энергетическая эффективность повышается. Энергоэффективность существенно зависит от размеров движения грузовых и пассажирских поездов и соотношения их скоростей движения. Значительное влияние на эффективность раздельного формирования оказывает уровень технического оснащения сортировочной станции и количество раздельных пунктов на железнодорожном участке.

Таким образом, использование технологии раздельного формирования «тяжёлых» и «лёгких» поездов позволяет повысить энергоэффективность перевозочного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Негрей, В. Я.* Энергоэффективность перевозочного процесса / В. Я. Негрей // Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2019. – С. 29–32.

2 *Негрей, В. Я.* Развитие теории расчета плана формирования однопутных поездов / В. Я. Негрей, К. М. Шкурин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2017. – № 2. – С. 123–126.

3 Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов / П. С. Грунтов [и др.]; под общ. ред. П. С. Грунтова. – М. : Транспорт, 1994. – 543 с.

4 Сортировочные станции : учеб. пособие / М. Н. Луговцов [и др.] – Гомель : БелГУТ, 2009. – 248 с.

5 *Негрей, В. Я.* Повышение безопасности и энергоэффективности перевозочного процесса / В. Я. Негрей, Д. В. Козлович // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 160-летию Бел. ж. д. В 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2022. – С. 51–52.

V. Ja. NEGREY

ENERGY EFFICIENCY OF SEPARATE FORMATION «EASY» AND «HEAVY» TRAINS AT SORTING STATIONS

By comparative accounts is proved energy efficiency of technology separate formation «heavy» and «easy» trains dependent from a degree of filling throughput a site and quantity the main ways on railway line, and also from the sizes of movement cargo and passenger trains, parity of their speeds movement, level a hardware of sorting station and quantity of separate items on a railway site. Is shown, that at increase a level of loading a railway line the efficiency separate formation of «easy» and «heavy» trains raises.

Получено 02.12.2022

УДК 656.029.4:004

В. А. ПАДАЛИЦА

СООО «Трансрэйл-БЧ», г. Минск

vladimir.padalitsa@interrail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЦЕНТРА КООРДИНАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК ЕАЭС

Целью создания центра координации международных контейнерных перевозок (ЦК МКП) по территории государств – членов ЕАЭС в статье определяется возможность существенного повышения эффективности использования транзитного потенциала транспортных коридоров в условиях значительного превышения спроса над предложением сервисов на международные контейнерные перевозки в сообщении Китай – Европа – Китай в период кризиса, начавшегося в 2020 году и усугубляющегося геополитическими событиями последних лет.

Традиционный путь решения проблемы превышения спроса над предложением в международных контейнерных перевозках – это повышение тарифов на транзитные перевозки. По такому пути идут китайские партнеры, которые организовали продажу дефицитных мест в контейнерных поездах мест на конкурсной основе. В результате такой меры средняя стоимость перевозки гружёного 40-футового контейнера из Китая в страны Евросоюза возросла с 5–7 до 15–20 тыс. дол. При этом составляющая стоимости перевозки в контейнерных поездах за участок колеи 1520 мм по инфраструктуре государств – членов ЕАЭС (маршрут Достык – Брест) остаётся в открытом доступе почти на докризисном уровне – около 3 тыс. дол.

Такая стабильность цен на транспортном коридоре стран ЕАЭС обусловлена, по нашему мнению, опасениями железнодорожных администраций государств – членов ЕАЭС и их структур (в частности, ОТЛК-ЭРА) ухудшить отношения с китайскими партнёрами и потерять достигнутые объёмы перевозок. Во-вторых, в условиях резкого роста объёмов контейнерных перевозок при ограниченных пропускных способностях инфраструктуры и дефиците транспортных средств существенно снизилось качество сервисов в контейнерных поездах. Если докризисный срок доставки из

Китая в Европу составлял 12–14 суток при среднесуточной скорости около 1000 км/сутки, то в 2021 году срок доставки увеличился до 30–40 суток и более при снижении скорости до 500–300 км/сутки. Основная причина возникновения такого негативного обстоятельства заключается в ограничении приёма поездов польскими и немецкими железными дорогами при несогласованности с китайскими партнёрами.

В 2022 году объёмы перевозок снизились, и движение в направлении Запад – Восток в основном стабилизировалось. Но аналогичные проблемы возникли в обратном направлении, что связано с ограничением приёма поездов Китайскими железными дорогами при несогласованности с европейскими партнёрами.

В рамках Аналитического доклада Евразийской экономической комиссии (ЕЭК ЕАЭС) по международным контейнерным перевозкам в [1] приводится развернутый анализ этих и других факторов недостаточного эффективного использования пропускных способностей инфраструктуры и транспортных средств, а также условий, препятствующих продаже сервисов транзитных контейнерных перевозок структурами ЕАЭС по рыночным ценам на основе анализа спроса и предложения по примеру китайских партнёров. На основе этого анализа даётся ряд рекомендаций, которые сводятся к необходимости создания в рамках ЕАЭС рыночного механизма координации международных контейнерных перевозок и дифференциации сервисов в транзитных контейнерных поездах по соотношению цены и качества с учётом спроса и предложения. Наличие такого механизма позволит обеспечить привлечение к перевозкам высокомаржинальных товаров, которые более чувствительны к качеству сервисов по критериям скорости и регулярности, чем к их ценам. При этом базовые действующие тарифы для сервисов, качество которых ограничивается общими требованиями СМГС, в частности, скорость перевозок – не ниже 150 км/сут, могут оставаться на прежнем уровне. Цена сервисов повышенного качества по критериям, превышающим требования СМГС (в частности, гарантированная скорость до 1000 км/сут), должна устанавливаться на основе недискриминационного доступа к этим сервисам.

Создание такого механизма представляется целесообразным и возможным под эгидой Департамента транспорта и инфраструктуры Евразийской экономической комиссии (ЕЭК ЕАЭС). Организационной основой этого механизма должен быть, по нашему предложению, Центр координации международных контейнерных перевозок ЕАЭС (ЦК МКП).

Целевые задачи ЦК МКП предполагаются следующие:

– маркетинговый анализ конъюнктуры рынка международных контейнерных перевозок (МКП) с целью привлечения к перевозкам по маршрутам ЕАЭС транзитных высокомаржинальных контейнерных грузов;

– разработка предложений сервисов МКП на основе данных национальных операторов инфраструктуры и транспортных средств государств – членов ЕАЭС. Основным комплексным (интегрированным) выражением этих предложений должны быть сквозные нитки расписаний движения международных контейнерных поездов;

– определение текущего спроса на сервисы МКП и продажа (по поручениям национальных операторов инфраструктуры и транспортных средств) сквозных ниток расписаний МКП и мест в контейнерных поездах на цифровой бирже на основе свободной конкуренции и недискриминационного доступа к сервисам МКП;

– координация исполнения сквозных расписаний МКП посредством рекомендаций для национальных перевозчиков без вмешательства в непосредственное управление перевозками;

– анализ исполненных сквозных расписаний МКП на основе мониторинга МКП создания доказательной базы для распределения ответственности за нарушение договорных условий продажи ниток МКП и мест в контейнерных поездах.

Предполагается, что в своей деятельности ЦК МКП должен опираться:

– на усовершенствованные (адаптированные к современным требованиям рынка и возможностям информационно-коммуникационных технологий) правовые, нормативно-технические, экономические (тарифные) и технологические условия организации международных контейнерных перевозок по инфраструктуре государств – членов ЕАЭС;

– цифровую интеграционную платформу, объединяющую ИТ-системы ключевых участников международных контейнерных перевозок и создающую на их основе единое доверительное цифровое пространство [2].

Для совершенствования условий организации МКП предлагается разработать соответствующее Соглашение между ключевыми участниками МКП как дополнительный акт к СМГС. Первый шаг в этом направлении уже сделан. В рамках ОСЖД разработано «Соглашение о перевозке контейнеров в составе контейнерных поездов в международном сообщении» [3]. В этом Соглашении введено понятие контейнерного поезда и оператора контейнерного поезда. В развитие данной концепции предлагается разработать Соглашение о перевозке групп контейнеров. Операторы этих групп будут заинтересованы в покупке сквозных расписаний МКП, т. е. станут реальными покупателями этих ниток и мест в контейнерных поездах.

В рамках указанного соглашения должны быть решены вопросы тарификации МКП при перевозках по сквозным расписаниям. При этом следует предусмотреть унификацию с тарифными условиями на сопредельных железных дорогах трех стран, где созданы механизмы продажи ниток расписания грузовых поездов по принципу «вези или плати».

Параллельно с разработкой Соглашения должна разрабатываться интеграционная цифровая платформа (ИЦП МКП), объединяющая ИТ-системы ключевых участников международных контейнерных перевозок и создающая на их основе единое доверительное информационное пространство.

В рамках ИЦП МКП должен быть создан цифровой механизм разработки, продажи, координации и контроля исполнения сквозных расписаний как дополнительный сервис Экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС. Этот новый сервис может разрабатываться после реализации перечня сервисов, утверждённых Распоряжением Совета ЕАЭС № 29 от 23.11.2020 г. в соответствии с п. 2 этого Распоряжения. Разработка данного сервиса завершается в этом году. В перечень включён только один фундаментальный сервис по электронной накладной (e-СМГС). Типовой прототип этого модифицированного сервиса ориентирует действующие ИТ-системы железнодорожных администраций государств – членов ЕАЭС на использование новых стандартов СЕФАКТ ООН).

В рамках этого сервиса предлагается предусматривать продажу ниток сквозных расписаний на электронной бирже цифровой интеграционной платформы, играя на повышение. При этом стартовая цена может оставаться на уровне, близком к докризисному. Покупателями расписаний могут быть грузовладельцы или операторы контейнерных перевозок, а продавцами – железные дороги стран – членов ЕАЭС через биржевого посредника в лице ЦК МКП.

Создаваемый ИЦП МКП не должен подменять собой информационные системы участников транспортных коридоров и не должен вмешиваться в решение национальных задач и нарушать национальный суверенитет стран – членов ЕАЭС. Напротив, ИЦП МКП должен базироваться на ИТ-системах различных национальных участников внешнеэкономической деятельности с целью координации их взаимодействия на международном уровне и достижения синергетических эффектов. При этом ИЦП МКП должен обеспечить их полную информационную безопасность при работе в международных технологиях. Важной целевой задачей ИЦП МКП является обеспечение информационно-аналитической поддержки технологических процессов и управляющих решений персонала участников перевозок по Евразийским коридорам на всех этапах жизненного цикла международной грузовой перевозки.

Организационно-правовой формой ЦК МКП может быть автономная некоммерческая организация (АНО), создаваемая по законам РФ, так как офис Евразийской экономической комиссии находится в Москве. На первом этапе формируется проектный офис, создаваемый за счёт соответствующих средств ЕАЭС. После ввода в эксплуатацию предусматривается перевод

данного проектного офиса на самофинансирование за счёт доходов, получаемых от продажи цифровых сервисов МКП.

Для разработки проекта по созданию ЦК МКП предлагается создать рабочую группу при Консультативном комитете по транспорту и инфраструктуре Евразийской экономической комиссии, которая должна определить порядок решения названных выше вопросов на научной основе в экспериментальном порядке. Учитывая сложность и масштабность проектной задачи, представляется целесообразными проводить эксперимент на ограниченном пилотном полигоне, где будет организовано движение транзитных контейнерных поездов по гарантированным сквозным расписаниями на основе только одной нитки графика, выделяемой железнодорожными администрациями России, Беларуси и Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Анализ контейнерных перевозок в целях выработки предложений по их развитию в рамках Евразийского экономического союза. Аналитический доклад [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.eurasiancommission.org/ru/act/energetikaaiinfr/transport/Pages/info.aspx. – Дата доступа : 12.11.2022.

2 Соглашение о перевозке контейнеров в составе контейнерных поездов в международном сообщении [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://osjd.org/ru/8974/page/106077?id=2881>. – Дата доступа : 12.11.2022.

3 *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. A. PADALITCA

INCREASE EFFICIENCY OF USE RAILWAY INFRASTRUCTURE TRANSPORT CORRIDORS AT CREATION THE CENTRE OF COORDINATION INTERNATIONAL CONTAINER TRANSPORTATIONS EAEC

In clause defined the opportunity of essential increase efficiency use of transit potential transport corridors. For this purpose it is offered to create the centre of coordination the international container transportations on territory of the states EAEC. Significant excess of demand above the offer services on the international container transportations in the message China – Europa – China now is observed. This condition was provoked the crisis which has begun in 2020, amplifying geopolitical events of last years.

Получено 10.11.2022

УДК 656.21.001.2:004

Е. М. ПЕРЕПЛАВЧЕНКО

ПО «Белоруснефть», г. Гомель

evgeniy.pereplavchenko@yandex.by

СТРУКТУРА УНИФИЦИРОВАННОЙ ЦИФРОВОЙ СХЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ

В зависимости от изображаемых объектов схемы станции классифицируются на технические и технологические. Рассматривается алгоритм формирования конечной схемы станции с использованием исходных данных масштабного плана. Формулируются требования к шаблону, технической и технологической схемам станции.

В практике проектной и эксплуатационной работы на станциях используются различные немасштабные схемы путевого развития (схематический план, схема станции с примыкающими подъездными путями, схемы станции с коммуникациями водо-, энерго-, газоснабжения, с разграничением территории станции по зонам ответственности подразделений, организационно-технологическая, схема служебных проходов, схема с технологическими линиями обслуживания вагонопотоков различных категорий и др.). Все эти схемы имеют одну и ту же структурную основу путевого развития.

В зависимости от изображаемых объектов все схемы станции можно разделить на технические, отображающие реальные объекты станции (пути, стрелочные переводы, светофоры, контактную сеть, здания и сооружения), и технологические, на которых кроме объектов путевого развития и технического оснащения изображаются с помощью определенных условных обозначений объекты, не содержащиеся на масштабном плане станции (технологические линии пропуска поездов, зоны ответственности подразделений, «парки-рыбки», маневровые районы).

Объекты путевого развития и их атрибуты включаются в цифровой масштабный план, из которого сведения могут быть перенесены в структуру соответствующей цифровой схемы. Технологические объекты отсутствуют в цифровом плане и должны быть воспроизведены в конкретной схеме по некоторым установленным правилам. Следует отметить, что даже объекты путевого развития плана станции визуально не идентичны соответствующим объектам немасштабной схемы. Последние претерпевают масштабированные деформации. Например, изображения стрелочных переводов схемы отличаются размерами графического блока и углом отворота бокового пути; длины станционных путей схемы только соразмерны длинам соответ-

вующих путей плана; криволинейные участки станционных путей в пределах полезной длины на схемах могут изображаться прямыми и т. д. Масштабный план и немасштабную схему данной станции объединяет топологическая эквивалентность, при которой сохраняется взаимное расположение участков путей и стрелочных переводов. Именно благодаря топологической эквивалентности из масштабного плана станции может быть выделена структура шаблона, которая повторяется в любой из перечисленных выше схем станции. Шаблон становится своеобразным структурным «ядром», на которое в дальнейшем «нанализываются» объекты, формирующие соответствующую схему (например, зоны парковой структуры «рыбки» и маневрового района – для технологической схемы; цветовые области зон ответственности подразделений по территории станции – для организационно-распорядительной схемы и др.).

Узкоспециализированная информационная среда позволит генерировать любую немасштабную схему из базового масштабного плана по определенному алгоритму (рисунок 1).

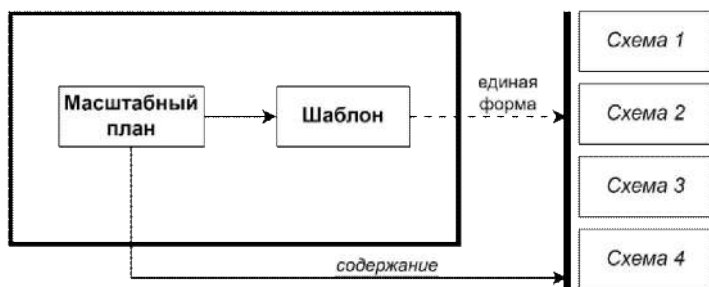


Рисунок 1 – Последовательность операций получения сгенерированной схемы

Шаблон рассматривается как промежуточный образ конструируемой схемы станции, включающий в себя существующее путевое развитие станционных путей и определяющий типизированный графический вид, единый «путевой» скелет для объектов схемы. Шаблон, не имеющий реального образа и визуализируемый только с целью демонстрации предлагаемой технологии трансформации плана в схемы, реализуется посредством алгоритмической конструкции, которая связывает план с разрабатываемыми схемами. К шаблону предъявляется набор специфических требований.

1 Площадь полного графического образа не должна занимать более 75 % площади принятого форматного листа.

2 Все линии осей путей должны быть равной толщины.

3 Междупутья должны быть в пределах от 6 до 10 мм.

4 Горловины изображаются со стандартной канонической увязкой путей (с круговыми кривыми без ломаных).

5 Угол наклона бокового пути к основному в центре перевода – от 15 до 30° и выбран постоянным для всех переводов данной схемы.

6 Все оси станционных путей по возможности параллельны продольной оси станции.

7 Длины изображаемых станционных путей на шаблоне должны быть пропорциональны действительным длинам.

8 Длины изображаемых станционных путей на шаблоне должны превышать длину любой горловины на шаблоне не менее чем в три раза, исключая тем самым эффект бочкообразности парков.

9 Визуально различимы между собой только стрелочные переводы обыкновенные и симметричные, отличающиеся соответствующими графическими обозначениями.

10 Ориентация схемы всегда такова, что слева – нечетная нумерация стрелочных переводов.

Если хотя бы одно требование не выполняется, то образ шаблона переносится на больший размер форматного листа до выполнения всех требований.

Пример шаблона станции приведен на рисунке 2.

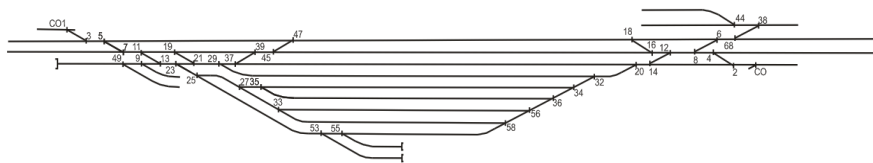


Рисунок 2 – Шаблон путевого развития станции

Так как схем станций достаточно много, каждая из них должна иметь точное название с вполне определенным графическим содержанием. В настоящее время часто используется общее название «Схема станции», на которой представлены путевое развитие и техническое оснащение. Данную схему предлагается называть технической схемой.

Техническая схема станции должна отвечать следующим требованиям:

1) выполняются все требования, предъявляемые к шаблону (кроме 1);
2) площадь полного графического образа не должна занимать более 90 % площади форматного листа соответствующего шаблона;

3) главные пути выделяются жирными черными линиями (на 0,1–0,2 мм толще остальных станционных путей);

4) все пути станции имеют нумерацию, главные и приемо-отправочные – специализацию;

5) рядом с номерами путей в круглых скобках указывается полезная длина в условных вагонах в нечетном и четном направлениях (для путей с приемом и отправлением только пассажирских составов – длина в пассажирских вагонах). Длина условного вагона равна 15 м;

6) указываются контуры основных зданий и сооружений (ПЗ, пассажирские платформы, посты ЭЦ, ДСПП, ДСПГ);

- 7) указываются все значения междупутий;
- 8) указываются все маневровые, входные и выходные светофоры с их наименованием;
- 9) указываются все предельные столбики;
- 10) визуально должен быть отражен способ управления переводами (ЭЦ или ручное);
- 11) приводятся основные поясняющие надписи (название станции, все подходы к станции, ПЗ, ЭЦ и др., примыкающие подъездные пути);
- 12) указываются все пересечения с другими коммуникациями (перезезды, переходные переходы, автомобильные путепроводы, тоннели и др.);
- 13) обозначаются границы станции по всем подходам;
- 14) в левом углу под технической схемой должна быть ведомости путей, стрелочных переводов, зданий и сооружений согласно установленной табличной форме;
- 15) в нижнем правом углу располагается штамп утвержденного вида с выходными данными;
- 16) высота любого текстового фрагмента (кроме названия схемы) должна быть не более $\frac{2}{3}$ ширины минимального междупутья;
- 17) величины междупутий должны размещаться по возможности в створе для каждого парка станции;
- 18) изображения окружностей как элементов светофоров не должны превышать по размерам половины ширины междупутья;
- 19) составные элементы графического изображения всех светофоров должны быть одинаковыми по всей схеме;
- 20) поясняющие надписи, относящиеся к одному объекту схемы, не должны быть больше двух строк и 10 символов в строке;
- 21) условные обозначения специализации путей должны иметь вид стрелки, вписываемой в контуры не более чем двух текстовых фрагментов символов строки;
- 22) нумерация путей указывается на схеме один раз по диагонали (сверху слева и вниз направо), образуя с указанными междупутьями крест;
- 23) осевые линии должны быть штрих-пунктирными $\frac{1}{2}$ толщины изображаемых путей на схеме;
- 24) не допускается касание и пересечение любых графических элементов на схеме (кроме реально пересекающихся объектов и их графических изображений (горочных замедлителей, уложенных на сортировочных путях; складских помещений со сквозным выходом путей и др.);
- 25) главные пути на схеме должны быть длиннее остальных станционных (выступать по краям схемы не менее чем на длину двух съездов схемы);
- 26) все элементы схемы исполняются черным цветом на белом фоне.

Пример технической схемы приведен на рисунке 3.

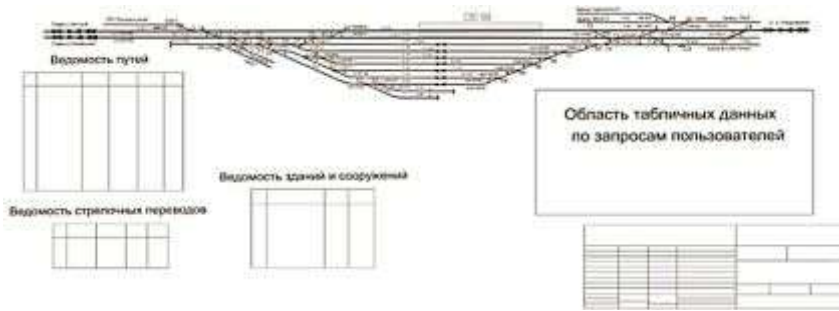


Рисунок 3 – Основные элементы технической схемы станции

К технологической схеме станции в базовом варианте (исключая дополнительные информационные слои) предъявляются другие требования.

1 Схема формируется на основе шаблона с исключением номеров стрелочных переводов. В базе данных все блоки «Стрелочный перевод» отображаются без атрибута «Номер».

2 Парки формируются в виде «рыбки» с покрытием всей области парковых путей маской (штрихованной областью) методом опорных точек по контуру рыбки.

3 Стрелочные переводы без номеров отображаются на схеме только в горловинах.

4 Стрелки специализации и наименования парков указываются в фиксированных опорных точках.

5 Если наименования парков нестандартны (например, «Ленинградский парк»), то указывается место расположения и содержание текстового фрагмента и (при необходимости) с выносной линией привязки данного текстового фрагмента к соответствующему парку.

6 Наименование подходов и подъездных путей обеспечивается вводом соответствующих текстовых фрагментов.

Дальнейшее наполнение технологической схемы станции объектами и атрибутами зависит от её предназначения и достигается путем наложения стандартных или специальных информационных слоев.

Возможная структура специализированной технологической схемы станции отображена на рисунке 4.

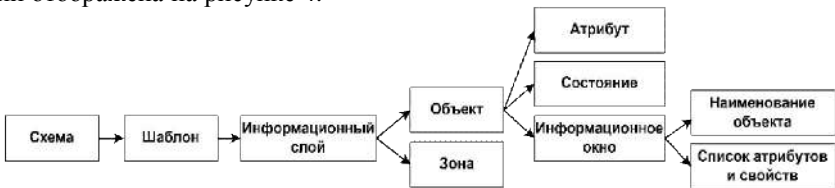


Рисунок 4 – Компоненты технологической схемы железнодорожной станции

Наполнение шаблона с развитием технологической схемы принципиально отличается от соответствующего алгоритма формирования технической схемы. Из-за наличия существенных сложностей компоновочных решений объектов предполагается разработка диалогового интерфейса с контролем оператора над всей процедурой построения технологической схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Элементарная топология / О. Я. Виро [и др.]. – М. : МЦНМО, 2010. – 352 с.
- 2 Головнич, А. К. Объекты железнодорожных станций на цифровых масштабных планах : [монография] / А. К. Головнич. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 340 с.
- 3 Корбюзье, Ле. Модульор: Опыт соразмерной масштабу человека гармоничной системы мер, применяемой как в архитектуре, так и в механике / Ле Корбюзье. – М. : Стройиздат, 1976. – 193 с.

Е. М. PEREPLAVCHENKO

STRUCTURE OF THE UNIFIED DIGITAL SCHEME OF RAILWAY STATION

Depending on the objects depicted, the station diagrams are classified into technical and technological ones. The article discusses the algorithm for generating the final scheme of the station using the initial data of the scale plan, and also formulates the requirements for the template, technical and technological schemes of the station.

Получено 15.10.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.21.001.2:004

Е. М. ПЕРЕПЛАВЧЕНКО

ПО «Белоруснефть», г. Гомель

evgeniy.pereplavchenko@yandex.by

СПОСОБЫ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ НЕМАСШТАБНЫХ СХЕМ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ СТАНЦИЙ

Рассматриваются аналитический и моделирующий способы построения связанной структуры схемы станции на основе данных цифрового масштабного плана с формированием топологически ориентированной линеаризованной конструкции, сохраняющей технически и технологически значимую, визуально отражаемую графическую информацию. Модельный способ предполагает реконструкцию немасштабной схемы по трехмерному образу материальной нити, обладающей физическими характеристиками массы, на которую действуют модельные силы тяжести и упругости.

Немасштабную схему можно получить из плана станции, нарушив масштаб изображения отдельных элементов путевого развития, в частности, удалив значительную часть полезной длины парковых путей или расширив

междупутья при небольшом количестве путей в парках. Эти операции трансформации позволяют представить путевое развитие станции в компактном, визуально обозримом схемном виде. Если станция содержит парковые и другие элементы в кривых, то на схеме их «выпрямляют», формируя расположение путей по возможности вдоль одной оси, как правило, совпадающей с ориентацией главных путей. Таким образом, к масштабному плану станции можно применить определенные топологические преобразования, результатом которых станет немасштабная схема этой же станции. Топологически эквивалентными будут любые преобразования линейно связанных объектов станции (растяжение, сжатие, поворот), не нарушающие их целостности, т. е. допускающие любые деформации его элементов без разрывов. Например, для представленного на рисунке 1 фрагмента путевого развития станции Ω_1 топологически неразличимыми будут следующие преобразования Ω_{1i} .

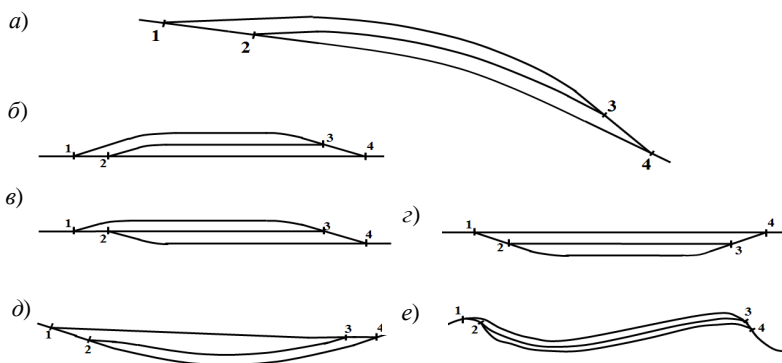


Рисунок 1 – Топологические эквиваленты схем: а – исходная схема; б – выровненная по осям стрелочных переводов 1, 2 и 4 (Ω_{11}); в – по осям 1, 2 и 3 (Ω_{12}); г – по осям 1 и 4 (Ω_{13}); д – обратной кривой (Ω_{14}); е – произвольной деформации (Ω_{15})

Однако для корректности отображения путевой инфраструктуры на различных немасштабных схемах значимым условием при деформации линейного объекта является сохранение сторонности стрелочных переводов. Это условие выполняется только для преобразования Ω_{11} (таблица 1).

Таблица 1 – Корректность отображения объектов путевого развития на топологически трансформированных схемах

Топологические эквиваленты Ω_1	Объекты путевого развития						
	STR1	STR2	STR3	STR4	КР1	КР2	КР3
Ω_{11}	+	+	+	+	-	-	-
Ω_{12}	+	-	+	-	-	-	-
Ω_{13}	-	-	-	-	-	-	-
Ω_{14}	+	-	-	+	+	+	+
Ω_{15}	-	-	-	-	+	+	+

В таблице знаком «+» помечены объекты, сохраняющие в деформациях сторонность (стрелочные переводы) и кривизну (кривые участки); ячейки со знаком «-» – с нарушением сторонности стрелок и преобразованием кривых в прямые; «—» – деформированные по остриям и крестовинам стрелочные переводы, сохранность которых не может быть установлена. В последнем случае имеет место недопустимая трансформация стрелок, нарушающая требование сохранности их сторонности, однозначно определяемой по масштабному плану станции.

В свою очередь, стрелочные переводы не являются строго жесткими в топологических преобразованиях. Для немасштабной схемы жестко не фиксируется угол марки крестовины, а следовательно, отрезок, отходящий от центра перевода и определяющий отворот на боковой путь, может занимать некоторые положения в диапазоне углов. Кроме того, размер самого блока стрелочного перевода может изменяться на немасштабных схемах (например, сравнимая изображения на промежуточных и сортировочных станциях). В отличие от *гибких* конструктивов (криволинейных участков пути) он не может вырождаться в элемент нулевой длины и в нём всегда сохраняется характеристика сторонности лево-, правоориентированности или симметричности (например, для марки перевода 1/6с). Поэтому стрелочные переводы относятся к категории *полужёстких*, к которым применимы только определенные операции трансформации. Сжатие-растяжение блоков стрелочных переводов, их поворот в плоскости и незначительные изменения угла в крестовине при безусловном сохранении сторонности позволяют оптимизировать визуальную структуру путевого развития с достижением функции цели

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{R} (KP_i) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Выполнение этого условия обеспечивает формирование максимально прямолинейной структуры путевого развития немасштабной схемы, визуально удобной для использования в различных целях.

Из всех вариантных немасштабных схем предполагается выбрать ту, которая будет обладать минимумом кривых участков путей, т. е. будет максимально прямолинейной. Оценивать все полученные варианты можно по коэффициенту линеаризации

$$K_{\text{лин}} = \frac{\sum_{i=1}^n L_{\text{кр-план}(i)}}{\sum_{j=1}^m L_{\text{кр-сх}(j)}},$$

где $L_{\text{кр-план}(i)}$ – длина i -й кривой плана; $L_{\text{кр-сх}(j)}$ – длина j -й кривой варианта схемы; n – количество кривых на плане станции; m – количество кривых на схеме станции.

Если для некоторого варианта схемы получено значение $K_{\text{лин}} = 4,5$, то это значит, что на схеме в 4,5 раза меньше кривых, чем на исходном плане.

Графический способ построения эффективной схемы путевого развития основывается на 3D-моделировании материальной нити, обладающей весом и упругостью звеньев. Материальная нить полностью повторяет контуры осей путей и стрелочных переводов, включая в себя гибкие элементы участков пути с высокой упругостью и полужёсткие блоки стрелочных переводов с подвижными имитаторами боковых путей, способными изменять угол в некоторых пределах. Данная модель сложной материальной нити загружается в соответствующую среду физического моделирования (например, Unity) и при определённых значениях масс элементов, сил тяготения и упругости, а также выбранных точках ауксилей формируется структура взаимоувязанных нитей, интерпретируемая как эффективная немасштабная схема. Важно отметить, что коэффициенты упругости гибких и полужёстких элементов существенно различаются по величинам. Для первых они могут быть настолько велики, что своими действиями могут приводить к стягиванию участков путей в точку с соответствующими потерями массы. В предельном случае при полном вырождении элемента его масса также исчезает. Возможен и обратный случай, когда по любой точке связи смежных полужёстких и гибких элементов появляются новые гибкие элементы, т. е. прямые или кривые участки путей, которые возникают, например, с целью обеспечения в точках связи одного угла между прямым и боковым путями в стрелочных переводах.

Увеличение длины гибкого элемента автоматически приводит к пропорциональному возрастанию его массы. Если изменяется угол наклона бокового пути в изображении стрелочного перевода, то до этого значения изменяются углы наклона боковых путей всех остальных изображений стрелочных переводов данной схемы путевого развития. Для симметричного стрелочного перевода в графическом блоке полужёсткого элемента модели реализуется алгоритм изменения угла, связанный с перемещениями обоих отрезков боковых путей относительно оси стрелки. Причем если в формируемой схеме содержатся блоки и обыкновенных, и симметричных стрелочных переводов, то отображаемые углы в резульатной схеме должны отличаться для разных типов стрелок.

Таким образом, не все точки линейно связанного объекта, каким является масштабный план станции, в равной степени подвержены топологической коррекции. Схема станции рассматривается как включающая частично жёсткие элементы, не участвующие в линейных деформациях. Такими элементами являются стрелочные переводы, сохраняющие правую или левую ориентацию бокового пути при движении от остряка к крестовине. Гибкими элементами определяются прямолинейные и криволинейные участки путей между стрелочными переводами. При этом для различных преобразований масштабного плана и схем соответствующие прямые и кривые участки путей являются *топологически взаимнообратимыми*, то есть допускается деформация прямого участка в криволинейный, и наоборот.

В некоторой модельной среде линейная структура путей и стрелок представляется как некоторая связанная последовательность упругих и гравити-

рующих объектов, подвешенных за аусили. Благодаря действующей на все элементы модельных физических имитаций сил тяжести и упругости данная система тел сначала провиснет, а потом благодаря упругости элементов сожмётся, приняв требуемую согласно условию (1) форму. Если речь идёт о полной схеме станции, то точки подвеса будут находиться на главных путях с чётной и нечётной сторон у знаков «Граница станции». То же относится и к станционному парку, для которого аусили располагаются на одной оси или одном пути. При несимметричных структурах могут рассматриваться не двух-, а многоточечные аусили, закрепляемые по входу-выходным точкам схемы или по створу сечения, являющимися границами локации образа схемы станции.

Если силы упругости элементов и гравитации будут одинаковы по величине, то модельная структура путевого развития, опирающаяся на аусили, может располагаться в одной плоскости. Однако сосредоточенное размещение «тяжелых» стрелочных переводов в горловинах способно привести к неравномерности по массе распределяемой структуры и возможному «провисанию» горловин. Этот эффект может быть скомпенсирован более высокими значениями сил упругости в горловинах и соответствующим «выравниванием» всей схемы в одной плоскости.

Для несимметричных парковых структур станций выбор аусилий представляет собой поисковую задачу, которая решается посредством минимизации квадратов отклонений положений аусилией от выбранной оси. Ожидается, что выполнение условия минимизации квадратов отклонений одновременно обеспечит и выполнение условия (1). Задача поиска положений аусилий существенно усложняется при построении немасштабных схем железнодорожных узлов или развитой сети, примыкающей к станции подъездных путей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Головнич, А. К. Объекты железнодорожных станций на цифровых масштабных планах : [монография] / А. К. Головнич. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 340 с.
- 2 Правдин, Н. В. Основы автоматизации проектирования железнодорожных станций : [монография] / Н. В. Правдин, А. К. Головнич, С. П. Вакуленко. – М. : Маршрут, 2004. – 400 с.

Е. М. PEREPLAVCHENKO

METHODS OF TOPOLOGICAL RECONSTRUCTION OF RAILWAY STATIONS SCHEMES

Analytical and modeling methods are considered for constructing a connected structure of a station scheme based on digital scale plan data with the formation of a topologically oriented linearized structure that preserves technically and technologically significant, visually reflected graphic information. The model method involves the reconstruction of a non-scale scheme according to a three-dimensional image of a material thread that has the physical characteristics of a mass, which is affected by model forces of gravity and elasticity.

Получено 25.11.2022

УДК 656.2.08

Н. А. РЕПЕШКО, И. А. КОЛОБОВ, Н. Р. ОСИПОВА, Е. В. ДАРАСЕЛИЯ
Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону
Nar_75@mail.ru

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ «ZONR» ДЛЯ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рассматривается возможность и потенциал внедрения на объектах железнодорожного транспорта интеллектуальной биотехнической транспортной системы безопасности «Zonr», которая распознает запретные зоны для защиты работников, оповещая их с помощью звуковых и световых сигналов о приближении транспортного средства либо другой опасности.

Ключевым условием организации движения железнодорожных перевозок является обеспечение безопасности движения поездов. Все технические аспекты движения транспорта должны быть подчинены нормативным требованиям, направленным на снижение вероятности аварийной ситуации. Существует множество факторов, влияющих на безопасность движения поездов, поставленную задачу минимизации рисков аварий следует рассматривать в комплексной системе. Поэтому на инфраструктуре железнодорожного транспорта необходимо обозначить опасные участки при передвижении поезда для организации и функционирования системы обеспечения безопасности.

Биотехническая транспортная система имеет особенности, связанные с тем, что участники перевозочного процесса разделены большим расстоянием между технологическими пунктами обслуживания, объектами эксплуатации (станциями, вокзалами, участками, перегонами). Ключевым фактором обслуживания перевозочных операций предусматривается выполнение множества технических действий, что повышает сложность координации и управления безопасностью движения на железнодорожном транспорте.

Специфика данных объектов исследования объясняется необходимостью введения такого понятия, как неоднородная работоспособность биотехнической транспортной системы, которая характеризуется функционированием инфраструктуры в целом. При этом один из её элементов может пребывать как в рабочем, так и в нерабочем состоянии. Главную роль при обеспечении безопасности движения поездов составляет взаимодействие между отдель-

ными элементами общей биотехнической транспортной системы обслуживания объектов железнодорожного транспорта [4, 5]. При обнаружении неисправности и предотвращении аварийной ситуации необходимо своевременно и оперативно оповестить работников железнодорожного транспорта, и принять меры по ее ликвидации.

Компания QTS в сотрудничестве с производителем «Zongr Pathfinder» разработала и внедряет систему Zongr Plant Proximity Solution, которая обеспечивает динамический виртуальный барьер, предназначенный для предупреждения рабочих и операторов малой механизации о выходе из зон безопасности. Такую систему можно применять и на объектах железнодорожного транспорта, связанных с повышенной опасностью [3].

Система «Zongr» разработана на основе переносимого устройства по безопасному дистанцированию «Pathfinder» (рисунок 1), которая была создана во время пандемии Covid-19 в 2020 г. Данная система с помощью звуковых и световых сигналов оповещает не только работников железнодорожного транспорта, но и других причастных о приближении транспортного средства либо другой опасности, например, работник заходит в зону повышенного риска, а система направляет их в безопасную зону для предотвращения потенциальных опасностей.



Рисунок 1 – Базовая станция системы «Zongr»

«Zongr» предоставляет операторам объектов данные о перемещении сотрудников в режиме реального времени, позволяя оперативно принимать меры и улучшить процессы охраны труда и техники безопасности.

Решение «Zongr» бесконтактное, очень простое в установке и эксплуатации [1, 2]. Блок управления и датчики прикрепляются к кабине потенциально опасной техники, а затем синхронизируются с помощью приложения мобильного телефона (рисунок 2).

Носимое устройство «Zongr» соответствующим вызовом включает предупреждение о попадании в зону риска, оповещая оператора промышленного завода или работника железнодорожного транспорта о его нахождении в опасной зоне.

Оператор контролирует данную систему, позволяя находиться в опасном пространстве только в исключительных случаях.

Датчик принимает сверхширокополосные сигналы, излучаемые носимым устройством «Zongr». Если индикатор находится слишком близко (в пределах предварительно настроенной зоны отчуждения), то датчик звуковым сигналом предупреждает блок «Zongr Base» и носимое устройство (рисунок 3).



Рисунок 2 – Индикатор системы «Zong»



Рисунок 3 – Датчик системы «Zong»

Система «Zong» прошла испытания в ряде различных предприятий QTS Group по всей Великобритании, и в настоящее время планируется широкое внедрение данной системы не только в промышленности, но и на железнодорожном транспорте [2]. Данная система демонстрирует простоту и функциональность биотехнической транспортной системы.

Использование биотехнической транспортной системы «Zong» для автоматического оповещения работников о приближающейся опасности не только повышает безопасность движения перевозочного процесса, объектов системы, но и благотворно влияет на здоровье и жизнь работников железнодорожного транспорта.

Транспортные компании стараются минимизировать свои издержки на перевозки, при этом увеличивая потенциальную прибыль. Инструментов снижения издержек много, но самые эффективные среди них в любом случае должны приводить к отсутствию срывов графиков движения поездов и автоматизации управления их движением с учетом всех параметров, влияющих на скорость и безопасность [5].

Как оказалось, эти два основополагающих фактора находятся в полной зависимости от возможностей используемых компаниями-перевозчиками локомотивов, причем не только по традиционным характеристикам типа мощности тяги и скоростного маневрирования, но и в части интеллектуального автоматизированного управления [6].

Для удовлетворения таких ИТ-запросов клиентов-железнодорожников компания GE Transportation (дочерняя компания General Electric, специализирующаяся на разработке и производстве технологических установок и транспортных средств) выпускает «умные» локомотивы, оснащенные системами искусственного интеллекта с элементами компьютерного самообучения. ИТ-системы SMART-локомотивов компании GE Transportation подключены к фирменным центрам оптимизации, которые разрабатывают алгоритмы компьютерного обучения как стратегии оптимизации всех процессов: от схем использования топлива до графика технического обслуживания. Искусственный

интеллект постоянно следит за прогнозами изменения метеоусловий и на основе этих данных вырабатывает соответствующие рекомендации о желательных изменениях в планах поездок и скоростях движения поездов [5, 6].

Таким образом, использование технологий искусственного интеллекта, способного фиксировать подробные записи результатов внедрения систем и их влияния на работников железнодорожного транспорта и промышленности, дает возможность повысить безопасность персонала, пассажиров и работников железнодорожного транспорта [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Сабиров, Н. З.* Перспективы применения искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте / Н. З. Сабиров, Ш. К. Валиев, Р. Ш. Валиев // Инновационный транспорт. INNOTRANS, 2022. – № 2 (44). – С. 20–23.

2 *Hastings, W.* The State of Digital Transformation in Manufacturing, 2022 [Electronic resource]. – Mode of access : <http://pathfindr.io>. – Date of access : 13.11.2022.

3 *Покусаев, О. Н.* Новые форматы обучения / О. Н. Покусаев // Гудок. – Вып. 230 (27324). – 13.12.2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1589834&archive>. – Дата доступа : 13.11.2022.

4 *Панов, А. И.* Искусственный интеллект: современное состояние и перспективы / А. И. Панов. – Режим доступа : <https://cs.hse.ru/data/2017/10/08/1159578493/Slides-IntroToAI-HSE-2017-01-Panov.pdf>. – Дата доступа : 13.11.2022.

5 *Банников, М. А.* Искусственный интеллект на железной дороге / М. А. Банников // Студенческий научный форум : материалы XII Междунар. студ. науч. конф. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://scienceforum.ru/2020/article/2018018277>. – Дата доступа : 13.11.2022.

6 Интеллектуальная система управления на железнодорожном транспорте (ИСУЖТ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / http://www.rzd-expo.ru/innovation/the_system_of_transportation_process_and_transport_logistics/intellektualnaya-sistema-upravleniya-na-zheleznodorozhnom-transporte/. – Дата доступа : 13.11.2022.

7 *Кологривая, И. Е.* Безопасность движения на железных дорогах : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Основы безопасности / И. Е. Кологривая, О. В. Фролова. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. – 104 с.

N. A. REPESHKO, I. A. KOLOBOV, N. R. OSIPOVA, E. V. DARASELIA

INTELLIGENT TRAFFIC SAFETY SYSTEM «ZORN» FOR RAILWAY TRANSPORT AND INDUSTRY WORKERS

The possibility and potential of introducing the Zorn intelligent biotechnical transport security system at railway transport facilities is considered, which recognizes restricted areas to protect workers, notifying them with sound and light signals of the approach of a vehicle or other danger.

Получено 14.11.2022

УДК 656.212.5

Е. А. ТЕРЕЩЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
yahen1530@gmail.com

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СЕКЦИОНИРОВАНИЯ ПУТЕЙ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ

Исследуются условия рационального секционирования путей сортировочного парка грузовых станций. Рассматриваются варианты технологии работы станции с секционированными путями при наличии в местных назначениях порожнего вагонотока.

В современных условиях существует жесткая конкуренция в транспортной отрасли, обусловленная возможностью выбора клиентом не только необходимого вида транспорта, но и конкретного оператора перевозки, обеспечивающего наиболее широкий спектр услуг и приемлемость тарифов. Функционирование Белорусской железной дороги направлено на организацию клиентоориентированных технологий, способных не только удовлетворять возрастающие запросы грузоотправителей и грузополучателей по организации перевозок грузов, но и привлекать новых клиентов.

Ключевое место в эффективном функционировании станций как системообразующего элемента полигона сети железнодорожного транспорта занимает организация местной работы. Прежде всего она направлена на качественное обслуживание пунктов местной работы, расположенных в местах общего и необщего пользования.

Анализ показывает, что на станциях Белорусской железной дороги в последние годы возросло число местных назначений малой мощности. Это в свою очередь приводит к дополнительным маневровым передвижениям, связанным с повторной сортировкой вагонов. Современная крупная грузовая станция может организовывать подачи в адрес более 20 местных назначений. При этом значительное число примыкающих путей необщего пользования имеют мощность до трех вагонов в сутки, а расформирование отцепов производится по нескольким путям сортировочного парка. Обеспеченность сортировочными путями грузовых станций чаще всего не превышает 50 %.

Данная задача может быть решена технологическими или техническими средствами. Технологические решения подразумевают внедрение современ-

ных информационных технологий, способных сокращать межоперационные интервалы. Это позволит снизить общее время на производство маневровой работы и, как результат, – уменьшить общее время нахождения на станции местного вагона. Однако данный вариант, по мнению автора, не является оптимальным, поскольку глубокие технологические изменения потребуют также изменения путевой инфраструктуры. Это в свою очередь приведет к росту как капитальных, так и эксплуатационных затрат на укладку новых путей и переустройство парковых горловин.

Местную работу на грузовых станциях возможно оптимизировать за счет точечных технических решений, наиболее рациональным из которых может быть секционирование сортировочных путей. Секционирование является мерой повышения эффективности функционирования грузовых станций, когда при укладке съездов между параллельными путями происходит увеличение числа накапливаемых на подачи назначений в сортировочном парке при имеющемся путевом развитии. Данное техническое решение позволяет уменьшить время расформирования поступающей передачи и быстрее подать вагоны на примыкающие пути необщего пользования к клиентам (рисунок 1).

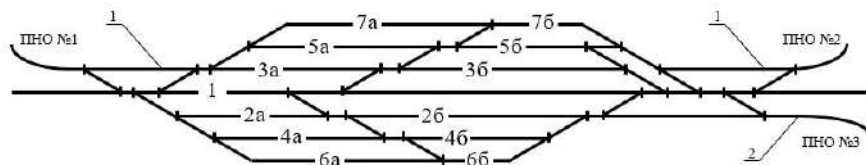


Рисунок 1 – Секционированный парк грузовой станции с примыкающими путями необщего пользования (ПНО):
1 – верхняя секция парка; 2 – нижняя секция

Анализ принципиальной возможности секционирования грузовых станций следует начинать с изучения узла, в котором она функционирует. В узле, как правило, располагается сортировочная или участковая станция, которая подбирает вагоны в подачи на пути необщего пользования или в грузовые районы. В узел чаще всего входит несколько станций. Топология расположения грузовой станции в узле позволяет сделать вывод о типичности данного схемного решения [1] и возможности применения к нему методики, разработанной для узлов данного типа.

Следует также провести анализ всех маломощных вагонопотоков на грузовой станции в соответствии с назначениями плана формирования. Определим маломощное назначение как назначение, максимальное значение которого в течение исследуемого месяца перевозок не превышает трех вагонов в сутки. При этом рассматриваются только грузовые станции, поскольку маломощные назначения для них наиболее представимы, а круп-

ные назначения прибывают всегда на технические станции. В анализе следует определить долю маломощных назначений от общего числа назначений по плану формирования. Важно учитывать, что при незначительной доле маломощных назначений секционирование будет неэффективно. Таким образом, наличие маломощных назначений является первым необходимым условием для секционирования.

Как известно, грузопоток является величиной непостоянной, влияние на которую оказывают различные факторы (сезонность, открытие новых рынков сбыта и т. д.). Соответственно на грузовой станции соотношение β числа назначений $m_{\text{наз}}$ и числа путей $N_{\text{пут}}$ не будет постоянным. Поэтому следует определить второе условие целесообразности секционирования путей: если $\beta > 1$, то нужно учесть долю маломощных назначений в общем грузопотоке. Если $\beta \gg 1$, то секционирование будет иметь частичный эффект за счет невозможности приема всех имеющихся на станции назначений на секционированные пути ввиду недостаточной полезной длины путей.

При разработке методики целесообразного секционирования путей необходимо определить нижнюю границу, при которой появляется эффект от секционирования, поскольку дальнейшее увеличение β приведет к экономии времени на маневровую работу, однако при условии достаточной полезной длины путей для накопления на подачи в адрес грузовых пунктов.

На рисунке 2 показан пример парка грузовой станции с эквивалентным разбиением путей

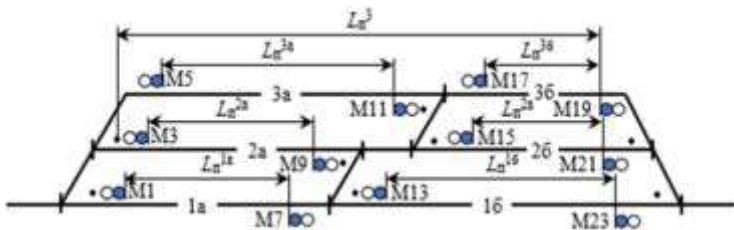


Рисунок 2 – Парк грузовой станции с эквивалентным разбиением путей

Как видно из рисунка 2, полезная длина путей уменьшается ввиду необходимости установки дополнительных шести маневровых светофоров, а также укладки двух съездов. Анализ статистических данных показывает, что секционирование эффективно лишь в случаях, когда минимальная длина исходного пути составляет не менее 700 м, а число путей с учётом ходового – не менее трех. Таким образом, это будет являться третьим необходимым условием секционирования.

Соответствующий алгоритм расчета необходимого числа секций в сортировочном парке грузовой станции приведен на рисунке 3.

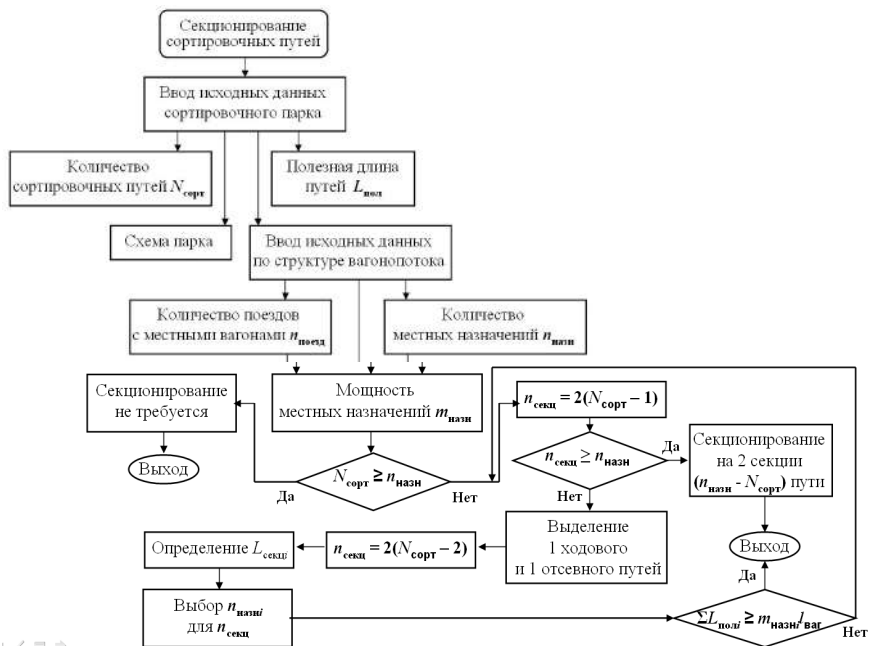


Рисунок 3 – Фрагмент алгоритма расчета необходимого числа секций в сортировочном парке грузовой станции

Расстановка групп вагонов в передаче с технической станции может быть различной. В соответствии с действующими на Белорусской железной дороге нормативными документами техническая станция должна обеспечивать подборку вагонов в адрес грузовой станции. В случае, когда это происходит, в каждой передаче число групп и число назначений одинаковое. В этом случае нет необходимости выполнять секционирование. Однако возможны также варианты, которые необходимо учитывать при анализе:

- наличие транзитных вагонов в передаче;
- порожних вагонов;
- принятие с технической станции транзитного поезда для проведения перецепки групп.

Стоит учитывать также варианты, когда из порожних вагонов в передаче с технической станции выбраковываются вагоны, не годные под погрузку. Нередки случаи, когда клиент не принимает только крайние в передаче вагоны в связи с их негодностью в техническом или коммерческом отношении. При таком варианте развития событий «хвост» передачи следует убирать на секцию с плавающей специализацией, а основную группу подавать на путь необщего пользования. Стоит отметить, что разнотипный подвиж-

ной состав чаще всего будет идти на разные пути необщего пользования станции под погрузку и, следовательно, осаживаться на разные секции. Для транзитных поездов при секционировании парка чаще всего будет отсутствовать необходимость выделения отдельного пути (спаренных секций) ввиду того, что начально-конечные операции будут проводиться на приемо-отправочных путях.

Порожние вагоны при секционировании следует выделять в качестве отдельного назначения. Однако возможны ситуации, когда порожний подвижной состав одного рода будет являться несколькими назначениями, поскольку предназначен для подачи на разные пути необщего пользования станции в адрес нескольких клиентов.

Таким образом определяются необходимые условия рационального секционирования путей сортировочного парка грузовых станций. Стоит отметить, что они применимы только тогда, когда на грузовой станции повторная сортировка отсутствует, то есть в случаях предварительной подборки вагонов на технической станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) : учеб. / Н. В. Правдин [и др.] ; под ред. Н. В. Правдина и С. П. Вакуленко. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 1086 с.

2 *Потылкин, Е. Н.* Анализ основных параметров железнодорожных путей необщего пользования в Республике Беларусь / Е. Н. Потылкин, Л. В. Осипенко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. ; редкол.: А. К. Головнич (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2019. – С. 107–112.

3 *Сковрон, И. Я.* Совершенствование технологии и технических средств формирования многогруппных составов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / И. Я. Сковрон. – Днепропетровск, 2015. – 222 с.

4 *Терещенко, Е. А.* Эквивалентные и неэквивалентные разбиения сортировочных путей железнодорожных станций на секции / Е. А. Терещенко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. / редкол.: А. К. Головнич (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2020. – Вып. 2. – С. 160–165.

Е. А. TERESHCHENKO

THE NECESSARY CONDITIONS RATIONAL PATH SECTION SORTING FARM OF FREIGHT STATIONS

The article examines the conditions for rational sectioning of the tracks the marshalling fleet of freight stations. Variants of the technology operation of the station with sectioned tracks in the presence an empty car-flow in local destinations are considered.

Получено 22.11.2022

УДК 656.212.5

Е. А. ТЕРЕЩЕНКО

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
yahen1530@gmail.com*

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАСФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОВ НА ВЫТЯЖНОМ ПУТИ ПО СЕКЦИЯМ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА ДЛЯ ТИПИЧНЫХ СХЕМ БЕЗГОРОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Исследуется влияние принятой технологии расформирования составов на продолжительность данного процесса при различном сочетании числа отцепов, назначений в расформированном составе, количестве сортировочных путей и выделяемых секциях на каждом пути.

Расформирование составов на вытяжном пути обеспечивается маневровым или поездным локомотивом посредством осаживания, изолированными или серийными толчками по назначениям на пути сортировочного парка. При значительной полезной длине путей и наличии маломощных назначений сортировочные пути целесообразно разбивать на секции, что позволяет увеличить число одновременно формируемых назначений.

Продолжительность расформирования существенно различается в зависимости от целого ряда условий. Стандартной схемой путевого развития при выполнении маневровой работы на станции считаем наличие вытяжного пути, имеющего выход на все пути сортировочного парка, и кустовое примыкание путей необщего пользования за противоположной горловиной, также имеющих выход на эти пути, которые разделены на отдельные секции по назначениям плана формирования (рисунок 1).

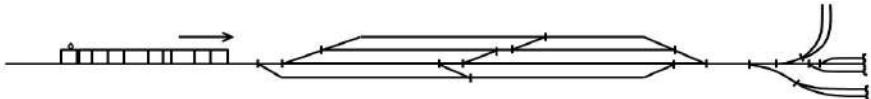


Рисунок 1 – Стандартная схема (S_1) расформирования составов на вытяжном пути

Основные способы проведения расформирования и влияющие условия на продолжительность операций приведены в таблице 1.

По каждому из определенных 24 вариантов расформирования его продолжительность будет различаться и зависеть от значений целого ряда других параметров (длины вытяжного пути, соотношения числа групп и назначений в расформировываемом составе, режима уборки подобранных групп секций по пунктам производства грузовых операций, графика работы с отсевным путем и др.).

Таблица 1 – Индексные варианты технологии расформирования составов на принятой стандартной схеме безгорочной станции

Схе-ма	Способ расформирования	Ресурс сортировочных путей							
		Достаточный				Недостаточный			
		Эквивалентное разбиение		Неэквивалентное разбиение		Эквивалентное разбиение		Неэквивалентное разбиение	
		2 сек-ции	3 сек-ции	1+2	2+3	2 сек-ции	3 сек-ции	1+2	2+3
S_1	Осаживание	$S_{11}(R^+_E)$	$S_{12}(R^+_E)$	$S_{13}(R^+_N)$	$S_{14}(R^+_N)$	$S_{15}(R^-_E)$	$S_{16}(R^-_E)$	$S_{17}(R^-_N)$	$S_{18}(R^-_N)$
S_1	Одиночные толчки	$S_{21}(R^+_E)$	$S_{22}(R^+_E)$	$S_{23}(R^+_N)$	$S_{24}(R^+_N)$	$S_{25}(R^-_E)$	$S_{26}(R^-_E)$	$S_{27}(R^-_N)$	$S_{28}(R^-_N)$
S_1	Серийные толчки	$S_{31}(R^+_E)$	$S_{32}(R^+_E)$	$S_{33}(R^+_N)$	$S_{34}(R^+_N)$	$S_{35}(R^-_E)$	$S_{36}(R^-_E)$	$S_{37}(R^-_N)$	$S_{38}(R^-_N)$

Для ряда наиболее простых с технологической точки зрения вариантов $S_{11}(R^+_E)$, $S_{12}(R^+_E)$ и некоторых других можно получить аналитические выражения длительности выполнения расформирования составов. Для сложных вариантов (например, для $S_{37}(R^-_N)$) возможна некоторая средневзвешенная оценка затрат времени на расформирование составов.

Вывод общих формул зависимости продолжительности расформирования от значимых переменных производится по математической индукции с исследованием полного алгоритма последовательности отдельных элементарных операций. Например, решение поставленной задачи для условий варианта $S_{11}(R^+_E)$ осуществляется следующим образом. В исходной позиции определяем *общие условия*, одинаковые для всех рассматриваемых далее вариантов; *частные условия*, являющиеся характеристикой некоторых вариантов, и *единичные условия*, присущие только одному варианту. По мере рассмотрения других вариантов $S_{ij}(R^{+(-)}_{N(E)})$ база общих, частных и единичных условий будет дополняться. Для варианта $S_{11}(R^+_E)$ все условия приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень необходимых исходных условий для варианта $S_{11}(R^+_E)$

Параметр	Обозначение параметра	Условия		
		общие	частные	единичные
Число вагонов в составе	m_c	+		
Число назначений на станции	N	+		
Число назначений в составе	n	+		
Число групп в составе	g	+		
Число путей в сортировочном парке	$N_{\text{пут}}$	+		
Число секций в сортировочном парке	$n_{\text{секц}}$	+		
Характер разбиения путей	R_E, R_N		R_E^+	

Пусть $m_c = 20$, $N_{\text{пут}} = 5$, $R_E = 2$ (каждый путь разбивается на две секции). При выделенном ходовом пути и занимаемой его правой части под секцию общее количество секций в данном сортировочном парке

$$n_{\text{секц}} = (N_{\text{пут}} - 1)R_E + 1 = 7.$$

Принимаем, что $n = g = n_{\text{секц}} = 7$.

Таким образом, данный вариант предполагает, что в расформирование пребывает передача из 20 вагонов, которые следуют по семи назначениям плана формирования. В составе семь групп, вагоны которых направляются на 7 секций достаточной вместимости (рисунок 2).

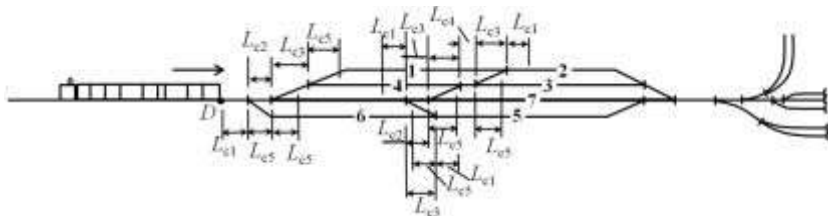


Рисунок 2 – Расчётная схема варианта $S_{11}(R^+E)_0$

Длины межстрелочных и предстрелочных участков определяются как L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} , L_{c4} и L_{c5} . Принимаем, что матрица разложения состава по назначениям следующая:

$$Ar = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 3 & 2 & 4 & 2 & 3 & 5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Номера секций и первая строка матрицы (1–7) указывают на именованные назначения. Вторая строка определяет число вагонов на соответствующие назначения. Вариант $S_{11}(R^+E)_0$ интерпретируется как наиболее простая схема, в которой число групп в составе равно числу назначений и количеству секций сортировочного парка. При этом все назначения по плану формирования станций имеются в данном составе. Порядок расположения групп в матрице начинается с хвоста состава.

Значения L_{c1} , L_{c2} , L_{c3} , L_{c4} и L_{c5} различаются (для указанных схем взаимного расположения стрелочных переводов марки 1/9 в парках станции и установки маневровых сигналов $L_{c1} = a_{1/9} \approx 15$ м; $L_{c2} \approx 40$ м; $L_{c3} \approx 48$ м; $L_{c4} \approx 35$ м; $L_{c4} \approx 41$ м). Для дальнейших расчетов целесообразно использовать средневзвешенную величину L_c , определяемую для сортировочных парков с различным числом путей.

Маршруты следования маневрового состава на секции сортировочного парка всегда отсчитываем от крайней точки последнего вагона. Таким образом, расстояние следования состава на секцию 1 (первое назначение) согласно рисунку 2 и матрице Ar

$$L_{11} = L_c + L_c + L_c + L_c + L_{\text{секц1}},$$

где $L_{\text{секц1}}$ – полезная длина секции 1.

После отцепки на секции 1 трех вагонов (согласно матрице Ar) возврат на вытяжной путь до точки D (см. рисунок 2) занимает путь

$$L_{12} = (L_{\text{секц1}} - 3L_{\text{ваг}}) + 4L_c,$$

где $L_{\text{ваг}}$ – длина вагона (15 м).

Два следующих полурейса с обслуживанием секции 2 потребуют прохождения маршрутов:

$$L_{21} = 3L_c + L_x / 2 + 6L_c + L_{\text{секц}2},$$

$$L_{22} = (L_{\text{секц}2} - 2L_{\text{ваг}}) + L_x / 2 + 9L_c.$$

где L_x – полезная длина ходового пути, равная полезной длине секции.

Продолжая выполнять последовательности полурейсов по обслуживанию остальных секций, получаем длины маршрутов:

$$L_{31} = 3L_c + L_x / 2 + 5L_c + L_{\text{секц}3}, L_{32} = (L_{\text{секц}3} - 4L_{\text{ваг}}) + L_x / 2 + 8L_c.$$

$$L_{41} = 4L_c + L_{\text{секц}4}, L_{42} = (L_{\text{секц}4} - 2L_{\text{ваг}}) + 4L_c.$$

$$L_{51} = 3L_c + L_x / 2 + 3L_c + L_{\text{секц}5}, L_{52} = (L_{\text{секц}5} - 3L_{\text{ваг}}) + L_x / 2 + 6L_c.$$

$$L_{61} = 2L_c + L_{\text{секц}6}, L_{62} = (L_{\text{секц}6} - 5L_{\text{ваг}}) + 2L_c.$$

$$L_{71} = 3L_c + L_x / 2 + 3L_c + L_{\text{секц}7}, L_{72} = (L_{\text{секц}7} - L_{\text{ваг}}) + L_x / 2 + 6L_c.$$

Суммирование длин полурейсов по каждой обслуживаемой секции определяет затраты времени на маневровую работу:

$$L_1 = 8L_c + 2L_{\text{секц}1} - 3L_{\text{ваг}},$$

$$L_2 = 18L_c + 2L_{\text{секц}2} + L_x - 2L_{\text{ваг}},$$

$$L_3 = 16L_c + 2L_{\text{секц}3} + L_x - 4L_{\text{ваг}},$$

$$L_4 = 8L_c + 2L_{\text{секц}4} - 2L_{\text{ваг}},$$

$$L_5 = 12L_c + 2L_{\text{секц}5} + L_x - 3L_{\text{ваг}},$$

$$L_6 = 2L_c + 2L_{\text{секц}6} - 5L_{\text{ваг}},$$

$$L_7 = 6L_c + 2L_{\text{секц}7} + L_x - L_{\text{ваг}}.$$

Из приведенных аналитических выражений видно, что рейсы слагаются из маршрутов по межстрелочным участкам (L_c), полезных длин путей секций ($L_{\text{секц}i}$), многократных маршрутов по ходовому пути для «дальних» секций (L_x) и вычитаемых длин, занимаемых группами вагонов, которые устанавливаются на секциях ($m_{gi}L_{\text{ваг}}$). Таким образом,

$$L_i = W_i L_c + 2L_{\text{секц}i} + L_x - m_{gi} L_{\text{ваг}}, \text{ если } i\text{-я секция «дальняя»},$$

иначе

$$L_i = W_i L_c + 2L_{\text{секц}i} - m_{gi} L_{\text{ваг}},$$

где W_i – количество межстрелочных участков на двух полурейсах обслуживания i -й секции.

Суммарная длина маршрутов по расформированию состава

$$\sum L_{\text{расф}} = \sum_{i=1}^n (W_i L_c + 2L_{\text{секц}i} \pm L_x - m_{gi} L_{\text{ваг}}).$$

Общее количество межстрелочных участков, занимаемых маневровыми передвижениями по обслуживанию секций, $\sum W_i = 70$. Следует отметить, что независимо от порядка следования на отдельные секции при занятии всех секций сортировочного парка ровно по одному разу ($n = g = n_{\text{секц}} = 7$) межстрелочные участки будут занимать 70 раз.

Общие затраты времени на расформирование состава

$$t_{\text{расф}} = \frac{L_{\text{расф}}}{v_{\text{расф}}},$$

где $v_{\text{насб}}$ – средняя скорость движения маневрового состава при расформировании осаживанием, км/ч.

Аналогично варианту $S_{11}(R^+_{E})_0$ исследуются:

- $S_{11}(R^+_{E})_1$, когда $N = n = n_{\text{секци}}$, $g > n$;
- $S_{11}(R^+_{E})_2$, когда $N > n$, $N = n_{\text{секци}}$, $g < n$;
- $S_{11}(R^+_{E})_3$, когда $N > n$, $N = n_{\text{секци}}$, $g > n$.

Особый интерес представляет определение зависимости количества забираемых при расформировании межстрелочных участков L_c числа групп в составе при $g < n$, так как определяющим фактором при этом является закрепление секций за определенными назначениями. Если для исходного варианта $S_{11}(R^+_{E})_0$ число секций, обслуживаемых без занятия ходового пути,

$$n_{\text{секци(-х)}} = \frac{N_{\text{пут}} R_E}{2} - 1,$$

то для других вариантов ожидаемы более сложные зависимости, которые трудно получить аналитически.

В целом предложенный алгоритм расчета затрат времени на расформирование составов по секционированным путям сортировочного парка целесообразно использовать для остальных вариантов технологии работы безгрозных станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Журавель, В. В.* Повышение эффективности функционирования промышленной станции путем совершенствования ее конструкции / В. В. Журавель, И. Л. Журавель // Вост.-Европ. журнал передовых технологий. – 2015. – № 2 (74). – С. 61–67.

2 *Маслов, А. М.* Техничко-технологические параметры функционирования грузовых станций железнодорожного транспорта в условиях стохастического характера вагонопотока : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / А. М. Маслов ; Урал. гос. ун-т путей сообщения. – Екатеринбург, 2009. – 23 с.

3 *Сковрон, И. Я.* Совершенствование технологии и технических средств формирования многогруппных составов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / И. Я. Сковрон. – Днепрпетровск, 2015. – 222 с.

4 *Терещенко, Е. А.* Эквивалентные и неэквивалентные разбиения сортировочных путей железнодорожных станций на секции / Е. А. Терещенко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : междунар. сб. науч. тр. ; редкол.: А. К. Головнич (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2020. – Вып. 2. – С. 160–165.

E. A. TERESHCHENKO

DURATION CALCULATION DISSOLUTION OF TRAINS ON THE TAIL TRACK BY SECTION OF SORTING PARK FOR TYPICAL SCHEMES OF NON-HUMP STATIONS

The influence of the adopted technology of disbanding trains on the duration of this process is studied for a different combination of the number of cuts of cars, assignments in the disbanded train, the number of sorting tracks and allocated sections on each track.

Получено 29.11.2022

УДК 656.21.08

Е. А. ФИЛАТОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
filatoff.ea@yandex.ru*

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНЫХ ГОРЛОВИН СТАНЦИЙ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НА ОБСЛУЖИВАНИИ ПОЛУВАГОНОВ И МИНЕРАЛОВЗОВ

Рассматриваются результаты исследований, выполненных автором в области обеспечения безопасной и эффективной маневровой работы с подвижным составом различных типов, которые позволили определить влияние особенностей конструкции расчетного подвижного состава на параметры стрелочных горловин крупных железнодорожных станций. Однако достаточно часто необходимо обеспечить транспортное обслуживание только одного предприятия, имеющего узкую номенклатуру грузов и использующего подвижной состав одного типа. В представленной статье выполнен анализ влияния на параметры транспортной инфраструктуры специализации станций на обслуживании вагонов для перевозки минеральных удобрений и полувагонов.

Одним из наиболее ярких примеров специализации на обслуживании одного вида груза на Белорусской железной дороге является транспортное обеспечение добычи калийных удобрений. Экспортные перевозки калия уже многие годы играют важнейшую роль в функционировании экономики Республики Беларусь. На Минском отделении Белорусской железной дороги сформировался Слуцко-Калийный железнодорожный узел, включающий грузовую станцию Слуцк и специализированные промышленные станции Калий-1, Калий-3, Калий-4. В стадии увеличения объемов добычи калийных солей находится Петриковское месторождение в Гомельской области. Здесь в настоящее время происходит формирование соответствующей транспортной инфраструктуры железнодорожной станции Муляровка и предприятия по добыче удобрений. Важной особенностью эксплуатации указанных станций является использование специализированного подвижного состава для перевозки минеральных удобрений. Учитывая конструктивные особенности такого подвижного состава можно говорить об особых условиях эксплуатационной работы на таких станциях. Поэтому рекомендации [1] к параметрам конструкций горловин могут существенно уточнены.

В таблице 1 представлены результаты моделирования [2] условий маневровой работы с грузовыми вагонами для перевозки минеральных удобрений на расчетных элементах стрелочных горловин: одиночных стрелочных пере-

водах марок 1/6 и 1/9; схемах попутного разностороннего размещения переводов марок 1/6 и 1/9; круговых кривых радиуса 200 м ($l_{кр} > 2l + n$).

Таблица 1 – Сравнение технической совместимости грузовых вагонов для перевозки минеральных удобрений и расчетных элементов

Параметры вагонов для перевозки минеральных удобрений, количество осей / модель (длина по осям / база / консоль / внутренняя колесная база)	Обеспечение технической совместимости ($\Delta = B_3 - b_{см}$), мм [2]		
	стрелочный перевод 1/6 / 1/9	схема № 3 1/6 – 1/6 1/9 – 1/9 ($d = 0$)	Кривая радиусом 200 м
4/19-Х052 (12000/7870/2065/6020)	+96 / +96	+28 / +96	+96
4/19-Х051 (12090/7870/2110/6020)	+95 / +95	+25 / +95	+95
4/11-740, 19-187, 19-193, 19-921, 19-923, 19-953, 19-3109-01, 19-1761, 55-350 и модиф. (13200/8980/2110/7130)	+89 / +88	+13 / +86	+88
4/19-7017 и модиф. (13720/9500/2110/7650)	+86 / +86	+8 / +81	+86
4/19-3116 и модиф. (13870/9650/2110/7800)	+85 / +85	+6 / +80	+85
4/11-739-01, 19-3054-01, 19-4109, 19-752-01, 19-9549-03 и модиф. (14720/10500/2110/8650)	+80 / +80	-3 / +80	+80

Как видно из таблицы 1, размеры вагонов для минеральных удобрений, эксплуатируемых на колее 1520 мм, относятся к массовым и не представлены в группе вагонов увеличенных размеров [1]. Для показанных случаев нарушения возникают только при взаимодействии симметричных стрелочных переводов марок 1/6 без прямой вставки между ними и вагонов для минеральных удобрений размерного типа длиной 14,72 м (11-739-01, 19-3054-01, 19-4109, 19-752-01, 19-9549-03 и модификации), который принимается в качестве расчетного.

Проверка действующих требований к проектированию по условию обеспечения безопасности маневровой работы с вагонами для минеральных удобрений приведена в таблице 2. Результаты моделирования подтверждают отсутствие значительных ограничений, а рекомендации по обеспечению безопасности маневровой работы с вагонами для минеральных удобрений могут быть адаптированы и изменены по сравнению с [1]. Это связано с относительно небольшой длиной таких вагонов по осям автосцепок. Максимальная длина анализируемого вагона 14,72 м более чем на 10 м меньше целого ряда платформ и полувагонов с длиной более 25 м. Выявленные ограничения касаются только конструкций *s*-образных кривых, образованных круговыми, переводными кривыми и их сочетаниями (таблица 2). Наиболее заметные ограничения накладываются на маневры в пределах *s*-образных кривых без прямой вставки. Радиус такой кривой не должен быть менее 210 м, а при радиусе 200 м общая длина *s*-образной кривой не должна превышать 17 м. С учетом возможности проектирования на путях промышленных предприятий таких кривых радиусом до 160 м отклонение составляет 50 м.

Таблица 2 – Анализ обеспечения безопасности и эффективности маневров с вагонами для минеральных удобрений в нормах проектирования

№ схемы	Оценка требований			
	на станциях [3]		на путях необщего пользования [4]	
	существующие отклонения, мм	ограничения, м	существующие отклонения, мм	ограничения, м
1 Криволинейные участки пути				
1.1 (круговые)	$\Delta_{R200-180} = +72...+80$	–	$\Delta_{R140} = +50$	$R_{\min} = 100$
1.2 (s-образные без вставки)	$\Delta_{SR250} = +20$; $\Delta_{SR200} = -6$	$R_{\min} = 210$; $l_{\max\text{Скр}} = 17$	$\Delta_{R160} = -38$	$l_{\text{Скр}R160}^{\max} = 12,5$
1.3 (s-образные с прямой вставкой)	$\Delta_{SR200d15} = +80$	$d_{SR200} = 2,25$; $d_{SR180} = 4$	$\Delta_{R160d6,25} = +39$; $\Delta_{R140d6,25} = +23$	$d_{\min} = 4,25$; $d_{\min} = 4,5$
2 Расположение стрелочных переводов ($R_{\text{закр}} \geq R_{\text{пер}}$)				
2.1–2.5 (одиночные, схемы № 1–3)	$\Delta = +38...+103$	–	–	–
2.6 Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6				
2.6.1 ($d = 5,26$)	$\Delta_{d0} = -3$	$d_{\min} = 0,75$	–	–
2.6.2 (1/6 – 1/9)	$\Delta_{d0} = +65$	–	–	–
2.7 Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6				
1/6 _{поп.} 1/9 – 1/6	$\Delta_{d0} = +8...60$	–	–	–
2.8 Схема № 4 (навстречу торцами крестовин)	$\Delta_{d0} = +54$	–	–	–
3 S-образное расположение стрелочных переводов и кривых				
3.1 (без вставки)	$\Delta_{d0} = +2$	–	–	–

Выполнен анализ конструкции горочной горловины станции Слуцк на соответствие предложенным рекомендациям. В результате выявлены три зоны, в которых создаются дополнительные ограничения при эксплуатации вагонов с минеральными удобрениями. Они расположены на крайних путях пучков стрелочной горловины № 11, 18 и 24. Здесь образуются s-образные сочетания симметричных стрелочных переводов марок крестовин 1/6 симметричная и закрестовинных кривых радиусов 143–165 метров: СП116–КР9, СП124–КР18–КР19, СП132–КР27. При этом не соблюдается установленное нормами [3] требование о соответствии радиусов закрестовинной и переводной кривых и нарушение условий технической совместимости по указанным элементам составляет от 13 до 30 мм.

Самой многочисленной группой вагонов инвентарного парка Белорусской железной дороги являются полувагоны (более 30 %). Это основное средство перевозки широкой номенклатуры грузов (лесные грузы, сырье и продукты переработки сахарного производства, металлолом, песок, щебень и многое другое). Для многих станций, а также путей промышленных предприятий, характерной особенностью является преобладание одного из таких грузов и, соответственно, выполнение работы только с полувагонами. Характерным примером может служить грузовая станция Ситница, обслуживающая РУП «Гранит».

Результаты моделирования взаимодействия различных полувагонов (авто-сцепка СА-3) при маневрах на расчетных элементах представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение технической совместимости полувагонов при маневрах на расчетных элементах

Параметры полувагонов, количество осей / модель (длина по осям / база / консоль / внутренняя колесная база)	Обеспечение технической совместимости ($\Delta = B_3 - b_{см}$), мм [2]		
	Стрелочный перевод 1/6 / 1/9	Схема № 3 1/6 / 1/9 ($d = 0$)	Кривая радиусом 200 м
1. 4 / 20-4078 (10090 / 5870 / 2110 / 4020)	+106 / +106	+46 / +106	+106
2. 4 / 12-4094 (11200 / 6500 / 2350 / 4650)	+96 / +96	+26 / +98	+96
3. 4 / 22-4008 (11220 / 7000 / 2100 / 5150)	+100 / +100	35 / +104	+100
4. 4 / 12-9008 (11220 / 6500 / 2360 / 4650)	+96 / +95	+26 / +98	+95
5. 4 / 20-793, 20-4015 и модиф. (12000 / 7200 / 2400 / 350)	+90 / +90	+15 / +94	+90
6. 4 / 12-2122 и модиф. (12100 / 6940 / 2580 / 5090)	+86 / +86	+8 / +91	+86
7. 4 / 12-2123 и модиф. (12100 / 7880 / 2110 / 6030)	+95 / 95	+25 / +97	+95
8. 4 / 12-282, 12-288 и модиф. (12530 / 7800 / 2365 / 5950)	+87 / +87	+10 / +89	+87
9. 4 / 12-9796 (12780 / 8650 / 2065 / 6800)	+92 / +92	+20 / +91	+92
10. 4 / 12-4034 (13100 / 7840 / 2630 / 5990)	+78 / +78	-8 / +78	+78
11. 4 / 12-П001 (13870 / 8650 / 2610 / 6800)	+74 / +73	-17 / +68	+73
12. 4 / 12-37, 12-119, 12-132, 12-141, 12-146, 12-159, 12-175, 12-196, 12-197, 12-295, 12-296, 12-515, 12-532, 12-575, 12-581, 12-726, 12-753, 12-757, 12-783, 12-791, 12-955, 12-1000, 12-1295, 12-1302, 12-1303, 12-1505, 12-1592, 12-1704, 12-2104, 12-4102, 12-4106, 12-7019, 12-7023, 12-7039, 12-9745, 12-9046, 12-9766, 12-9767, 12-9768, 12-9788 и модиф. (13920 / 8650 / 2635 / 6800)	+73 / +73	-19 / +67	+72
13. 4 / 12-764 (13720 / 8700 / 2510 / 6850)	+77 / +77	-11 / +72	+77
14. 4 / 12-П002 (14360 / 8650 / 2855 / 6800)	+65 / +65	-34 / +57	+64
15. 4 / 12-П153 (14410 / 8650 / 2880 / 6800)	+64 / 64	-36 / +55	+64
16. 4 / 12-284 (14730 / 10000 / 2365 / 8150)	+74 / +73	-16 / +64	+73
17. 4 / 12-4011 (14900 / 10770 / 2065 / 8920)	+80 / +80	-2 / +71	+80
18. 8 / 22-4024 (15800 / 7780 / 4010 / 2730)	+35 / +34	-93 / -23	+34
19. 6 / 12-П152 (16440 / 10440 / 3000 / 6740)	+51 / +51	-60 / +26	+51
20. 4 / 12-283 (16970 / 12240 / 2365 / 10390)	+56 / +60	-43 / +38	+60
21. 4 / 22-445, 22-473 (17500 / 13370 / 2065 / 11520)	+62 / +66	-32 / +45	+66
22. 4 / 22-478 (19050 / 13780 / 2635 / 11930)	+33 / +38	-95 / +1	+34
23. 8 / 12-124 (18880 / 10550 / 4165 / 5500)	-8 / -2	-163 / -93	-2
24. 8 / ПВ / 12-508 (20240 / 12070 / 4085 / 7020)	-19 / -13	-198 / -116	-17
25. 8 / ПВ / 12-915 (20500 / 12070 / 4215 / 7020)	-26 / -19	-212 / -129	-26
26. 4 / 12-4004 и модиф. (20960 / 15690 / 2635 / 13840)	+24 / +26	-115 / -24	+20
27. 4 / 12-1815 (25620 / 18000 / 3810 / 16150)	-50 / -56	-259 / -181	-61

Как видно из таблицы 3, размеры большинства современных полувагонов также находятся в группе массовых размерных типов и не превышают соответ-

ствующих ограничений [1]. В основном отклонения возникают при размещении симметричных стрелочных переводов марки 1/6 без прямой вставки между ними. При этом в качестве расчетного полувагона массовых типов принимается модель 12-4004 и ее модификации с длиной 20,96 м. Полувагон модели 12-915 имеет большие отклонения, однако в соответствии с рекомендациями [2] длина консоли более 4 м позволяет отнести его к вагонам увеличенных размеров, и не рассматривать в качестве расчетного. Кроме того, модель 12-4004 соответствует расчетному вагону массовых типов, применяемому при разработке рекомендаций для условий эксплуатации вагонов всех типов [2]. Учитывая отсутствие в инвентарном парке Белорусской железной дороги полувагона модели 12-1815, а также малое их распространение и прекращение выпуска, группа полувагонов увеличенных размеров для исследуемого полигона далее не рассматривается.

В эксплуатационных условиях Белорусской железной дороги наибольшее распространение получили полувагоны длиной по осям автосцепки 13,92 м (№ 12, таблица 3). Анализ наличия ограничений для таких полувагонов показан в таблице 4.

Таблица 4 – Анализ обеспечения безопасности и эффективности маневров с полувагонами длиной 13,92 м по осям автосцепки

№ схемы	Оценка требований			
	на станциях [3]		на путях необщего пользования [4]	
	существующие отклонения, мм	ограничения, м	существующие отклонения, мм	ограничения, м
1 Криволинейные участки пути				
1.1 (круговые)	$\Delta_{R200-180} = +64...+72$	–	$\Delta_{R140} = +40$	$R_{\min} = 100$
1.2 (s-образные без вставки)	$\Delta_{SR250} = +8$; $\Delta_{SR200} = -22$	$R_{\min} = 240$; $l_{\max,Skp} = 12,5$	$\Delta_{R160} = -58$	$l_{SkpR160}^{\max} = 10$
1.3 (s-образные с прямой вставкой)	$\Delta_{SR200d15} = +72$	$d_{SR200} = 4,5$; $d_{SR180} = 5,5$	$\Delta_{R160d6,25} = +30$; $\Delta_{R140d6,25} = +11$	$d_{\min} = 5,5$; $d_{\min} = 6$
2 Расположение стрелочных переводов ($R_{закр} \geq R_{пер}$)				
2.1–2.5 (одиночные, схемы № 1–3)	$\Delta = +67...+86$	–	–	–
2.6 Встречное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6				
2.6.1 ($d = 5,26$)	$\Delta_{d0} = -19$	$d_{\min} = 3,5$	–	–
2.6.2 (1/6 – 1/9)	$\Delta_{d0} = +29$	–	–	–
2.7 Попутное расположение симметричных стрелочных переводов марки 1/6				
1/6 _{поп} , 1/9 – 1/6	$\Delta_{d0} = +10...+51$	–	–	–
2.8 Схема № 4 (на-встречу торцами крестовин)	$\Delta_{d0} = +9$	–	–	–
3 S-образное расположение стрелочных переводов и кривых				
3.1 (без вставки)	$\Delta_{d0} = -19...+86$	$d_{\min} = 0,5$	–	–

Результаты моделирования подтверждают отсутствие значительных ограничений и также позволяют установить индивидуальные рекомендации по обеспечению безопасности маневровой работы с полувагонами. Ограни-

чения касаются *s*-образных конструкций, образованных круговыми, переводными кривыми и их сочетаниями (см. таблицу 4). Применение *s*-образных кривых без прямой вставки существенно ограничено. Радиус такой кривой не должен быть менее 240 м, а при радиусе 200 м общая длина *s*-образной кривой не должна превышать 12,5 м. С учетом возможности проектирования на путях промышленных предприятий таких кривых радиусом до 160 м расхождение составляет 80 м.

Следует отметить, что конструкция горочной горловины станции Луинец, расположенной в зоне тяготения станции Ситница, достаточно хорошо адаптирована к маневровой работе с вагонами увеличенных размеров. Это связано с наличием только девяти сортировочных путей и применением в основном стрелочных переводов марки 1/9, что уменьшает углы отклонения путей относительно оси горловины. Между закрестовинными и переводными кривыми крайних стрелочных переводов применяются прямые вставки от 11 до 162 м. Только на двух путях № 22 и 29 они отсутствуют и образуются *s*-образные кривые со стрелочными переводами № 218 и 224 марки крестовины 1/6 симметричная, не соответствующие рекомендациям таблицы 4 (несоблюдение условия $\Delta = -14$ мм) и требований к расчетным вагонам массовых типов (для модели 12-915 $\Delta = -99$ мм) [1].

Показанные примеры несоответствия параметров стрелочных горловин станций, специализированных на обслуживании минераловозов и полувагонов, могут быть устранены за счет введения технологических ограничений либо путем модернизации конструкции горловин. Проверка станций Белорусской железной дороги на предмет обеспечения безопасных условий работы с учетом индивидуальных требований к транспортной инфраструктуре позволит точнее определять риски эксплуатации, а в некоторых случаях снизить избыточное резервирование без снижения уровня безопасности маневровой работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *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 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 69–71.

2 *Филатов, Е. А.* Обоснование технической совместимости горловин железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. тр. Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : ДНУЖТ, 2020. – Вып. 19. – С. 25–36.

3 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.

4 СП 37.13330.2012. Промышленный транспорт. Актуализированная редакция. СНиП 2.05.07-91. Изменение № 3. – М. : Стандартинформ, 2019.

E. A. FILATOV

JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF SWITCH NECKS STATIONS SPECIALIZED IN THE MAINTENANCE OF GONDOLA CARS AND MINERAL WAGONS

The research carried out by the author in the field of ensuring safe and efficient shunting work with rolling stock of various types allowed us to determine the influence of design features of the design rolling stock on the parameters of switch necks of large railway stations that provide processing of a wide range of goods. However, quite often it is necessary to provide transport services for only one enterprise that has a narrow range of goods and uses rolling stock of the same type. The article presents an analysis of the impact on the parameters of the transport infrastructure of the specialization of stations in the maintenance of wagons for the transportation of mineral fertilizers and gondola cars.

Получено 15.11.2022

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 4. Гомель, 2022**

УДК 656.07+06

О. Н. ЧИСЛОВ, Н. М. ЛУГАНЧЕНКО

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону*

o_chislov@mail.ru, luganchenko.n@yandex.ru

РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ГРУЗОВЫХ КОМПЛЕКСОВ И ТЕРМИНАЛОВ

Рассматриваются и реализуются новые методы цифровизации транспортно-складской инфраструктуры, связанные с созданием имитационной модели ТСК, которая представляет цифровую копию объекта инфраструктуры с последующим применением методов аксиоматизации транспортно-технологических процессов с целью повышения уровня эффективности эксплуатации инфраструктуры ТСК.

Железнодорожный транспорт представляет собой совокупность большого количества различных служб, дирекций, управлений, департаментов. Их совместная деятельность обеспечивает бесперебойную перевозку пассажиров и грузов различной номенклатуры по территории Российской Федерации, а также других стран. Среди всех видов транспорта именно железнодорожный занимает ведущее место, постоянно взаимодействуя с другими видами транспорта и логистической инфраструктурой в целом.

Важное место в структуре железнодорожного транспорта и эксплуатационной деятельности железных дорог занимает грузовая и коммерческая ра-

бота, которая является доходобразующим направлением работы железнодорожной отрасли. К ней относятся вопросы погрузки, выгрузки, а также различные транспортно-складские операции и др. Вопрос дальнейшего развития и оптимизации всех процессов, имеющих отношение к грузовой и коммерческой работе на железнодорожном транспорте, крайне важен, так как рост и качественное развитие этой области деятельности отечественных железных дорог повлияет на рост и в других областях за счет увеличения доходов.

Центром грузовой работы на станции является транспортно-складской комплекс. Он объединяет в себе склады, капитальные сооружения, вспомогательные постройки, коммуникации, дороги и стоянки для грузовых автомашин, специальное оборудование и многое другое, что можно отнести к работе с грузами.

При проектировании и совершенствовании транспортно-складских операций калибруется и оптимизируется технология работы в целом, а также анализируется каждый процесс транспортно-складской работы. Чем тщательнее анализ, тем более эффективно использование инфраструктуры ТСК.

Одним из самых перспективных направлений по улучшению технологии работы транспортно-складских комплексов является их комплексная постепенная цифровизация с окончательным результатом в виде создания полной цифровой копии ТСК, отражающей в полной мере различные технологические процессы. Базовым вариантом цифровизации ТСК является создание его визуальной имитационной модели, на основе которой можно в дальнейшем анализировать технологию работы модели. На данный момент наиболее актуальным в рамках имитационного моделирования является программное обеспечение шестого поколения, которое объединяет в себе удобный графический интерфейс, а также позволяет планировать различные эксперименты, меняя параметры модели в режиме реального времени.

Для создания имитационной модели была выбрана программа имитационного моделирования AnyLogic. На базе данной программы, имеющей хорошую визуальную составляющую, можно создать имитационную модель и производить дальнейший анализ.

В рамках имитационной модели всего можно выделить 4 этапа создания цифрового двойника транспортно-складского комплекса [3] (рисунок 1).

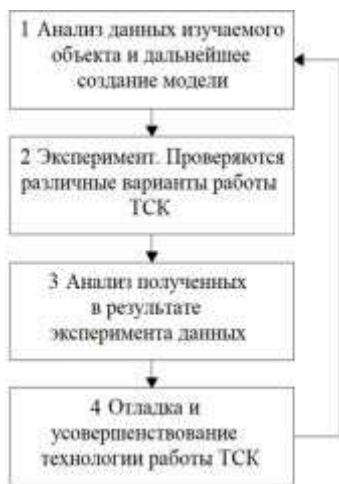


Рисунок 1 – Этапы создания цифрового двойника ТСК

В соответствии с первыми тремя этапами создается модель в ПО AnyLogic, основой которой является типовой транспортно-складской комплекс, и производятся соответствующие эксперименты с последующим анализом полученных данных (рисунок 2).

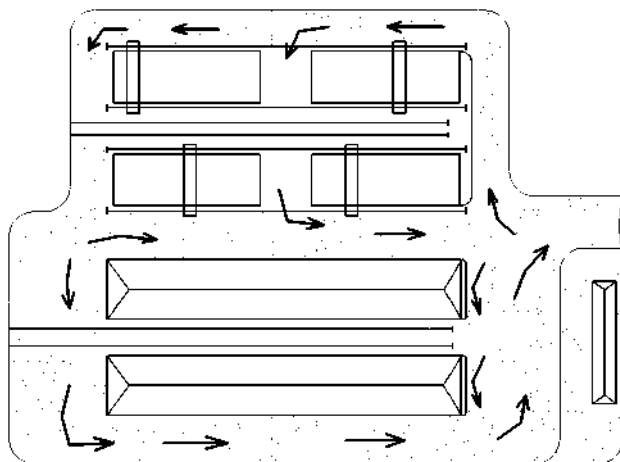


Рисунок 2 – Схема ТСК с автопроездами

Чертеж ТСК должен быть визуально воспринимаемым. Для этого используются различные текстуры из открытых библиотек AnyLogic 3dwarehouse, а также трехмерные блочные модели различных объектов складской и логистической инфраструктуры из таких программ, как Autodesk 3dsMax, Autodesk Revit и Blender (рисунки 3, 4).

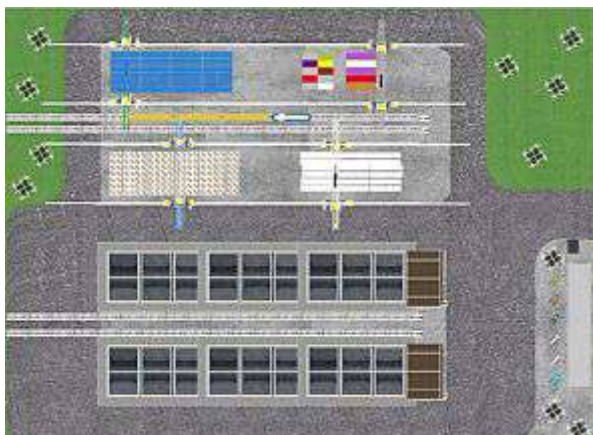


Рисунок 3 – Текстурированная и наполненная схема ТСК

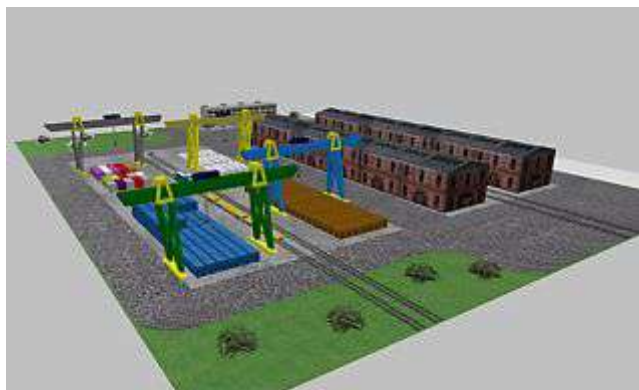


Рисунок 4 – 3D-модель ТСК

Теперь можно перейти к четвертому этапу создания цифрового двойника транспортно-складского комплекса, а именно к отладке и усовершенствованию работы ТСК. Для этого необходимо сформировать модельную схему вагонопотоков и потоков автотранспорта, технологии грузовых операций транспортно-складского комплекса (рисунок 5).

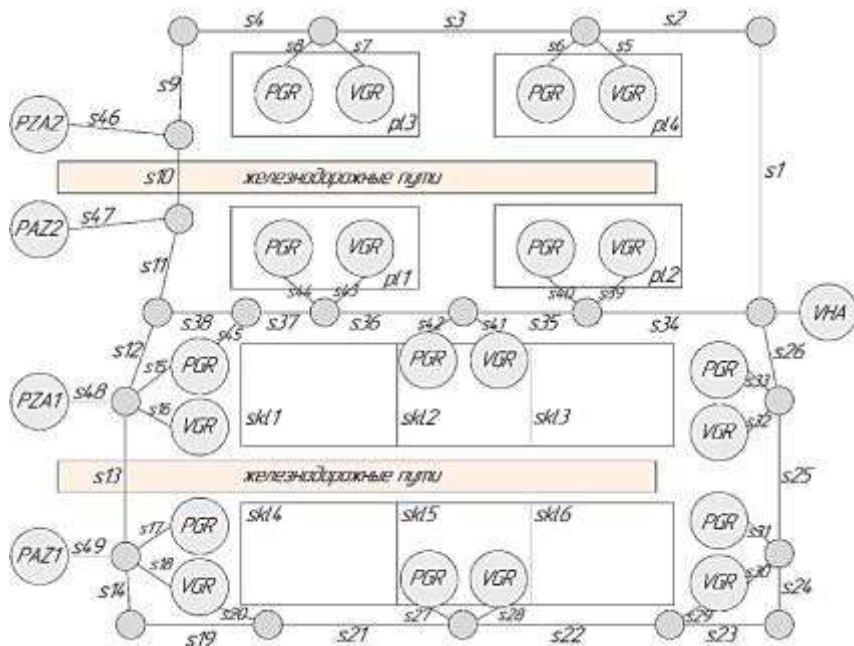


Рисунок 5 – Модельная схема ТСК

Введем обозначения различных модульных элементов схемы движения грузовых автомобилей и их обслуживания транспортно-складской инфраструктурой на данном грузовом дворе (таблица 1).

Таблица 1 – Модульные элементы ТСК

Модуль схемы ТСК	Обозначение модуля	Время занятия модуля, мин.
<i>VHA</i>	Въезд/выезд с территории	5 мин
<i>PGR</i>	Погрузка грузовых автомашин	30 мин для skl_i , 50 мин для pl_i
<i>VGR</i>	Выгрузка грузовых автомашин	30 мин для skl_i , 50 мин для pl_i
<i>PZA1</i> , <i>PZA2</i>	Прямая перегрузка по варианту железная дорога – автомобиль	25 мин
<i>PAZ1</i> , <i>PAZ2</i>	Прямая перегрузка по варианту авто- и железная дорога	35 мин
skl_i	Секция крытого склада для тарно-штучных грузов	–
pl_i	Площадка для грузов под козловым краном	–
s_i	Соединительные дороги для автомашин	$t_{s_i} = S / v$, где S – расстояние участка дороги, м; v – средняя скорость движения по территории ТСК (5 км/ч)

Время на обслуживание модулей системой принимается в соответствии со сложностью обработки того или иного груза на площадке для грузов или крытых складах. Модули схемы транспортно-складского комплекса помимо временных значений содержат и другие характеристики, связанные с технологическими операциями, выполняемыми этим модулем. К ним можно отнести технические характеристики мостового крана, используемого на крытом складе для тарно-штучных грузов; количество погрузочно-разгрузочных машин склада и их технические характеристики; максимально возможное количество вагонов, принимаемых грузовым фронтом и т. д.

На основе этих данных можно приступить к созданию аксиомат [4] – неких закономерных последовательностей событий, задач, описывающих то или иное действие, которое нам необходимо проанализировать и сопоставить с множеством других аксиомат. Данный научный подход к анализу железнодорожной инфраструктуры используется рядом ученых-транспортников [5]. Определим время занятия модулей s_i (таблица 2).

На основе всех представленных выше данных создадим ведомость аксиомат транспортно-складского комплекса. Каждая аксиомата представляет собой конкретную последовательность транспортной работы для грузовой автомашины.

Таблица 2 – Время занятия модулей s_i

Номер модуля	Время занятия модуля, мин	Номер модуля	Время занятия модуля, мин	Номер модуля	Время занятия модуля, мин
s_1	$72 / 80 = 0,9$	s_{18}	$12 / 80 = 0,15$	s_{35}	$26 / 80 = 0,33$
s_2	$41 / 80 = 0,5$	s_{19}	$30 / 80 = 0,38$	s_{36}	$31 / 80 = 0,4$
s_3	$65 / 80 = 0,8$	s_{20}	$11 / 80 = 0,1$	s_{37}	$14 / 80 = 0,18$
s_4	$31 / 80 = 0,4$	s_{21}	$47 / 80 = 0,6$	s_{38}	$17 / 80 = 0,21$
s_5	$11 / 80 = 0,14$	s_{22}	$50 / 80 = 0,63$	s_{39}	$12 / 80 = 0,15$
s_6	$11 / 80 = 0,14$	s_{23}	$23 / 80 = 0,29$	s_{40}	$12 / 80 = 0,15$
s_7	$12 / 80 = 0,15$	s_{24}	$12 / 80 = 0,15$	s_{41}	$8 / 80 = 0,1$
s_8	$11 / 80 = 0,1$	s_{25}	$35 / 80 = 0,44$	s_{42}	$8 / 80 = 0,1$
s_9	$22 / 80 = 0,28$	s_{26}	$18 / 80 = 0,23$	s_{43}	$12 / 80 = 0,15$
s_{10}	$16 / 80 = 0,2$	s_{27}	$7 / 80 = 0,09$	s_{44}	$12 / 80 = 0,15$
s_{11}	$20 / 80 = 0,25$	s_{28}	$7 / 80 = 0,09$	s_{45}	$8 / 80 = 0,1$
s_{12}	$19 / 80 = 0,24$	s_{29}	$7 / 80 = 0,09$	s_{46}	$27 / 80 = 0,34$
s_{13}	$36 / 80 = 0,45$	s_{30}	$8 / 80 = 0,1$	s_{47}	$27 / 80 = 0,34$
s_{14}	$12 / 80 = 0,15$	s_{31}	$9 / 80 = 0,11$	s_{48}	$12 / 80 = 0,15$
s_{15}	$12 / 80 = 0,15$	s_{32}	$9 / 80 = 0,11$	s_{49}	$12 / 80 = 0,15$
s_{16}	$11 / 80 = 0,14$	s_{33}	$9 / 80 = 0,11$	–	–
s_{17}	$12 / 80 = 0,15$	s_{34}	$41 / 80 = 0,5$	–	–

Таблица 3 – Ведомость аксиомат ТСК

Номер аксиоматы	Модельная схема аксиоматы
1	{ VHA ↔ VGR(pl1 V pl2 V pl3 V pl4) ↔ VHA }
2	{ VHA ↔ PGR(pl1 V pl2 V pl3 V pl4) ↔ VHA }
3	{ VHA ↔ VGR(skl1 V skl2 V skl3) ↔ VHA }
4	{ VHA ↔ PGR(skl1 V skl2 V skl3) ↔ VHA }
5	{ VHA ↔ VGR(skl4 V skl5 V skl6) ↔ VHA }
6	{ VHA ↔ PGR(skl4 V skl5 V skl6) ↔ VHA }
7	{ VHA ↔ PZA1 ↔ VHA }
8	{ VHA ↔ PAZ1 ↔ VHA }
9	{ VHA ↔ PZA2 ↔ VHA }
10	{ VHA ↔ PAZ2 ↔ VHA }

Каждый грузовой автомобиль, приезжающий на территорию ТСК, имеет определенную задачу, которая соответствует определенной аксиомате погрузки-выгрузки на одном из складских объектов. В зависимости от потребности транспортно-складского комплекса в определенной грузовой операции программой выбирается соответствующая площадка или склад. Создание модели производится в программном пакете Maple.

Например, аксиомата № 1 (см. таблицу 3) представляет собой описание действия приезда грузового автомобиля на территорию транспортно-складского комплекса, проследования по одному из возможных видов дорог до места выгрузки – одной из открытых площадок для хранения грузов pli

(пусть $p11$), а затем выезда с территории грузового двора. В зависимости от многих условий, которые устанавливаются в процессе создания аксиоматы, имеется большое количество вариаций влияния на итоговые временные затраты на грузовую операцию. Например, при возможном прохождении модулей соединительных дорог для грузовых автомашин $s10$ и $s13$ существует вероятность, что машине придется ждать проезда маневрового состава по железнодорожным путям. На основе 20 проведенных экспериментов получены результаты, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Результат экспериментов аксиоматы № 1

Номер эксперимента	Время, затраченное на грузовую операцию, мин	Модуль был занят	Основная дорога была занята
1	67,76	+	-
2	62,76	-	-
3	67,76	+	-
4	67,76	+	-
5	62,76	-	-
6	72,74	+	+
7	67,74	-	+
8	62,76	-	-
9	62,76	-	-
10	67,74	-	+
11	72,74	+	+
12	67,76	+	-
13	72,74	+	+
14	67,74	-	+
15	67,74	-	+
16	72,74	+	+
17	67,74	-	+
18	67,74	-	+
19	62,76	-	-
20	62,76	-	-
<i>Итого</i>	$\sum t = 1345$ мин	<+> - 8 <-> - 12	<+> - 10 <-> - 10

Таким образом, производя достаточное количество экспериментов, можно определить среднее время на данную грузовую операцию:

$$t_{cp} = \sum t / 20 = 67,25 \text{ мин.}$$

На основе данных всех представленных в таблице 3 аксиомат можно таким же образом найти среднее время выполнения грузовой операции относительно каждого модуля. По результатам таблицы 4 относительно аксиоматы № 1 можно сделать следующие выводы:

– в половине случаев ближайший (основной) путь к месту погрузки/выгрузки занят, поэтому имеет смысл проработать и оптимизировать путь-дублер к каждому модулю модельной схемы ТСК;

– в 8 случаях из 20 модуль для реализации грузовым автомобилем занят другим автомобилем, что приводит к дополнительным простоям. Сократить простой автомобилей можно посредством оптимизации графика подвода грузовых автомашин к ТСК и соответствующему модулю (например, площадке для тяжеловесных грузов). При дальнейшем увеличении доли случаев в выборке, когда модуль был занят, следует расширить погрузочно-выгрузочный фронт для обслуживания более одного автомобиля;

– в 4 случаях из 20 были заняты как модуль грузовой операции, так и основная дорога для подъезда к нему, т. е. в 20 % случаев автомобиль затрачивал значительное время на грузовую операцию (72,74 мин), что также говорит в пользу оптимизации пути-дублера и расширения погрузочно-выгрузочного фронта для обслуживания автомобилей.

Таким образом, изучая каждую аксиому, можно производить анализ данных и предпринимать соответствующие оптимизационные решения.

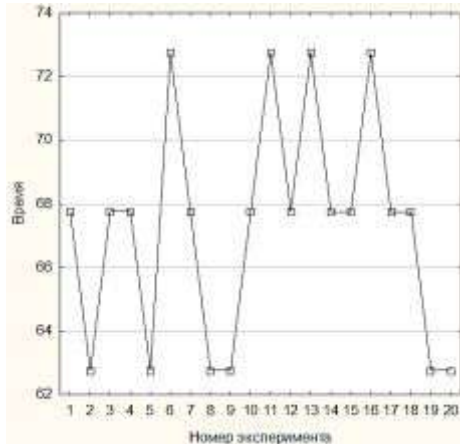


Рисунок 6 – График среднего времени, затраченного на грузовую операцию

Согласно графику (рисунок 6) можно сделать вывод, что основная концентрация времени выполнения аксиомы по данной выборке совпадает с расчетным средним временем $t_{cp} = 67,25$ мин. Данный подход к анализу работы транспортно-складского комплекса полезен тем, что с помощью аксиоматной выборки рассматривается теоретически идеальная ситуация с различными погрешностями, с которыми можно встретиться в процессе грузовых и коммерческих операций. Сравнив данные показатели с реальными, можно сделать соответствующие

выводы о том, насколько сильно отличается реальная ситуация от «идеальной», учитывающей основные погрешности, и разработать стратегию управленческих решений.

На основе этого можно предпринимать дальнейшие решения оптимизации автомобилепотоков транспортно-складских комплексов, что, безусловно, окажет положительное влияние на эффективность эксплуатации транспортно-складской и логистической инфраструктуры. Важно отметить, что внедрение такого метода анализа и дальнейшей оптимизации ТСК не требует больших капиталовложений и имеет относительно малую стоимость содержания такой экспертной системы.

Из данных, полученных из результатов подобного анализа аксиоматной модели, собирается база данных относительно заданного объекта инфраструктуры. При достижении необходимого количества экспериментов, можно применять принципы интеллектуального машинного обучения и теории нечетких множеств, таким образом, приведя к построению новых логических последовательностей решения транспортных задач в системе ТСК.

Аксиоматику транспортных процессов можно отнести к универсальным методам систематизации и оптимизации работы транспортных систем. Методы аксиоматного моделирования применимы к любым объектам транспортной инфраструктуры, а аксиоматные модели различных объектов можно увязывать между собой логическими группами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Балалаев, А. С.* Транспортное и складское обеспечение логистики : учеб. пособие / А. С. Балалаев, А. В. Кочемасова, С. Н. Третьяк. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2008. – 140 с.

2 *Транспортная логистика* : учеб. для трансп. вузов / под общ. ред. Л. Б. Миротина. – М. : Экзамен, 2003. – 512 с.

3 *Числов, О. Н.* Концепция цифрового имитационного моделирования железнодорожного транспортно-складского комплекса / О. Н. Числов, В. В. Трапенов, Н. М. Лугаченко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : международн. сб. науч. тр. / под ред. А. К. Головнича. – Гомель : БелГУТ, 2021. – Вып. 3. – С. 207–215.

4 *Числов, О. Н.* Аксиоматика транспортных процессов припортовых грузовых станций / О. Н. Числов, В. В. Ильичева, Д. С. Безусов // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 6(66). – С. 68–76.

5 *Числов, О. Н.* Принципы теории нечетких множеств в формализации инфраструктурно-технологического взаимодействия припортовой железнодорожной транспортной системы / О. Н. Числов, Д. С. Безусов // Известия Петербургского университета путей сообщения / Proceedings of Petersburg Transport University, 2021. – Т. 18, вып. 4. – С. 578–590.

O. N. CHISLOV, N. M. LUGANCHENKO

DEVELOPMENT OF MODELING PRINCIPLES TECHNOLOGIES OF TRANSPORT PROCESSES OF CARGO COMPLEXES AND TERMINALS

The article implements such methods digitalization of transport and warehouse reliability as the creation of a simulation model of the transport and warehouse complex, representing a digital open target, followed by the use of the method of axiomatization of transport and technological processes in order to obtain the efficiency of using the reliability of the transport and warehouse complex.

Получено 22.10.2022

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ СБОРНИКА

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 отдельных пунктов. Работа должна быть передана в цифровом виде на адрес электронной почты

viasiuk.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, предваряющая 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, предваряющего 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 цветными, 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 (*.crd*, *.ppt*, *.vsd*) для возможной последующей редакции 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. (5–6 страниц текста по требованиям настоящего сборника).

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, название статьи, аннотация). Указанные элементы блока разделяются расстоянием 6 пт. Оформление информационного блока на английском языке выполняется шрифтом Times New Roman, размер – 9 пт. Далее указывается дата получения редакцией статьи от автора (шрифт – Times New Roman, размер – 8 пт с пропуском 6 пт после аннотации на английском языке).

Пример оформления информационного блока, завершающего статью, приведен ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1 <i>Taha, X. A.</i> Введение в исследование операций ; пер. с англ. / X. A. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.
2 <i>Правдин, Н. В.</i> Основы взаимодействия видов транспорта (примеры и расчеты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.
3 <i>Сидяков, В. А.</i> 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

В ы п у с к 4

Редактор А. А. П а в л ю ч е н к о в а
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а
Корректор Т. А. П у г а ч

Подписано в печать 29.12.2022 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 12,56. Уч.-изд. л. 13,46. Тираж 100 экз.
Зак. 2916. Изд. № 57.

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