

**ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО
РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

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

*80-летию Великой Победы
посвящается*

ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

Международный сборник научных трудов

Под общей редакцией доктора технических наук А. К. ГОЛОВНИЧА

Гомель 2025

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

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

Приказом Высшей аттестационной комиссии
Республики Беларусь № 22 от 30.01.2020 г. сборник научных трудов
«Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов»
включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опублико-
вания 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>Вакуленко С. П., Головнич А. К.</i> Формирование маршрутов транспортной логистики мультимодальной перевозки грузов в условиях фрагментации мирового рынка транспортных услуг	6
<i>Вакуленко С. П., Куренков П. В., Герасимова Е. А.</i> Роль железнодорожного транспорта в победе СССР в Великой Отечественной войне	14
<i>Вакуленко С. П., Куренков П. В., Герасимова Е. А.</i> Оборона Тулы в Великую Отечественную войну	8
<i>Власюк Т. А.</i> Развитие пассажирских станций на железнодорожном транспорте в формате мультимодальных аттракторов и мультиторговых агрегаторов	30
<i>Власюк Т. А.</i> Комьюнити-ориентированная структура пассажирской станции в современных условиях развития городской агломерации	41
<i>Добровольский А. В., Климов А. А.</i> Новосибирский институт военных инженеров транспорта в годы Великой Отечественной войны	50
<i>Дралова И. П., Корнеев А. О.</i> Автоматизация расчетов объема земляных работ на железнодорожных станциях и перегонах	65
<i>Еловой И. А., Колос М. М., Потылкин Е. Н.</i> Расчет параметров железнодорожных станций при доставке порожних вагонов различных собственников	72
<i>Еловой И. А., Петрачков С. А.</i> Основные требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций транспортных узлов в современных условиях	78
<i>Ерофеев А. А., Хэ Х.</i> Обобщенная модель обслуживания пассажиров в транспортных пересадочных узлах	87
<i>Кожедуб С. С., Ковтун П. В.</i> Направления оптимизации проектных решений при замене стрелочных переводов в стесненных условиях	94
<i>Колесников М. В., Колошин С. А., Числов Н. О.</i> Организационно-технические структуры управления железнодорожными промышленно-транспортными системами	98
<i>Лисовенко Д. В.</i> Формирование баланса распределения грузовой работы железнодорожных терминалов методом гравитационного тяготения	106
<i>Луганченко Н. М., Числов О. Н.</i> Систематизация методов цифрового аксиоматного моделирования узловых транспортных процессов	114
<i>Liu Kangni, He Hong.</i> Research on passenger flow optimization strategy of Guangzhou railway passenger hub under the background of multi-core linkage (an Empirical Analysis Based on Prediction Model and Operational Practice)	120
<i>Ляпоров Д. В.</i> Отмобилизования воинских частей и соединений железнодорожных войск в первые дни Великой Отечественной войны	134
<i>Мизгирева Е. Е.</i> Конкурентоспособность грузовых железнодорожных перевозок	139

<i>Негрей В. Я., Кирик В. Н.</i> Ученые-эксплуатационники БелИИЖТа – БелГУТа – труженики фронтовой науки и тыла Великой Отечественной войны и послевоенного периода	145
<i>Пищик В. Г.</i> Моделирование работы контейнерного терминала: алгоритмы оптимизации и управление процессами	153
<i>Польянов В. В., Бессоненко С. А.</i> Снижение инфраструктурных ограничений радиосвязи при обработке контейнерных поездов на технических станциях.....	163
<i>Потылкин Е. Н.</i> Расчет среднего периода времени между подачами вагонов на железнодорожный путь необщего пользования.....	170
<i>Репешко Н. А., Осипова Р. Н., Дараселия Е. В., Степовая А. И.</i> Обеспечение безопасности перевозок с использованием системы биометрических данных	179
<i>Тимаишков С. Н.</i> Особенности расчета на перевозку воинской части железнодорожным транспортом в составе воинского эшелона (воинского транспорта) ...	189
<i>Филатов Е. А.</i> Обоснование параметров путевого развития пассажирских комплексов железных дорог.....	194
<i>Хэ Х.</i> Моделирование обслуживания пассажиров в среде Anilogic на примере Южного железнодорожного вокзала Гуанчжоу	201
<i>Четчуев М. В., Иванков А. Н.</i> Методика определения рациональных параметров горловин железнодорожных станций	210
Правила оформления научных статей	214

ВВЕДЕНИЕ

Сборник продолжает публикацию научных статей по проблемам развития железнодорожных станций и узлов. Традиционно обращается внимание на перспективные идеи и реализацию передовых транспортных технологий, которые обеспечивают увеличение пропускной и перерабатывающей способности станционных устройств, направленных на повышение качества обслуживания грузовых и пассажирских перевозок, способствующих сокращению непродуктивных расходов и непроизводительных ожиданий благодаря использованию современных информационно-управляющих систем, цифровых двойников и искусственного интеллекта.

2025 год – особая дата для истории нашей страны. Это год 80-летия Великой Победы советского народа в кровопролитной, но праведной войне против фашизма. Советский народ выстоял и победил. Железнодорожники на фронтах и в тылу приближали долгие 4 года эту Великую Победу своими беспримерными подвигами во имя великой цели освобождения страны от гитлеровских захватчиков. В настоящем сборнике Великой Победе посвящается 5 статей, в которых авторы предлагают нам вспомнить о героизме железнодорожников-фронтовиков, транспортников, трудившихся в тылу, ученых и исследователей, внесших свой великий вклад в эффективную работу транспортного конвейера. Это наша история, которая неотделима от нашего будущего. И мы должны помнить прошлое, потому как мы имеем настоящее только благодаря тому, что за него боролось ценой своей жизни поколение недалекого, но прошлого.

Редакционная коллегия сборника будет продолжать эту традицию памяти нашей истории и приветствует публикации, посвященные роли железнодорожных станций, железнодорожного транспорта, транспортников в Победе в Великой Отечественной войне.

ВВЕДЕНИЕ

Сборник продолжает публикацию научных статей по проблемам развития железнодорожных станций и узлов. Традиционно обращается внимание на перспективные идеи и реализацию передовых транспортных технологий, которые обеспечивают увеличение пропускной и перерабатывающей способности станционных устройств, направленных на повышение качества обслуживания грузовых и пассажирских перевозок, способствующих сокращению непродуктивных расходов и непроизводительных ожиданий благодаря использованию современных информационно-управляющих систем, цифровых двойников и искусственного интеллекта.

2025 год – особая дата для истории нашей страны. Это год 80-летия Великой Победы советского народа в кровопролитной, но праведной войне против фашизма. Советский народ выстоял и победил. Железнодорожники на фронтах и в тылу приближали долгие 4 года эту Великую Победу своими беспримерными подвигами во имя великой цели освобождения страны от гитлеровских захватчиков. В настоящем сборнике Великой Победе посвящается 5 статей, в которых авторы предлагают нам вспомнить о героизме железнодорожников-фронтовиков, транспортников, трудившихся в тылу, ученых и исследователей, внесших свой великий вклад в эффективную работу транспортного конвейера. Это наша история, которая неотделима от нашего будущего. И мы должны помнить прошлое, потому как мы имеем настоящее только благодаря тому, что за него боролось ценой своей жизни поколение недалекого, но прошлого.

Редакционная коллегия сборника будет продолжать эту традицию памяти нашей истории и приветствует публикации, посвященные роли железнодорожных станций, железнодорожного транспорта, транспортников в Победе в Великой Отечественной войне.

УДК 654.064:339.5

С. П. ВАКУЛЕНКО

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

А. К. ГОЛОВНИЧ

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

ФОРМИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ В УСЛОВИЯХ ФРАГМЕНТАЦИИ МИРОВОГО РЫНКА ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ

Исследуются тенденции мирового рынка транспортных услуг на фоне геополитических и экономических изменений в современных межгосударственных отношениях. Диверсификация транспорта в этих условиях связывается с созданием регионально независимых мультимодальных маршрутов следования грузов, базовой инфраструктурой которых является техническое оснащение морских портов и железнодорожных станций. Рассматривается возможность построения комультимодальной сферы транспортного обеспечения с интегрированным использованием технических ресурсов для их высокоэффективного применения на примере региональных транспортных инициатив в глобальных проектах перевозки грузов из России и Беларуси потребителям во все страны мира.

Целенаправленное развитие транспортной системы и ее инфраструктуры является ключевым фактором для улучшения экономического роста, территориального развития страны и повышения общего благосостояния населения. Транспортная политика в современных условиях рассматривается как важнейший фактор общей стратегии развития для государства, которое прогнозирует стабильное развитие своей экономики, где транспортная система и транспортная политика играют ключевую роль в формировании устойчивых внутренних и внешних рынков обеспечения и сбыта товаров. Планируемое развитие эффективной транспортной инфраструктуры способствует улучшению конкурентоспособности транспорта в целом, поскольку контролируемое

сохранение достаточных пропускных и провозных способностей участков дорог позволяет наращивать объемы перевозок, обуславливающих незначительные ожидания в пунктах погрузки, перевалки и выгрузки грузов.

Для успешного функционирования транспортного конвейера в масштабах значительных географических пространств и различных ресурсов определяющим условием является эффективное взаимодействие нескольких видов транспорта. В настоящее время формируется структура своеобразного *комбинативного* мультимодального взаимодействия, в котором на техническом, технологическом и правовом уровнях определяется системное поле многокомпонентных ресурсов для эффективного выполнения потребного объема грузовых перевозок. Для создания такого «комультимодального» транспортного организма и его эффективного функционирования необходимо тесное сотрудничество между странами на более высоком уровне, где национальные транспортные компании различных видов транспорта в разных странах, заинтересованных в развитии такого сотрудничества, разрабатывают и решают задачи по одному согласованному плану. В условиях цифровизации ключевую роль в развитии комультимодальной транспортной системы играют ИТ-компании, которые обеспечивают эффективную информационную поддержку инфраструктурным проектам, разрабатывая адаптивные компьютерные среды для учета, контроля, планирования и прогнозирования транспортных потоков.

Современная планетарная транспортная система включает коммуникации железных и автомобильных дорог, морских, речных и воздушных путей, трубопроводов, специальных транспортных комплексов, общая протяженность которых превышает 50 миллионов километров. Транспорт нашей планеты ежегодно перевозит более 110 миллиардов тонн грузов. Поэтому транспорт как ключевой элемент экономики, справедливо называют четвертой сферой материального производства, определяющей развитие всех экономических процессов.

В условиях глобализации происходит определенная унификация национальных транспортных систем, которые сближаются между собой по параметрическому и функциональному наполнению, организационным и технологическим требованиям, информационному и правовому обеспечению. Однако в настоящее время этот процесс проходит в несколько неоднозначном ключе по различным причинам. Финансовые и технологические диспропорции в развитии стран, прошедшая пандемия COVID-19 и последовавшая рецессия рынка транспортных услуг, глобальные вызовы и политические проблемы не способствуют выработке консолидированных решений по формированию унифицированных международных транспортных связей. Скорее даже наоборот, можно наблюдать тенденции дезинтеграции, когда происходит ревизия достигнутых международных соглашений в области транспорта в направлении отказа от общих норм в пользу определенных национальных интересов.

На фоне санкционных ограничений начинают развиваться относительно замкнутые по логистике связи региональные и межрегиональные транспортные системы, которые функционируют по правилам, выгодным только сообществу стран, тесно связанных экономически и политически. Для Российской Федерации современные вызовы позволяют показать всему миру возможность успешного противостояния внешнему экономическому давлению и вместе с союзниками искать эффективные пути продвижения грузопотоков.

Наиболее перспективным в этом направлении следует признать китайский проект «Один пояс, один путь», охватывающий более 60 стран Европы, Азии, Африки и Латинской Америки. С позиций концентрации грузовых потоков особо привлекательным выглядит Северный морской путь (СМП), связывающий все арктические и субарктические регионы Российской Федерации и являющийся кратчайшим маршрутом между Европейской частью России и Дальним Востоком с выходом на Юго-Восточную Азию и Африку. Благодаря реализации масштабных инфраструктурно-технологических и социально-экономических проектов (реконструкция транспортно-складского хозяйства портов, развитие приморских городов, клиентоориентированные контрактные отношения с грузоотправителями, ледокольная проводка судов в период с ноября по июнь) СМП превращается в маршрут всесезонной навигации, способный стать экономически целесообразной альтернативой существующему пути через Суэцкий канал. Международным транспортный коридор «Север – Юг» является третьей успешной логистической альтернативой, которая формирует доставку грузов в меридианном направлении, обеспечивая перевозку грузов между Россией, Азербайджаном, Ираном, Пакистаном, Индией и другими странами [1, 2].

Эти транспортные инициативы имеют большое значение и для Республики Беларусь, как полноправного участника интеграционного объединения ЕАЭС. Удачное с географической точки зрения ее расположение на пересечении трансъевропейских транспортных коридоров позволяет участвовать в развитии инфраструктурных и логистических проектов по формированию расширенной грузовой базы для всех трех транспортных инициатив. Кроме того, Беларусь обладает значительным геоэкономическим транзитным потенциалом, так как находится между двумя континентальными геоэкономическими центрами Востока и Запада.

Развитие транспортной системы Беларуси направлено прежде всего на создание безшовной технологии продвижения грузо- и вагонопотоков по единому транспортному пространству через стыковые пункты на сети дорог сопредельных стран. Для доставки экспортных грузов предприятия Беларуси формируют маршрутные поезда, следующие до станций назначения российских потребителей или с перевалкой на морские порты России. Например, холдинг «Белорусская цементная компания» отправляет кольцевые

маршруты, сформированные из вагонов-хопперов, которые доставляют с Костюковичского цементного завода в Московскую область и в Северо-Западный федеральный округ продукцию белорусского производства. Для успешной реализации такого проекта были решены сложные вопросы по выравниванию пропускных способностей железнодорожных станций на пути следования маршрутов, обеспечению соответствующих емкостей складских помещений краткосрочного и длительного хранения груза.

На российские морские порты отправляются белорусские нефтепродукты, стальная арматура, пиломатериалы, минеральные удобрения, молочная продукция. Новая логистика позволила выйти этим грузам на потребителей в Латинской Америке и Африке. В настоящее время белорусские грузы дальнего экспорта используют инфраструктуру 20 российских портов. Благодаря устойчивому росту объемов перевозок с железнодорожных станций Белорусской железной дороги на морские порты Ленинградской области Российские железные дороги начинают активно инвестировать финансовые средства в развитие железнодорожных подходов к перегрузочному терминалу Бронка. Прогнозируется, что в ближайшей перспективе этот поток вырастет до 20 млн тонн грузов в год. Поэтому соответствующим проектом предусматривается строительство 75-километрового юго-западного обхода Петербурга с переустройством станции Владимирская, а также поэтапная электрификация всего маршрута следования поездов между станциями Жлобин и Луга-I.

С морских портов Петербурга белорусские грузы следуют паромными и контейнерными маршрутами до Калининграда. Эти маршруты предусматривают предварительное безочередное бронирование паромов. На разных участках пути кроме железнодорожного транспорта активно используется автомобильный. Для доставки белорусских грузов в самый западный регион России потребуется 10 суток.

В Мурманской области планируется построить специальный грузовой терминал для перегрузки белорусских минеральных удобрений. Начаты инженерные изыскания на предполагаемом районе его постройки на западном берегу Кольского залива. Через новый грузовой терминал планируется перегружать до семи миллионов тонн грузов в год.

Международный транспортный коридор «Север – Юг» обеспечивает выход российским и белорусским грузам на рынки Ирана, Пакистана и Индии. Этот маршрут имеет два сухопутных хода (через Азербайджан и Казахстан-Туркменистан) и морской путь по Каспийскому морю. Использование морских портов в устье Волги открывает кратчайший путь к портам Ирана, которые имеют развитую перегрузочную и складскую инфраструктуру и позволяют выполнять работу с широкой номенклатурой грузов.

Под влиянием многочисленных внешних вызовов и экономических факторов российский логистический рынок следует тенденции перераспреде-

ния товарных потоков и их переориентации на Восток. В этой связи резко вырастает значимость мультимодальных хабов и интермодальных площадок с выполнением сквозных таможенных процедур, формирующихся на основе инфраструктуры крупных железнодорожных узлов и морских портов.

Фрагментация мирового рынка транспортных услуг формирует относительно замкнутые региональные логистические маршруты движения грузопотоков. Наличие мощных грузовых баз, пространственная разделенность отправителей и потребителей товаров в России, Китае и Юго-Восточной Азии, высокая плотность и пропускная способность транспортных коммуникаций различных видов транспорта позволяют выстраивать мощные маршрутные потоки с тенденцией устойчивого роста в обозримой перспективе. Морской и железнодорожный транспорт благодаря своему техническому оснащению и тесному технологическому взаимодействию исполняют роль связующих регуляторов всего процесса перевозок, эффективность которого определяется производительной перевалкой грузов в морских портах на железнодорожный транспорт. При этом работа портовых сортировочных станций не должна становиться критичным узлом взаимодействия двух видов транспорта из-за существенного различия грузоподъемностей подвижного состава. Мощность инфраструктуры сухих портов должна встраиваться в логистические цепочки передачи грузов с одного вида транспорта на другой, способствуя повышению эффективности работы всего мультимодального перегрузочного комплекса [3].

Путевое развитие и техническое оснащение предпортовых и портовых железнодорожных станций играет особую роль в обеспечении тесного взаимодействия с причалами морского порта. Режимы подачи и уборки вагонов, размеры групп перемещаемых на фронты погрузки-выгрузки вагонов, графики использования складских помещений, возможности прямого перегруза из судна в вагоны и обратно способствуют установлению *безэкспертных связей* (с отсутствием ожиданий) в транспортном узле.

Безэксперт может функционировать при использовании адаптивных графиков планирования работы железнодорожной станции и морского порта со скользящим периодом корректировок оперативных действий служебного персонала по занятию путей, складов, работе маневровых локомотивов, погрузо-выгрузочных и перегрузочных механизмов. Неравномерность поступления судов и вагонов полностью компенсируется активным использованием причальных складов и устройств сухих портов.

Важная роль при внедрении безэкспертных технологий отводится *кросс-докингу* – системе сквозного складирования, при которой исключаются все непроизводительные операции повторной сортировки, многократного перемещения грузов по складам, перемаркировки, сопроводительного документального оформления груза и др. Для достижения целей безэксперта кросс-докинг полностью заменяет традиционную операцию складского хранения, допуская нахождение груза на складе с продолжительностью времени, не

большей строго установленной, определяемой размером партии, наименованием груза, требованиями получателя.

Ретентивная (строго ограниченная) продолжительность нахождения грузов в портовых складах является определяющим условием работы транспортного узла без простоев подвижного состава и ожиданий выполнения технологических операций.

Инфраструктура и парк подвижного состава предпортовых и портовых железнодорожных станций должны обладать определенной избыточностью ресурсов, способных погасить неравномерность подхода грузов из порта и в порт. Резервный подвижной состав должен находиться в оперативном отстое на путях специализированного парка портовой станции. Пропускная способность приемо-отправочных и других парков должна рассчитываться с учетом пиковых нагрузок работы станции, а пути, не занятые в период относительно невысоких нагрузок, не должны использоваться для отстоя вагонов, нахождения подвижного состава, выведенного из рабочего или инвентарного парка, в ожидании перегруза и др.

Белорусский экспорт расширяет свое присутствие на мировых рынках промышленной и сельскохозяйственной продукции, активно используя для перевозки железнодорожный транспорт. Выход на морские порты Балтики, Черного моря, Северного морского пути и Дальнего Востока обеспечивается благодаря перевалке грузов в морских портах Бронка, Новороссийск, Мурманск и Владивосток. Перегрузка на узкую колею по стыковым пунктам Алтынкуль, Достык, Забайкальск и Наушки позволяет следовать грузам белорусских предприятий до потребителей Китая и Юго-Восточной Азии. Новороссийский морской порт обеспечивает вывоз грузов в южноазиатский и африканский регионы (рисунок 1).

Устойчивый поток грузов из Беларуси в Мурманск формирует новое маршрутное направление Западного коридора, который начинает питать Северный морской путь с прогнозируемым потоком не менее 5 млн тонн в год. Этот грузопоток может активно возрастать, если инфраструктура морских портов по маршруту морского пути будет окружаться железными дорогами. В настоящее время на различных стадиях предпроектной проработки, проектирования и строительства находятся железнодорожные линии Белкомура (Белое море – Коми – Урал), Северного широтного хода и Трансполярной магистрали (рисунок 2).

Мультимодальные перевозки по Северному морскому пути с выходом железной дороги на морские порты Хатанга, Дикси, Певек, Анадырь, Магадан, Петропавловск-Камчатский получают качественное развитие благодаря открытию новых грузовых баз. Сортировочные станции, построенные в этих морских портах, станут центрами для региональных грузопотоков [4–6].



Рисунок 1 – География мультимодальных маршрутов белорусского экспорта

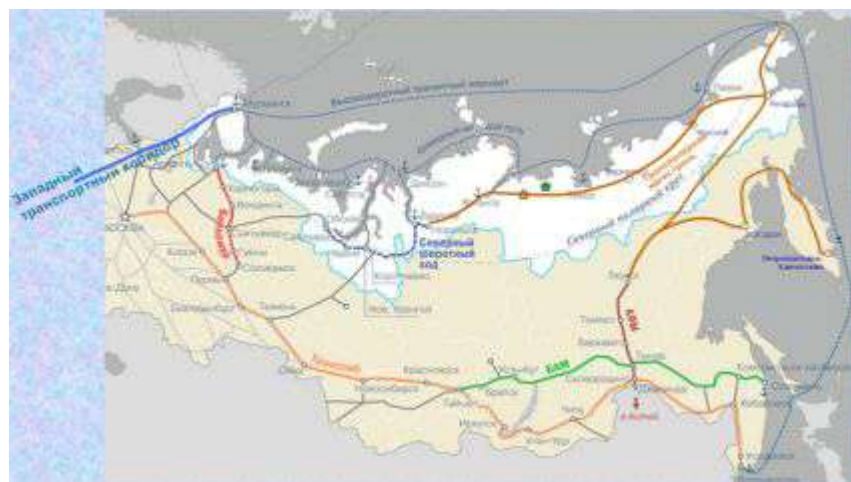


Рисунок 2 – Перспективное развитие железных дорог Крайнего Севера и Дальнего Востока Российской Федерации

Железнодорожный транспорт всегда был своеобразной аттрактивной зоной экономического роста городов, областей, провинций и целых стран, в которых промышленность начинала бурно развиваться благодаря стабильному транспортному обслуживанию с бесперебойной производственной, сбытовой и складской логистикой товарных отношений. Эти отношения формирует логистика железнодорожных станций и узлов, настраиваемая на технологический ритм работы обслуживаемых промышленных предприятий. Обеспечение морских портов достаточной пропускной способностью железнодорожной инфраструктуры позволит дополнительно получить мощный транспортный ресурс для всего 14000-километрового маршрута следования судов из Мурманска до Владивостока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Транспорт и логистика. – URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/sfera-uslug/transport-i-logistika> (дата обращения: 16.08.2021).

2 Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2030 года. – URL: http://www.economy.gov.by/nfiles/001146_318013_NSUR2030.pdf (дата обращения: 18.08.2021).

3 Всемирная торговая организация: основные принципы и правила. – URL: <http://www.mfa.gov.by/docs/WTO.pdf> (дата обращения: 20.08.2021).

4 План развития Северного морского пути до 2035 года. – URL: <https://ecoshp.ru/blog/plan-razvitiya-severnogo-morskogo-puti-do-2035/> (дата обращения: 17.08.2025).

5 Северный морской путь 2050 – тихая гавань глобальной логистики. – URL: https://roscongress.org/materials/severnyy-morskoy-put-2050-tikhaya-gavan-globalnoy-logistiki/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 17.08.2025).

6 Северный морской путь: перспективы и риски. – URL: <https://pravo.ru/ecology/case/261604/> (дата обращения: 17.08.2025).

S. P. VAKULENKO, A. K. GOLOVNICH

FORMATION OF ROUTES TRANSPORT MULTIMODAL LOGISTIC OF CARGOES TRANSPORTATION IN SEPARATION THE WORLD MARKET TRANSPORT SERVICES

The tendencies of the world market transport services on a background of geopolitical and economic changes in the modern interstate are investigated. Diversification of transport in these conditions contacts to creation independent multimodal routes of following cargoes, which base infrastructure is the hardware of seaports and railway stations. The opportunity construction multimodal sphere of transport maintenance with integrated use of technical resources for their highly effective application on an example of the regional transport initiatives in the global projects transportation of cargoes from Russia and Belarus to the consumers in all countries of the world is considered.

Получено 18.09.2025

УДК 355.69:94(47+57)"1941/1945"

С. П. ВАКУЛЕНКО, П. В. КУРЕНКОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Е. А. ГЕРАСИМОВА

*Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара,
Российская Федерация*

РОЛЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В ПОБЕДЕ СССР В ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЕ

Рассмотрен опыт железных дорог СССР по перевозке промышленных грузов, нефти и эвакуации населения в экстремальных условиях Великой Отечественной войны.

К 1941 году на железнодорожной сети прошла глубокая модернизация. Многие железные дороги были построены в конце XIX – начале XX века по легкому варианту. Например, на Енисее не было моста, то есть Транссиб был, а моста не было. При советской власти вторая ветка Транссиба не была достроена, а сооружен был лишь второй главный путь существующей колеи. Также бы реализован проект обхода Маньчжурии. Самой серьезной модернизацией стало сооружение рокад – железных, шоссейных или грунтовых дорог в прифронтовой полосе, проходящих параллельно линии фронта, в которых остро нуждался фронт в Первой мировой войне.

Только за первые полгода Великой Отечественной войны на фронт было отправлено два с половиной миллиона вагонов, благодаря чему за Урал возились люди и промышленные предприятия. Составы с военными, боеприпасами, продуктами, горючим двигались буквально сплошной вереницей (рисунок 1).

Но транспортная логистика страдала, так как фашисты регулярно бомбили маршруты движения поездов. Сзади состава часто цепляли второй паровоз, который одновременно был запасным вариантом для обеспечения локомотивной тяги и дополнительным толкачом на трудных участках профиля пути.

В тяжелых условиях организации работ все операции на станциях можно было проводить только с помощью тех, кого перевозили. Например, при погрузке эшелонов танковых бригад сами танкисты помогали рабочим в подготовке и креплении техники на платформы [1].

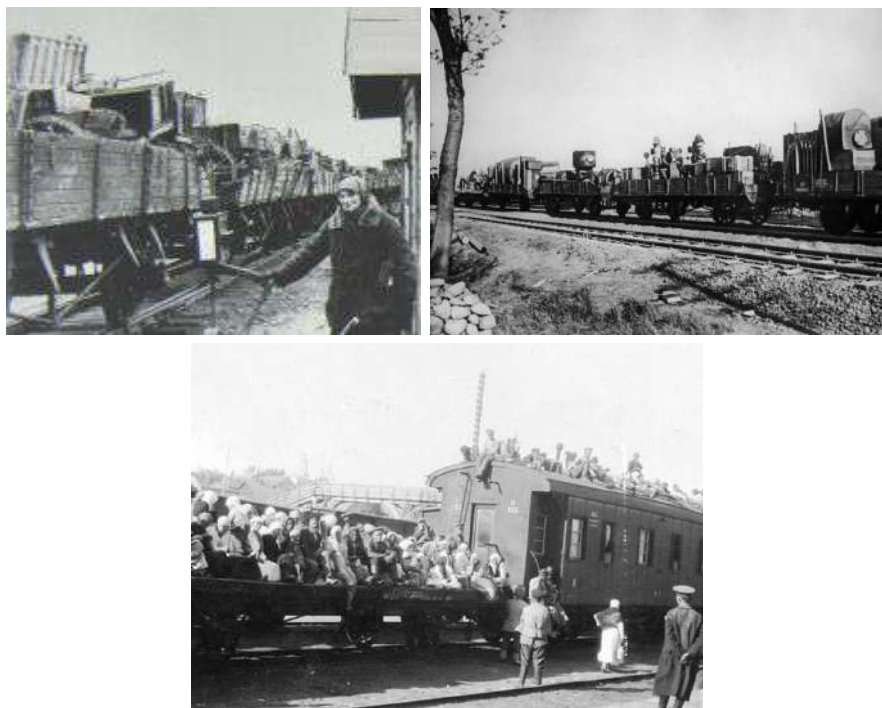


Рисунок 1 – Эвакуация предприятий и населения
в годы Великой Отечественной войны

Эвакуация людей длилась не один день. В пути этих людей приходилось и лечить, и кормить. Остановки производились на крупных станциях. Проблем было много. Когда поезд останавливался, никто не знал, сколько он будет стоять, когда дальше, но люди бежали в кубовую. Кубовая – это место, где есть кипяток, продукты питания, которыми кормили бесплатно.

Поезда и эшелоны бомбили постоянно. Превосходство противника в воздухе было подавляющим, но движение поездов продолжалось. После налетов поезды удавалось ремонтировать с помощью ремонтных летучек. Это были паровозы и 1–2 вагона со специальными уголками для инструментов, которые ставили в вагоны, и поезд мог работать как ремонтный.

Немцы делали то же самое, поэтому партизаны начали взрывать мосты, препятствуя движению таких поездов (рисунок 2).

Бронепоезда и танки в первый год войны стали своеобразным щитом пехоты, прикрывающим отступающие пехотные части. Бронепоезда ставили как заграждения перед маневровым составом, выезжавшим со станционных путей. Бронепоезда были легкие и тяжелые.



Рисунок 2 – Взрыв железнодорожного моста партизанами в ВОВ

В тяжелых были одна-две 107-миллиметровые пушки, которые останавливали или задерживали противника, но, к несчастью, большинство этих поездов было уничтожено, так как броня была противопульная, и когда на рубеж выходили немецкие танки, всё заканчивалось достаточно быстро и печально для наших войск.

В августе 1942 года возникла большая серьезная проблема с доставкой горючего. Немцы при наступлении перерезали основные пути поставок бакинской нефти. В те годы на азербайджанских месторождениях добывалось более 70 % всей советской нефти. Без поставок из Баку страна оказалась бы на грани топливного голода, так как запасов на нефтеперерабатывающих заводах оставалось всего на 3 месяца. До этого всё топливо отправлялось железной дорогой через Северный Кавказ, танкерами через Каспий и далее – по Волге. Но сухопутный маршрут был перерезан гитлеровцами при наступлении, а танкеров после авианалетов практически не осталось. Поэтому единственный вариант перевозки связывался с железной дорогой через Астрахань или Гурьев, но для этого нужно было как-то переправить нефть через Каспий. Проблему решили следующим образом. Был рассчитан точный объем топлива, при котором цистерны сохраняли плавучесть в воде. После этого целые составы с топливом на буксире начали переправлять через море (рисунок 3).

Эта идея появилась в Блокадном Ленинграде. При перевозке топлива железнодорожными составами через Ладогу с платформ снимали цистерны и, недолившие доверху для поддержания плавучести, они сталкивались в воду и тянулись судами-буксирами. В этот момент в воздухе барражировали наши истребители, прикрывая плавучий груз от противника. В таких импровизированных поездах за раз перевозили 4–5 цистерн.



Рисунок 3 – Переправа горючего в цистернах по воде

Была проблема в понимании, что такое железнодорожные войска, поэтому создавались специальные колонны НКПС. Считалось, что все зачисленные в эти колонны находились на передовой. 40–50 паровозов находились на вокзале, например, приписанных к Белорусскому вокзалу Москвы. Если поступал приказ о переброске армии с одного участка фронта на другой, то все эти паровозы с поездами в составе войск выдвигались с несколькими локомотивными бригадами. В пути локомотивные бригады менялись, что позволяло маневрировать силами, средствами и достаточно быстро перемещать войска и технику в необходимый район фронта для удара.

Железные дороги в те годы стали стратегическим фактором в военных операциях. От железнодорожников зависела оперативная переброска боевой техники и десятков тысяч бойцов, развертывание боевых подразделений и организация снабжения.

На плечи железнодорожников легла вся работа по восстановлению разрушенных войной станций и узлов, локомотивных и вагонных депо, мостов и других сооружений. Их труд позволил обеспечить проведение наступательных операций, а позднее – восстановить экономику в освобожденных районах страны. Трудно представить, как была бы одержана победа в Великой Отечественной войне без железных дорог и самоотверженного труда железнодорожников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Железные дороги Великой Войны. – URL: <https://spec.rzd-partner.ru/page/825671.html> (дата обращения: 26.08.2025).

S. P. VAKULENKO, P. V. KURENKOV, E. A. GERASIMOVA

ROLE OF RAILWAY TRANSPORT IN A VICTORY USSR IN GREAT PATRIOTIC WAR

The experience of iron roads USSR on transportation of industrial cargoes, petroleum and evacuation of the population in extreme conditions of Great Patriotic war is considered.

Получено 27.09.2025

УДК 94(470.312)"1941"

С. П. ВАКУЛЕНКО, П. В. КУРЕНКОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Е. А. ГЕРАСИМОВА

*Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара,
Российская Федерация*

ОБОРОНА ТУЛЫ В ВЕЛИКУЮ ОТЕЧЕСТВЕННУЮ ВОЙНУ

Рассмотрены этапы обороны Тулы осенью 1941 года и героическая роль населения в защите своей родины во время Великой Отечественной войны. Также показана роль железнодорожников в обороне Тулы.

В конце октября 1941 года на московском направлении Советско-германского фронта сложилась критическая ситуация. Немецкие войска в некоторых местах находились на расстоянии одного перехода от Красной площади. Ценой неимоверных усилий на севере и западе от Москвы наступление противника было остановлено на подступах к Орлу. Это создало угрозу окружения Москвы с юго-востока, но немцам еще нужно было взять Тулу (рисунок 1).



Рисунок 1 – Карта продвижения немцев в начале осени 1941 г.

Немцам этот вековой центр оружейной промышленности был нужен по двум причинам. Во-первых, как железнодорожный узел, который необ-

ходим для снабжения войск и передвижения дивизий. Во-вторых, как плацдарм для авиации, потому что здесь находился крупный аэродром.

14 октября по приказу ставки главного командования в Туле создают штаб обороны. Его комиссаром назначают 1-го секретаря Тульского обкома партии Василия Жаворонкова. В штабе делают первый анализ обстановки. Главный вывод – достаточными силами для борьбы с врагом Тула не располагает.

Из воспоминаний Василия Жаворонкова: «Между Орлом и Тулой, по нашему тогдашнему представлению, никаких войсковых частей не было. И в Туле самой, кроме полка НКВД, охраняющего оборонные заводы и истребительных батальонов по районам из рабочих и служащих, 732-го зенитно-артиллерийского полка, который прикрывал Тулу от воздушного противника, ничего нет». Но готовиться к обороне было нужно. Туляки получили распоряжение затемнить дома и заклеить их белой бумагой, чтобы осколки стекол не разлетались при взрывах. Горожане выбрали не бумагу, а ленты из старых простыней [1].

В это время осенью на полях идет уборка картофеля. Из десяти мешков колхозникам разрешают оставлять себе один. Но в приоритете сушеные овощи. Они легче. В начале октября в колхозах начинают прием теплых вещей для бойцов. В Тульской газете «Коммунар» каждый день отчитываются о результатах. Заметка от 3 октября 1941 года: «Домохозяйка Малышкина сдала теплое одеяло, две сорочки, полотенце и около 13 метров марли для бинтов».

В районах вводят всеобщее обязательное военное обучение. Детям рассказывают, как бороться с так называемыми термитными зажигалками. Термитной зажигалкой в годы войны называли зажигательные бомбы, которые немцы сбрасывали с самолетов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Зажигательные бомбы

Эти бомбы легко пробивали крыши и крутились на чердаках волчками. Когда срабатывал взрыватель, весь чердак оказывался в огне. Так немцы поджигали целые кварталы.

8 октября в городе принимают решение об эвакуации предприятий. Тульский оружейный завод, конструкторское бюро приборостроения, патронный, машиностроительный завод «Штамп», Туламашзавод, завод № 18. Всё оснащение этих предприятий вместе с рабочими вывозят вглубь страны, чтобы наладить производство оружия для армии вдали от бомбёжек (рисунок 3).

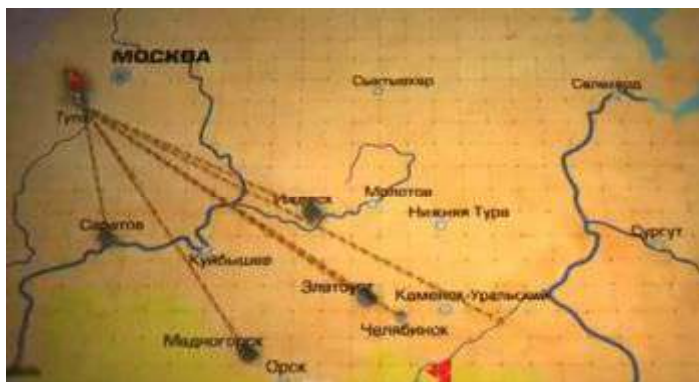


Рисунок 3 – Схема эвакуации предприятий из Тулы

Основная работа по эвакуации была выполнена к 28 октября. За два дня до первой массовой атаки на город 14 октября штаб обороны выпускает приказ № 1. По нему Тулу делят на четыре оборонительных района: Привокзальный, Центральный, Зареченский и Пролетарский. Каждый район должен был подготовить круговую оборону с расчетом прострела всех прилегающих улиц (рисунок 4) [2].



Рисунок 4 – Схема оборонительных районов Тулы

Для этого каменные здания нужно было сделать опорными пунктами для боя. После в городе должны были начать закладку мин и фугасов. Фугасы были двух видов: нажимного и натяжного действия. Фугас нажимного действия срабатывал, когда на взрыватель наезжали колесо, гусеница танка или наступал человек. Фугас натяжного действия активизировали за счет натянутой проволоки, которую одним концом привязывали к различным предметам, чаще всего деревьям, а другим – к чеке. Она и приводила мину в действие.

22 октября в Туле был создан Комитет обороны, и сразу же объявлено о призыве всего трудоспособного населения для выполнения оборонных задач, т. е. для рытья окопов и траншей. Параллельно туляки рыли укрытия в своих садах. Их глубина обычно была до полутора метров. В центр они ставили железные печи. Когда немцы вплотную подошли к Туле, в таких ямах целые семьи сидели сутками.

23 октября вышло постановление о строительстве укреплений вокруг Тулы и в городе. Линии обороны разделились на внутреннюю и внешнюю. По сути, с этого постановления началось строительство баррикад в самом городе, а не только на его границах. Всё дело в том, что сил вести бой в полевых условиях у Тулы не было.

Немцы значительно превосходили защитников и по технике, и по людям. Чем дальше от города туляки выстроили бы оборону, тем проще немцам было бы их окружить. Поэтому ближняя оборона стала единственным выходом. В тот же день вышло постановление о формировании Тульского рабочего полка. Его командиром назначили капитана Горшкова.

В Тульский рабочий полк включают отряды народного ополчения и так называемые истребительные батальоны – всего полторы тысячи человек. Бойцов рабочего полка переводят на казарменное положение и размещают в здании механического института (сейчас это корпус Тульского госуниверситета).

Истребительный батальон во время войны – это по сути объединение добровольцев, которые по разным причинам не попали в первый призыв. Днем они могли работать на заводах или в партийных организациях, но по первому приказу должны были явиться для выполнения порученных заданий. Первоначально это была охрана предприятий, разведка, диверсии. Логично, что и в рабочий полк вошли слесари, фрезеровщики, сапожники, шахтеры, повара, рабочие заводов, инженеры. Были в нем и молодые тулячки, которые стали сандружинницами.

За взятие города отвечала танковая армия Гудериана. В 1941 году 53-летний генерал-полковник немецкой армии уже был известен своими молниеносными атаками и имел прозвище «Быстрый Гейнц». Для поддержки ему выделили пехотный полк «Великая Германия». Это элитные войска,

которые на тот момент еще ни разу не проигрывали. В общей сложности против города оружейников Гудериан ввёл около трехсот танков. Поддерживала их боевая авиация. Противостоять немцам, защищая подступы к Туле, должна была 50-я армия под командованием генерала Ермакова.

Тульская оборонительная операция началась 24 октября с отступления. Ставке даже пришлось выпустить директиву, по которой отход советских войск должен был проводиться последовательно, взрывая за собой мосты и дороги. Пока наши войска отступали, Тулу перевели на осадное положение. Постановление об этом вышло 25 октября. По нему с 22 часов вечера и до 5 утра любое движение по улицам запрещалось. В самом городе началось строительство баррикад и противотанковых рвов.

Итоговый вид оборонительных рубежей обороны Тулы представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Рубежи обороны

Перед передним краем вокруг города был сделан противотанковый ров, общей длиной 6 км. Первый рубеж обороны находился в двух километрах от южной окраины Тулы. Там заложили минные поля, сделали противотанковые рвы и надолбы. Но закончить этот рубеж так и не успели.

Второй рубеж проходил по улицам Льва Толстого и Технической (теперь это улица Вересаева). Третий начинался от железнодорожного моста и шел до Хомутовской, выходя флангами в реку Упу. При строительстве баррикад поперек улиц сооружались каменные или деревянные стены, к которым подсыпали песок или землю.

Немцы наступали авиацией, артиллерией, танками и пехотой. На косой горе против них встала одна кавалерийская дивизия, которая только-только завершила 80-километровый марш. Немцы ее просто смели и по-шли дальше. К вечеру они уже увидели колокольню церкви Всех Святых, но остановили движение и отошли назад. Их основные силы к этому моменту только подтягивались. Полноценная атака еще не началась, а Тула уже потеряла до тысячи человек и две огневые точки из танков. Весь вечер и всю ночь немецкие самолеты летали над Тулой, фиксируя расположение сил защитников. На земле прощупыванием противника занимался Гудериан. Начал он еще в два часа ночи, но его атаку отбили, используя горючую смесь и противотанковые ружья.

Танковые дивизии Гудериана, продвигаясь почти беспрепятственно в северном направлении из района Ценска, 29 октября вышли к Туле. Остался один бросок. Тем более противник знал: Тулу защищать некому. Регулярных войск в этом районе почти не было. В Туле находились только 732-й зенитный артиллерийский и 171-й истребительные авиационные полки ПВО, а также 156-й полк войск НКВД, в районе Михалково – отряд милиции (рисунок 6).



Рисунок 6 – Расстановка сил советских войск

Зенитную артиллерию полка противовоздушной обороны расставили по всей линии, в том числе и около парка. Тогда это были южные рубежи города. Орудия предназначались для стрельбы по воздушным целям. Но они могли пробить и танковую броню, поэтому в начале Великой Отечественной войны именно эти зенитки часто становились единственной преградой на пути немецких танков.

Действующих танков у защитников Тулы не было, но были неисправные машины. Их расставили по южным окраинам города, создав таким образом

стационарные огневые точки. Помогали защитникам два бронепоезда: № 13 и № 16 (рисунок 7).



Рисунок 7 – Бронепоезд № 16

На самый опасный Лаптевский боевой участок, который прикрывал Тулу с Востока, командующий 50-й армией генерал Иван Болдин послал свой неприкосновенный резерв – бронепоезд № 16. Этот бронепоезд был построен в цехах Тульского оружейного завода и состоял из двадцати вагонов, четыре из которых предназначались для личного состава. Поезд состоял из двух частей: боевой и ремонтной, или базовой.

Боевая часть состояла из четырех платформ, в том числе двух зенитных, паровоза и контрольных площадок с запасом путевого материала и инструмента. Бронепоезд был оснащен четырьмя 76-миллиметровыми танковыми орудиями, восемью пулеметами «Максим». Еще два спаренных пулемета «ДТ» могли вести круговой обстрел зенитными установками. Толщина брони достигала 45 мм.

В первых же боях огнем бронепоезда были уничтожены 13 автомашин, склад боеприпасов, подавлен ряд пулеметных и минометных гнезд и батарей. Убито 800 немецких солдат. Однако и защитников города полегло немало. Но оставшиеся туляки решили твердо оборонять свой город.

Силы были явно недостаточными, чтобы остановить танковую группу Гудериана. Немцы пошли на Тулу с рассветом 30 октября, лишь только начал рассеиваться утренний туман со стороны Орловского и Сталиногорского (теперь Новомосковское) шоссе. Атаки немецких танков сдерживали орудия 732-го зенитно-артиллерийского полка, стоявшие в укрытиях для отражения лобовой атаки.

Первый танк был подбит в 300 метрах от батареи. Немцы отошли, оставив восемь подбитых танков. Но спустя непродолжительное время атаки возобновились. Танкисты Гудериана маневрировали, прятались за стенами кирпичного завода, пытались обойти упрямую батарею. Главные удары немцы наносили по Орловскому шоссе, Рогожинскому поселку и Воронежскому шоссе. 30 октября 1941 года в 8 часов утра противник открыл шквальный пулеметно-минометный огонь. 34 средних и тяжелых танка и до батальона мотопехоты противника атаковали фронт рабочего полка с направления Гостеевка. К утру 31 октября на участке 156 стрелкового полка противник бросил в атаку 50 танков с сопровождением батальона мотопехоты, но были отброшены на исходное положение в районе Нижнее Басово, потеряв 10 бронированных машин и до двух рот пехоты. В тот же день противник еще дважды пытался прорваться в районе Китаевки, Гостеевки и Воронежского шоссе, но организованным огнем был отбит.

1 ноября с утра противник семнадцатью танками и двумя ротами мотопехоты предпринял атаку по шоссе Орел – Тула в направлении механического института. Организованным огнем и упорной обороной пехоты атака была отбита с потерями трех танков и до 100 человек пехоты.

На протяжении всего дня противник вел интенсивный огонь минометных батарей, неоднократно предпринимал группами в 3–5 танков и до взвода пехоты атаки отдельных участков фронта, которые успешно отражались обороной. Продвинувшиеся всего на 400 метров и потерявшие 31 танк, немцы были остановлены.

В эти дни командующий 2-й танковой группой Гейнс Гудериан записал в своем дневнике: «29 октября первые из наших танков достигли точки в трех километрах от Тулы. Попытка захвата города сходу провалилась благодаря хорошо организованной противотанковой и противовоздушной обороне противника. Мы потеряли много танков и офицеров. Штурмовать Тулу в лоб было невозможно, и генерал-барон фон Гейер предложил обойти город с востока, чтобы не сорвать общее наступление. Я согласился».

Немцев сдерживали рабочие батальоны, милиция и чекисты. В строю оставалось всё меньше и меньше бойцов. Но эти мальчишки выполнили поставленную перед ними задачу. Враг не прошел. Гитлеровцам не удалось преодолеть это, казалось бы, потешное препятствие. Ведь со стороны Орловского шоссе атака велась силами 50 танков против двух зенитных расчетов.

Пока малочисленный гарнизон защитников Тулы отбивал атаки танков Гудериана, Ставка Верховного Главнокомандующего успела перебросить к Туле несколько армейских частей. Боевые рубежи заняли две стрелковые дивизии 50-й армии, танковая бригада и дивизия гвардейских минометов, которые позже получили имя «Катюша». 1 ноября 24-й танковый корпус 2-й танковой группы вышел на рубеж к западу от Деделова. И здесь немецких

танкистов ждал сюрприз. Генерал Гудериан вспоминал: «На подходе к населённому пункту Тёплое передовые части 53-го армейского корпуса 2 ноября с удивлением натолкнулись на неприятеля. Это оказались очень крупные соединения».

Стрелковые дивизии и танковая бригада под Тёплым завязали бои, которые длились с 3 по 13 ноября. В 21:30 противник предпринял психологическую танковую атаку участка обороны в направлении верхней Китаевки силой до 20 танков и батальона пехоты, в результате которой 1-й и 3-й стрелковые батальоны 156-го стрелкового полка начали отступление, оставляя занимаемый рубеж обороны.

В 24:00 гитлеровцы, потеряв 6 танков и до роты пехоты, полностью очистили район южного боевого участка и усилили натиск. В сражение были брошены до 100 танков и батальон элитного полка мотопехоты «Великая Германия».

Бой шел трое суток. Противник потерял 38 танков и до 500 человек живой силы, а к утру 2 ноября перешел к активной обороне. Потери защитников Тулы – 3 орудия, 3 танка, 4 танковых пулемета, 84 человека убитыми и 212 ранеными.

Не добившись успеха в лобовой атаке, немцы предприняли решение об обходе города с юго-востока и востока в общем направлении Надедилова, Сталиногорска, Венёва и Каширы. Однако и здесь немцев ждал сюрприз. 7 ноября части 50-й армии из района Тулы и 3-я армия из района Теплое нанесли контрудар по флангам наступающей группировки.

В вечерней сводке Софинформбюро прозвучало очень оптимистичное сообщение: «На Сталиногорском направлении нашей авиацией уничтожены 14 фашистских танков, 89 транспортных автомашин, 3 зенитные батареи, сожжено 11 цистерн с горючим, сбито 7 вражеских самолетов. Немецкие части под ударами наших войск вынуждены были приостановить наступление».

Таким образом, предпринятые вермахтом в первой половине ноября попытки захватить Тулу фронтальным ударом с юга, а также обойти ее с севера были отражены советскими войсками при активном участии всего населения города. Десять последующих суток и немцы, и наши войска перегруппировывали силы. Одни – для продолжения наступления, другие – для его отражения.

Возможности немцев оказались больше. Командующий группой армии Центр Фон Пок сумел сконцентрировать резервы на этом участке фронта. В результате его войска получили преимущества: в личном составе и в артиллерии 3,2:1, в танках 3:1.

18 ноября 2-я танковая армия вновь пошла в наступление. 4 танковых, 3 моторизованных, 5 пехотных дивизий и полк «Великой Германии» прорвали оборону 50-й армии и устремились в обход Тулы с юго-востока

на Каширу и Коломну. К исходу 18 ноября немецкие войска захватили Дедилово. 21 ноября в 16:00 немецкая танковая группа Эбербаха вошла в Узловую. 25 ноября был занят Сталиногорск. После оставления Красной Армией Сталиногорска возникла угроза глубокого прорыва немецких танковых дивизий в районы Венёва, Каширы и Зарайска.

24 ноября немецкая 17 танковая дивизия обошла город с востока, вынудив его защитников отойти в северном направлении. Обстановка на фронте стала критической. Казалось уже ничто не спасет Тулу, а вместе с ней и Москву. Дело могли решить самые мобильные соединения Западного фронта – 2-й кавалерийский корпус и 112-я танковая дивизия. Они были выведены из боя в районе Серпухово и форсированным маршем направлены в район Каширы. 27 ноября кавалерийский корпус совместно с 9-й танковой бригадой при поддержке авиации фронта и московской зоны ПВО нанес контрудар и к 30 ноября отбросил немецкую 17-ю танковую дивизию в район Мордвеса.

Но большего кавалеристы сделать не могли. Тула оказалась глубоко охваченной с востока. Для ликвидации прорыва в полосе 50-й армии и прикрытия Каширского направления приказом фронта был создан Венёвский боевой участок, куда отводились левофланговые части 50-й армии. Кроме того, создавались Рязанский, Зарайский, Каширский и Лаптевский боевые участки.

Наступление немцев возобновилось в декабре. Враг усиленно стремился выйти на Серпуховское шоссе. Главный удар в обход Тулы с севера наносил 24-й моторизованный корпус (рисунок 8) [3].



Рисунок 8 – План наступления врага на Тулу в декабре

Вначале им удалось перерезать железную шоссейную дорогу Серпухов – Тула в районе Ревякино. Но неожиданный контрудар, предпринятый частями

49-й армии из района Лаптева на юг, отбросил врага на исходные позиции (рисунок 9).



Рисунок 9 – План контрудара 49-й армии из района Лаптева

И здесь свою роль опять сыграл бронепоезд № 16. Он охранял железнодорожный участок Хомяково – Ревякино. В районе Присады было обнаружено перемещение мотопехоты противника. На открытом поле машины тянули пушки, высаживали солдат, выгружали минометы. Наш бронепоезд укрылся в железнодорожной выемке, оттуда велось наблюдение с готовностью по команде обрушиться на врага всей мощью бронепоезда. В момент, когда концентрация войск достигла предела, капитан Коржевский подал команду «Огонь!». Прямой наводкой артиллеристы расстреливали пехоту, и технику врага. Попытка наступления была сорвана [4, 5].

5 декабря закончилась Тульская оборонительная операция и началось контрнаступление войск Красной Армии в битве за Москву. 7 декабря немцы еще предпримут последнюю попытку прорыва к Туле. К городу они подведут свежую пехотную дивизию, но успеха не добьются. 8 декабря первый район Тульской области уже будет освобожден. Последний очистят в канун Нового года [6, 7].

Почему же так получилось, что успешное вначале наступление немецких войск провалилось? Во-первых, сами немецкие генералы потом признаются, что не имели достаточно сил для такого прорыва.

Во-вторых, немцы совершенно не подготовились к русской зиме, солдаты просто замерзли. Летнее горючее, которое заливали в танки, пытались отогреть кострами.

В-третьих, попытка обойти Тулу максимально растянула фронт. В кольце немцев было много брешей, а быстро перемещать свои силы сначала они не могли из-за распутицы, а потом из-за морозов.

В-четвертых, в начале декабря немцы думали, что вступают в так называемое «зимнее затишье». Они считали, что раз их силы сошли на нет, то ресурсов продолжать наступление нет и у Красной Армии. Разведка доносила немецкому командованию, что у советов нет сил для контратаки.

Действительно, заводы, эвакуированные в глубь страны, только налаживали выпуск оружия. Советские солдаты еще шли в бой с трофейными винтовками финской войны 1939 года. Только-только в распоряжение армии начали поступать «Катюши» и танки Т-34. Солдаты Красной Армии также мерзли в окопах, им также не хватало еды и оружия. В начале октября наша армия на тульском направлении насчитывала всего 90 тысяч солдат. Но уже к декабрю с Дальнего Востока прибыли новые армии – миллион хорошо вооруженных солдат с боевым опытом. Поэтому версия фашистов, что Красная Армия находится на краю полного истощения, оказалась полностью несостоятельной. И когда характер сошелся с характером, то победу одержал советский народ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Героическая оборона Тулы. – URL: <https://tvzvezda.ru/video/programs/201509181200-sdfk.htm/202592797-dmEiu.html> (дата обращения: 26.08.2025).

2 Оборона Тулы. – URL: <https://yandex.ru/video/preview/13342980804808874157> (дата обращения: 26.08.2025).

3 43 дня. Фильм об обороне Тулы. – URL: <https://yandex.ru/video/preview/10787872669520688361> (дата обращения: 26.08.2025).

4 Тульская оборонительная операция. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F (дата обращения: 26.08.2025).

5 Началась оборона города-героя Тулы. – URL: <https://www.prilib.ru/history/619660> (дата обращения: 26.08.2025).

6 Героическая оборона Тулы – память поколений. – URL: <https://tulsu.ru/news/all/9320> (дата обращения: 26.08.2025).

7 Вклад туляков в победу в Великой Отечественной войне. – URL: <https://tula.aif.ru/society/details/162772> (дата обращения: 26.08.2025).

S. P. VAKULENKO, P. V. KURENKOV, E. A. GERASIMOVA

THE DEFENSE OF TULA IN THE GREAT PATRIOTIC WAR

The stages of the defense Tula in the autumn of 1941 and the heroic role of the population in defending their homeland during the Great Patriotic War are examined. The role of railway workers in the defense of Tula is also highlighted.

Получено 27.09.2025

УДК 656.224:[004.738.5:339]

Т. А. ВЛАСЮК

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

РАЗВИТИЕ ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В ФОРМАТЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ АТТРАКТОРОВ И МУЛЬТИТОРГОВЫХ АГРЕГАТОРОВ

Рассмотрены транспортные проблемы пассажиров городских агломераций, которые в значительной мере могут быть решены за счет трансформации пассажирских станций на железнодорожном транспорте в современные мультимодальные аттракторы и мультиторговые агрегаторы. Под ними понимается создание интегрированной городской среды, где транспортная инфраструктура совмещается с функциями жизнеобеспечения населения. При этом в современных условиях поездка для пассажира перестает быть только перемещением из точки А в точку Б. Она становится частью более широкого жизненного цикла, включающего производственную и деловую активность (работа, встречи, командировки), потребительские функции (покупки, бытовые услуги), а также социальные и культурные потребности (отдых, образование, досуг).

Интеграция пассажирских станций с инфраструктурой повседневного жизнеобеспечения (торговыми центрами, коворкингами, медицинскими пунктами, образовательными и культурными объектами) позволяет минимизировать потери времени пассажира, превратив ожидание поездки в продуктивный процесс. Например, пассажир, ожидающий электричку, может поработать с ноутбуком в коворкинг-зоне, сделать покупки в расположенном при вокзале торговом центре, посетить аптеку или скоротать время за чашкой кофе. Благодаря такой «диффузии транспортной инфраструктуры в ткань города» стираются границы между сугубо транспортной и общественной функцией пространства железнодорожного вокзала, который начинает восприниматься не только как пункт отправления/прибытия пассажиров, но и как целостное городское пространство для деловой и социальной активности [1, 2].

Следует отметить, что подобная трансформация приносит ощутимые выгоды. Во-первых, станционный комплекс становится крупной точкой притяжения (аттрактором) горожан, генерируя значительные потоки людей. Железнодорожный вокзал в центре города традиционно обладает высоким пассажиропотоком, который можно рассматривать и как поток потенциал-

ных потребителей товаров и услуг. Необходимость ожидания своего рейса зачастую подталкивает людей к спонтанным покупкам и использованию сервисов, увеличивая долю средств, которые они тратят на территории вокзала. Согласно исследованиям, современные вокзалы способны удовлетворять потребности самых разных категорий посетителей – от бизнесменов с высокой платежеспособностью до студентов и местных жителей, предлагая им широкий спектр услуг и тем самым повышая экономическую эффективность объекта. Во-вторых, интеграция дополнительных функций позволяет стабилизировать нагрузку на инфраструктуру. Если традиционный вокзал испытывает пиковые нагрузки только в часы прибытия/отправления поездов, то многофункциональный хаб привлекает посетителей в течение всего дня (например, в торговый центр или кафе), выравнивая поток и более эффективно используя площади комплекса. В результате непроизводительные простаивания инфраструктуры сокращаются, а ее средняя загрузка поддерживается на высоком уровне (по некоторым оценкам – не ниже 60 %). В-третьих, за счет коммерциализации пространств вокзалы получают дополнительные источники дохода, что особенно важно в условиях ограниченности бюджетных средств. Коммерческие арендаторы (магазины, рестораны, офисы услуг) приносят доход, позволяющий частично финансировать содержание и развитие транспортной части хаба [3, 4].

Мировой опыт подтверждает эффективность этого подхода. Так, в Токио и Осаке (Япония) до 40 % доходов железнодорожных компаний формируется за счёт коммерческой деятельности в мультимодальных узлах (торговые центры, рестораны, сервисы), что позволяет не только снизить тарифную нагрузку на пассажиров, но и повысить привлекательность железнодорожного транспорта. Аналогичные процессы наблюдаются в Мюнхене, Вене и Барселоне и других городах Западной Европы, где железнодорожные вокзалы интегрированы с крупными общественными пространствами (таблица 1).

Рассмотрим, как указанные тенденции реализуются и планируются к реализации в России и Беларуси – странах, где роль железнодорожного транспорта для крупных городов традиционно высока и где уже сегодня предпринимаются шаги по превращению вокзалов в мультимодальные и многофункциональные центры.

В России, особенно в Москве и других крупных городах, последние годы активно реализуется концепция транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) – по сути тех самых мультимодальных хабов. Это обусловлено необходимостью снизить перегруженность транспортной системы и сделать пересадки между видами транспорта более удобными.

Таблица 1 – Функциональные характеристики мультимодальных пассажирских станций в агломерациях

Функции мультимодальных пассажирских станций	Краткая характеристика	Эффект	
		для пассажиров	для железнодорожного транспорта
Транспортная	Координация взаимодействия железнодорожного транспорта с метрополитеном и авто-транспортом	Снижение времени пересадки, удобство маршрутов	Увеличение пассажиропотока на 10–15 %
Торговая	Размещение и функционирование кафе, торговых центров, аптек, оказание бытовых услуг	Продуктивное ожидание, снижение «потерь времени»	Дополнительные доходы, снижение зависимости от тарифов
Деловая	Коворкинг-зоны, офисные прост-ранства, бизнес-центры	Возможность совмещать поездку с работой	Привлечение корпоративных клиентов
Социальная	Поликлиники, детские комнаты, образовательные центры	Повышение уровня сервиса и доступности услуг	Формирование устойчивой клиентской базы
Культурная	Кинотеатры, выставки, спортивные объекты	Привлечение населения к станции как к месту притяжения	Рост пассажиро-потока в вечерние и выходные часы

Так, в 2013 году правительством Москвы была разработана программа создания более 250 транспортно-пересадочных узлов в столице и области. Идея состояла в том, чтобы превратить разрозненные станции железной дороги, метро и наземного транспорта в единую взаимосвязанную сеть. При этом крупные узлы сразу проектировались как многофункциональные комплексы, где под одной крышей располагаются перроны, станции метро и коммерческие помещения для торговли и сервиса [5].

Московский транспортный узел – это сегодня не просто станция, а целостный комплекс. Например, ряд ключевых пересадочных пунктов был выбран для глубокой модернизации и превращения в большие хабы, позволяющие пересесть с пригородной электрички на метро внутри одного здания. По оценкам экспертов, окупаемость инвестиций достигается при соотношении площадей коммерческой недвижимости к транспортной примерно 3:1, т. е. на каждый квадратный метр платформ и переходов может приходиться три и более квадратных метра магазинов, офисов, кафе и т. п. Такой

подход позволяет создавать современную инфраструктуру без полной нагрузки на бюджет, что особенно актуально для Москвы.

В настоящее время реализованы и продолжают строиться десятки ТПУ в Москве. Один из примеров – транспортно-торговый комплекс «Саларьево» на юго-западе Москвы. Здесь на пересечении Киевского шоссе и линии метро создан крупный узел, включающий конечную станцию метро, автостанцию для пригородных автобусов, парковки и одновременно торгово-развлекательный центр площадью около 110 тыс. м². Пассажиры из ближнего Подмосковья прибывают сюда на автобусах и сразу могут пересест на столичное метро, не выходя из здания. Рядом – большой четырехэтажный молл с гипермаркетом, кинотеатром, фуд-кортом и магазинами, который обслуживает как приезжих, так и жителей новых жилых районов вокруг. Таким образом, «Саларьево» выступает одновременно мультимодальным аттрактором (связывая разные виды транспорта) и мультиторговым агрегатором (сосредотачивая множество торговых функций). Подобные проекты помогают разгрузить город от автотранспорта – на перехватывающих парковках при ТПУ водители могут оставить машины и продолжить путь на общественном транспорте, заодно имея возможность решить по пути бытовые вопросы в торговом комплексе. Можно сказать, что Российские железные дороги (ОАО «РЖД») взяли курс на превращение классических вокзалов в многофункциональные центры. В стратегии развития вокзального комплекса ключевой задачей заявлено формирование многофункциональных интермодальных хабов, интегрированных с современной городской средой. Это означает, что при реконструкции и строительстве новых вокзалов учитывается их включение в городскую ткань – удобные связи с другими видами транспорта (метро, автобусы), а также взаимодействие с окружением (например, создание совместных пространств с автовокзалами, выходы в торговые улицы и т. п.). Одновременно РЖД оптимизирует использование площадей вокзальных зданий – зачастую исторически вокзалы имели избыточные залы ожидания и служебные помещения, которые теперь переоборудуются под торговые галереи, кафе, офисы сервисных компаний и т. д. Такое сотрудничество с коммерческими партнерами уже осуществляется, например, на ряде вокзалов крупные сетевые магазины арендуют площади, открываются фуд-зоны, организуются бизнес-залы повышенной комфортности [6].

В крупных городах России современные вокзалы стремятся выполнять роль городских центров притяжения. В Москве практически все центральные железнодорожные вокзалы либо уже интегрированы, либо планируют интеграцию с сопутствующей инфраструктурой. К примеру, у Киевского вокзала рядом действует большой торговый центр «Европейский» (хотя он и не встроен непосредственно в здание вокзала, он связан с ним пешеход-

ными маршрутами). На Ленинградском вокзале после реконструкции появились торговые точки и кафе прямо в зданиях конкорсов. Казанский вокзал соединён подземной галереей с метро и ТЦ на Комсомольской площади. В Санкт-Петербурге также модернизируются вокзалы: например, Балтийский вокзал объединен переходами с метро, а в прилегающих помещениях расположены магазины и точки питания; Ладожский вокзал изначально строился в 2003 году как многофункциональный комплекс с торговыми помещениями.

Следует отметить, что расширение функций вокзала выгодно не только бизнесу, но и пассажирам. В ожидании своего поезда люди получают безопасное, комфортное пространство, где можно перекусить, приобрести необходимые мелочи в дорогу, воспользоваться интернетом и пр. Вокзал становится частью сервисной экономики: по сути, железнодорожная компания предлагает не только перевозку, но и весь комплекс услуг «до и после поездки». Такой подход повышает конкурентоспособность железнодорожного транспорта по отношению к автомобилю: если на личном авто в пробках время теряется впустую, то на железной дороге время ожидания можно провести с пользой.

Для Беларуси идея интеграции вокзалов с городскими сервисами также приобретает всё большее значение. В Минске – крупнейшей городской агломерации страны – уже существуют проекты развития транспортно-пересадочных узлов на основе железнодорожных станций. Минский железнодорожный вокзал изначально (после реконструкции в начале 2000-х) был построен с учетом интеграции с метро и автовокзалом: под вокзальной площадью находится станция метро, а рядом расположен автовокзал. Однако современные планы идут гораздо дальше, предлагая создание полноценных мультимодальных центров с торгово-развлекательными объектами. Так, в 2019 году определены четыре приоритетные точки для развития ТПУ в Минске. Примечательно, что во всех случаях речь идет об объединении транспортной инфраструктуры с коммерческими и сервисными функциями (таблица 2).

Следует отметить, что масштабная реконструкция станции Минск-Пассажирский в районе улицы Дружной (непосредственно прилегающей к вокзалу) позволила размещение нового многофункционального комплекса, который связан с вокзалом специальным конкорсом – надземным переходом над железнодорожными путями. В 2022 году у вокзала открылся новый торговый центр Minsk City Mall общей площадью около 50 тыс. м².

В нем предусмотрено порядка 120 магазинов, 15 ресторанов, 4 кинозала, многоуровневая парковка почти на 600 мест. Торговый комплекс граничит с территорией вокзала и новой станцией метро, что отражает стремление интегрировать вокзал с торговой инфраструктурой города.

Таблица 2 – Краткая характеристика инфраструктуры Минского железнодорожного узла как мультимодального центра

Инфраструктура Минского железнодорожного узла	Краткая характеристика	Реализация концепции единого пространства
Минск-Пассажирский	Крупнейший узел страны по пассажиропотоку, где сходятся железная дорога, центральный автовокзал, линии городского транспорта (трамвай, автобусы, троллейбусы, существующая и новая линии метро)	Шаговая доступность транспорта (поезд, метро, автобус) и магазины
Минск-Северный	Железнодорожная станция в черте города, расположенная вблизи станции метро «Молодёжная» (запад Минска)	Мультимодальный аттрактор с интеграцией железной дороги, метро, трамвая, автобусов и личного автомобиля (паркинг) для обеспечения пассажирам доступа к магазинам и сервисам во время пересадок
Борисовский тракт	Узел на восточной окраине Минска, где находятся станция метро, крупная транспортная магистраль (выезд на МКАД – Минскую кольцевую автодорогу)	Создание перехватывающей парковки большого объема, чтобы жители пригородов могли оставить там автомобили и пересесть на метро (реализация принципа «сухие ноги»)
Слуцкий Гостинец	Узел на южном выезде из города, где пересекаются строящаяся 3-я линия метро, пригородные маршруты и рядом расположен торговый центр	Создание перехватывающей парковки (для въезжающего с юга транспорта) и строительство многоуровневого паркинга с помещениями общественного назначения

Благодаря такому решению пассажиры и жители города смогут проводить время в этом центре во время ожидания поездов, решая бытовые и досуговые задачи.

На железнодорожной станции Минск-Северный в настоящее время реализовано удобное решение: из метро через пешеходный тоннель можно сразу попасть на пригородную железнодорожную платформу. Рядом с выходом находится крупный торговый центр с большой парковкой (ТЦ «Скала») и проходит Первое городское кольцо – важная магистраль города.

Заслуживает внимания транспортно-пересадочный узел на востоке Минска «Борисовский тракт», где рассматривается размещение многофункцио-

нального объекта с развлекательными и обслуживающими функциями (паркинга, пересадочного узла, торгового комплекса), что делает эту локацию привлекательной и для тех, кто ожидает транспорт или живет поблизости, благодаря реализации принципа «сухие ноги» (наличие крытых переходов при передвижении от автобусных остановок на станцию метро).

По образцу Борисовского тракта планируется развитие транспортно-пересадочного узла «Слуцкий Гостинец». Проект предусматривает связь нового объекта подземным переходом с уже существующим торговым центром, т. е. пассажир, припарковав машину или выйдя из метро, сможет пройти по крытому переходу в ТЦ для совершения покупок, либо пересесть на автобус, не выходя под открытое небо. Все остановки и подходы будут оборудованы навесами, обеспечивая комфорт и в непогоду.

Белорусская железнодорожная дорога также модернизирует свои вокзалы, хотя масштаб пока уступает российскому. В региональных центрах (Брест, Гомель, Витебск и др.) вокзалы уже включают базовый набор сервисов (магазины, кафе, залы отдыха). Однако тенденция превращать их в полноценные многофункциональные комплексы только появляется. Вероятно, в перспективе при реконструкции крупных вокзалов Беларуси будет уделяться больше внимания совместимости с автовокзалами и созданию привокзальных торговых зон, тем более, что опыт Минска покажет эффективность таких подходов.

Сравнительная характеристика тенденций интеграции железнодорожных вокзалов России и Беларуси в мультимодальные и многофункциональные центры приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика тенденций интеграции железнодорожных вокзалов России и Беларуси в мультимодальные и многофункциональные центры

Показатель	Россия	Беларусь
Степень развития ТПУ	Высокая (МЦК, МЦД, комплексные ТПУ)	Формирование, проекты на стадии реализации
Вовлеченность частных инвестиций	Высокая (модель 3:1 для окупаемости)	Умеренная, растущая
Интеграция с метро	Развитая сеть, большинство вокзалов интегрированы	Развитие 3-й линии метро, усиление интеграции
Наличие крупных ТРЦ при вокзалах	Саларьево, Комсомольская площадь, Казанская зона	Minsk City Mall у вокзала
Приоритеты модернизации	Коммерциализация, цифровизация, сервис	Перехватывающие парковки, интеграция с торговыми функциями

Развитие пассажирских станций в формате мультимодальных аттракторов и мультиторговых агрегаторов несет ряд существенных преимуществ для городов России и Беларуси.

1 Удобство и экономия времени для пассажиров. Путешественники могут удовлетворять повседневные нужды прямо во время поездки. Это сокращает суммарное время, затрачиваемое на дорогу и выполнение дел, например, человек может совершить покупки или пообедать, ожидая пересадки, вместо того чтобы тратить на это отдельное время позже. Исследования показывают, что интеграция сервисов может значительно сократить долю «потерянного» времени в поездке – ожидание превращается в полезное занятие. В результате, по оценкам специалистов, непроизводительное время ожидания пассажиров может сокращаться на 50 % по сравнению с традиционными сценариями, когда на вокзале нечем заняться. Одновременно повышается удовлетворенность граждан от использования общественного транспорта.

2 Рост привлекательности общественного транспорта. Железнодорожные вокзалы и станции становятся комфортными центрами с массой услуг, у населения растет мотивация пользоваться поездом, электричкой, метро. Это помогает сдерживать рост автомобилизации и разгружает улично-дорожную сеть. Например, появление крупных ТПУ с паркингами и торговыми зонами стимулирует водителей пересаживаться на городской транспорт, поскольку они видят в этом дополнительные плюсы (экономия на парковке в центре, возможность в пути сходить по делам, выпить кофе и т. д.). По сути, современный вокзал конкурирует за клиента, предлагая уровень сервиса, не уступающий (а часто и превосходящий) условия поездки на личном авто или самолете.

3 Экономическая выгода и развитие территорий. Многофункциональные вокзальные комплексы становятся точками экономического роста. Они создают новые рабочие места (в торговле, общепите, сфере услуг), повышают деловую активность в прилегающих районах города. Железнодорожный вокзал, который раньше мог быть просто транзитной зоной, превращается в «генератор» потребительского спроса. Потоки пассажиров обеспечивают выручку магазинам и кафе, а близлежащие территории привлекают инвесторов для строительства офисов, гостиниц, жилья, так как наличие транспортного узла с развитой инфраструктурой повышает стоимость недвижимости на прилегающей территории. В итоге город получает более рациональное использование пространства возле железной дороги, а жители – облагороженное и функционально насыщенное городское пространство вместо пустых привокзальных площадей.

4 Безопасность и контроль. Большие мультимодальные комплексы позволяют сосредоточить безопасность (видеонаблюдение, службы охраны) в одном узле, что повышает общий уровень безопасности пассажиров. Железнодорожный вокзал, заполненный магазинами и людьми, может быть безопаснее пустого зала ожидания – больше персонала, больше освещения, постоян-

ное присутствие представителей МВД и сотрудников. Кроме того, снижение необходимости выходить на улицу при пересадках (концепция «сухие ноги») повышает безопасность в плохую погоду и снижает риск дорожных происшествий с участием пешеходов около станций.

Таким образом, развитие пассажирских станций в формате мультимодальных аттракторов и мультиторговых агрегаторов формирует новый тип пассажирских станций, а также транспортных узлов как жизненных центров городской агломерации. Такой подход позволяет:

- сократить непроизводительные ожидания пассажиров до 50 %;
- обеспечить устойчивую нагрузку транспортной инфраструктуры (60 % и выше);
- стимулировать рост регионального пассажиропотока на железнодорожном транспорте на 15–20 %;
- диверсифицировать доходы транспортных операторов за счет интеграции с торговыми и социальными услугами;
- повысить качество жизни населения за счет органичного объединения транспортных и социальных функций в едином пространстве.

Сравнительная характеристика современной концепции работы пассажирского комплекса (станции, узла) на железнодорожном транспорте и концепции мультимодального центра будущего приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика традиционной концепции работы пассажирского комплекса и мультимодального центра будущего

Критерий	Концепция	
	Традиционная	Мультимодальный центр будущего
Функции	Основное назначение – пересадка пассажиров и ожидание поезда	Многофункциональный «витальный аттрактор»: транспорт, торговля, услуги, социальные и культурные возможности
Транспортная интеграция	Ограничение железнодорожным и автобусным сообщением	Единая транспортная сеть: железная дорога + метрополитен + автобусы + трамвай + такси + вело- и электрошеринги + MaaS
Билетная система	Раздельные билеты для каждого вида транспорта	Единый электронный билет/подписка, интеграция с системами «умного города»
Пересадочные связи	Наличие разобщенных пересадок, большие интервалы ожидания	«Беспроводные пересадки», синхронизация расписаний, цифровая навигация

Окончание таблицы 4

Критерий	Концепция	
	Традиционная	Мультимодальный центр будущего
Коммерческая среда	Минимальный набор услуг (кассы, киоски, зал ожидания)	Полноценный мультиторговый агрегатор: магазины, кафе, коворкинги, медицинские и социальные сервисы
Градостроительный	Локальный объект на периферии города	Ядро транспортно-городской среды, центр развития TOD-застройки
Пассажиропоток	Обслуживание фиксированного потока с час пик нагрузкой	Гибкая система адаптации к сезонным и эпизодическим пикам (события, туризм, миграция)
Экономический	Доходы в основном от перевозок	Комплексный мультипликативный эффект: транспорт + торговля + услуги + социальная интеграция
Технологический	Ограниченное использование информационных технологий (табло, кассы)	Цифровые платформы, big data, O-D анализ, системы управления мобильностью, прогнозирование пассажиропотоков

Приведенный анализ показал, что переход от традиционной модели пассажирского комплекса (станции, узла) к мультимодальному центру будущего обеспечивает:

- повышение качества обслуживания пассажиров за счет сокращения времени пересадок и ожиданий;
- интеграцию железнодорожного транспорта в концепцию «умного города»;
- превращение пассажирской железнодорожной станции в многофункциональный центр жизнеобеспечения, способный удерживать и наращивать пассажиропотоки;
- рост регионального ВВП за счет мультипликативного эффекта транспортно-торговых связей.

Полученные результаты приведенного исследования могут быть использованы:

- при разработке генеральных схем развития транспортных узлов муниципальных и мегаполисных агломераций;
- выборе этапности переустройства железнодорожных отдельных пунктов в городах-ядрах и городах-спутниках;
- оценке вариантов эффективного расширения маршрутов рельсовых видов транспорта с формированием вылетных и кольцевых линий, на пересечении которых проектируются мультимодальные пересадочные узлы и

мультиторговые агрегаторы, предоставляющие различные услуги жизнеобеспечения жителей;

- определении резервов пропускной и перерабатывающей способности пассажирских устройств на железнодорожных станциях городских агломераций для обслуживания пассажиропотока эпизодической миграции, обеспечивая устойчивый рост объемов региональных перевозок на железнодорожном транспорте;

- разработке контактных графиков работы различных видов транспорта в пересадочных узлах городов с добавлением (инкорпорированием) времени до отправления транспортных средств с целью предоставления пассажирам возможности наиболее полно удовлетворить свои культурные, социальные и другие потребности;

- разработке коммерческих систем продажи управления мобильностью вместо продажи разовых билетов на поездку в городских агломерациях благодаря широкому внедрению глобального транспортного шеринга велосипедов, электросамокатов, сигвеев, моноколес, питбайков и других транспортных средств, не требующих наличия водительских прав;

- разработке концепции «1-минутный город», в котором рельсовые виды транспорта формируют объединяющую инфраструктуру пересадок по мультимодальному узлу города-ядра и поездок в города-спутники.

Практическая реализация разработанных положений позволит:

- обеспечить устойчивое развитие городов-спутников в составе агломераций;

- повысить эффективность пассажирских перевозок на 15–20 %;

- интегрировать железнодорожный транспорт в концепцию «умного города» и «1-минутной городской среды»;

- сформировать новый стандарт транспортного обслуживания, где железнодорожная станция выполняет роль не только пересадочного узла, но и многофункционального центра жизнеобеспечения населения.

Следовательно, трансформация пассажирских железнодорожных станций в мультимодальные аттракторы и мультиторговые агрегаторы – это ответ на вызовы современного города. Опыт мегаполисов показывает, что за таким подходом будущее: вокзалы становятся центрами городской жизни, где сходятся пути сообщения и повседневные маршруты горожан. Можно ожидать, что в ближайшие годы подобные инициативы получат дальнейшее развитие, и привычный облик железнодорожных станций и вокзалов продолжит меняться в интересах пассажиров и городов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Железнодорожные станции и узлы : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. Г. Шубко, Н. В. Правдин, Е. В. Архангельский [и др.] ; под ред. В. Г. Шубко и Н. В. Правдина. – М. : УМК МПС России, 2002. – 368 с.

2 *Вотцель, Дж.* Технологии умных городов: что влияет на выбор горожан? / Дж. Вотцель, Е. Кузнецова / MCKinsey Center for government, 2018. – 66 с.

3 *Меркушев, С. А.* Использование общедоступных картографических сервисов при оценке транспортной составляющей городской среды / С. А. Меркушев // Цифровая география : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Т. 2 / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь : ПГНИУ, 2020. – С. 62–65.

4 *Меркушев, С. А.* Пассажирское железнодорожное сообщение и аттрактивность внешних зон российских городов-миллионеров / С. А. Меркушев // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». – Т. 31, № 1 (2021). – С. 97–110.

5 *Сергеева, О. Е.* Комфортная городская среда как определяющий фактор развития мегаполисов / О. Е. Сергеева, Е. Н. Лазарева // Управленческое консультирование. – 2018. – № 11. – С. 166–173.

6 *Шагимуратова, А. А.* Развитие системы транспортно-пересадочных узлов на железнодорожном транспорте как перспективное направление развития системы общественного транспорта / А. А. Шагимуратова // Современные проблемы науки и образования. Приложение к № 6. – 2014. – № 6. – С. 23.

T. A. VLASIUK

ANALYSIS OF PASSENGER STATION DEVELOPMENT ON RAILWAY TRANSPORT IN THE FORMAT OF MULTIMODAL ATTRACTORS AND MULTITRADE AGREGATORS

The transport problems of the passengers urban agglomeration are considered which can be appreciably decided at the expense of transformation passenger stations on a railway transportation in modern multimodal attractors and multitrade agregators, which are understood as creation of integrated urban environment. Thus in modern conditions the trip for the passenger ceases to be only moving from A point and in a point B. It there is a part of wider life cycle including industrial and business activity business, consumer functions and also social and cultural needs (rest, formation, leisure).

Получено 10.11.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.211.072

T. A. VLASIUK

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

КОМЬЮНИТИ-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СТРУКТУРА ПАССАЖИРСКОЙ СТАНЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Исследуются возможности замещения ожиданий пассажиров в коммерческих объектах нетранспортного характера продуктивными процессами (совершение необ-

ходимых покупок товаров в магазинах, аптеках, посещение салонов, музеев, выставочных залов, театров, кино, спортивных залов, кафе, ресторанов, парковок, зарядных станций и др.), что позволит более полно удовлетворить широкие потребительские мотивации. Изучаются условия и эффективность формирования мультиторговых агрегаторов в транспортных пересадочных узлах, способных существенно сократить маршруты передвижений в магазины, культурные и развлекательные центры, объекты социального назначения. При этом железнодорожные станции рассматриваются как социальная инфраструктура городских агломераций, развивающая условия массовой микромобильности жителей.

В настоящее время транспортная услуга как элемент третичного сектора экономики становится распределенной и совмещаемой с другими операциями данного сектора (торговли, здравоохранения, образования, научных исследований, маркетинга, банковских и финансовых услуг и др.). Потеря самоидентичности пассажирской станции как адресного пункта начала и завершения поездки железнодорожным транспортом развивает социально-экономические отношения в городской агломерации, поднимая их на качественно новый уровень и формируя структуру объектов оптимизации используемых ресурсов и синхронизации различных услуг, предоставляемых пассажиру в процессе совершения поездки [1].

Железнодорожная станция изначально формировалась как точка пространственного перехода между разными модальностями перемещения: железнодорожной, пешеходной, улично-дорожной. В XIX–XX вв. она обладала четкой функциональной самоидентичностью – служила «воротами» города, местом начала и завершения поездки, символом технического прогресса и урбанистического присутствия государства. Однако в XXI веке, с ростом городской агломерации, развитием теории «умного города» и повсеместной цифровизации сервисов, происходит радикальная трансформация роли станции: она перестает быть лишь инфраструктурным узлом и становится социально-экономическим катализатором, пространством взаимодействия, обмена и производства ценностей в третичном секторе экономики. Современная железнодорожная станция перестаёт быть исключительно транспортным узлом и всё в большей степени превращается в мультимодальный аттрактор – ядро городской агломерации, где концентрируются потоки людей, услуг и информации. Такой узел не только обеспечивает пересадку «поезд – поезд» или «поезд – автобус», но и выступает в роли производственной платформы жизненного цикла городской агломерации.

Современные станции – это уже узлы сетей нематериального обмена: информации, эмоций, услуг, капиталов. Их функция выходит за пределы транспортного сервиса: ожидание поезда превращается во время включенности в другие виды активности: покупки, общение, обучение, работу, культурное потребление. Пассажиры перестают быть «временно бездействующим субъектом», и процесс ожидания транспортного события замещается продуктивными операциями в сопутствующих коммерческих, образовательных

и культурных зонах. Это создает эффект совмещения повседневных траекторий – человек может в одном пространстве удовлетворить сразу несколько мотиваций: мобильность, потребление, отдых, коммуникацию, саморазвитие. Традиционная модель «поезд – пассажир – перрон» дополняется сервисами третьего сектора – ритейлом, услугами, образованием и досугом. Это создает предпосылки для формирования комьюнити-ориентированной станции, обеспечивающей непрерывность городской жизни и сокращающей временные издержки населения. В результате станция теряет монофункциональность и обретает признаки гибридной городской инфраструктуры, соединяющей транспорт, торговлю, культуру и цифровые сервисы. Это определяет переход к новой урбанистической категории – мультимодальному аттрактору, который становится центром гравитации потоков людей, товаров и информации [2].

Современные исследования фиксируют три направления изменений железнодорожных станций:

- интеграция транспортных и социальных функций – создание вокзальных кластер-моллов;
- цифровизация – внедрение сервисов удаленного доступа, навигации, электронных билетов;
- реинтерпретация ожидания – замещение «пассивного» времени активным взаимодействием с услугами [3].

В таблице 1 приведена эволюция функций железнодорожной станции.

Анализ таблицы 1 показал, что железнодорожные станции перестают выполнять исключительно транзитную роль. С ростом маятниковой миграции и формированием полицентрических агломераций (например, Москва – Мытищи – Пушкино, Минск – Борисов – Жодино) она превращается в многофункциональное ядро городской среды. Современная железнодорожная станция в агломерационном контексте выступает не как линейный объект, а как узловое пространство взаимопроникающих пространств и её можно рассмотреть через четыре функциональных уровня:

- транспортный – обеспечивает передвижение и пересадку пассажиров (платформы, переходы, навигация);
- коммерческий – ритейл-зона, аптеки, кафе, объекты быстрого сервиса;
- социально-культурный – выставочные пространства, коворкинги, спортзалы, детские зоны;
- цифровой – инфраструктура данных: Wi-Fi, зарядные станции, терминалы самообслуживания, интеграция с мобильными платформами (Сбер, БелЖД-Рау и др.).

В совокупности эти уровни формируют пространственно функциональную матрицу станции, где каждый сектор дополняет другие, создавая эффект кросс-сервиса. Такое объединение соответствует принципу «station as a service» – станция становится сервисной платформой, а не архитектурным объектом (таблица 2).

Таблица 1 – Эволюция функций железнодорожных станций

Временной период	Доминирующая Функция	Форма взаимодействия с городом	Примеры
XIX в.	Транзитная (вход-выход)	Изолированная, терминальная	Пассажирские станции СНГ
1950–1980-е годы	Индустриально-логистическая	Подчиненная транспортной сети	Минск-Пассажирский
1990–2010-е годы	Коммерциализация и много-функциональность	Частичная интеграция с городской средой	Москва-Казанская, Санкт-Петербург-Ладожский
XXI в. (с 2015 г.)	Комьюнити-ориентированная, социальная	Полная интеграция в агломерацию	Москва-Курская, Минск-Пассажирский (ре-конструкция)

Таблица 2 – Модель функциональных зон комьюнити-ориентированной станции

Функциональные уровни	Основное назначение	Примеры сервисов	Социально-экономический эффект
Транспортный	Перемещение и пересадки	Билетные кассы, турникеты, лифты, навигация	Сокращение времени поездки, повышение пропускной способности
Коммерческий	Потребление и повседневные покупки	Магазины, аптеки, фуд-корт	Рост занятости населения, дополнительная выручка операторов
Культурно-досуговый	Формирование среды отдыха	Выставки, мини-музеи, концертные площадки	Развитие городской идентичности, вовлечение молодежи
Цифровой	Обеспечение информационных потоков	Терминалы, мобильные приложения, QR-навигация	Повышение прозрачности сервисов, сбор данных о потоках
Экологический	Соприкосновение с городской средой	Озелененные террасы, велопарковки, зарядки для электрокаров	Снижение углеродного следа, формирование экопривычек

Выполненный анализ показал, что функциональная модель железнодорожной станции не существует изолированно: она формирует своего рода «петлю обратного влияния на город».

Появление новых сервисов влечет изменение пространственного поведения жителей:

- возрастает плотность микромобильных передвижений (самокаты, велосипеды, пешие маршруты);
- усиливается деловая активность в радиусе 500–800 м;
- происходит перераспределение потоков между центром и пригородом.

По данным Министерства транспорта Российской Федерации, в 2023 году около 42 % пассажиров совмещают поездку с посещением объектов сервиса у железнодорожной станции, что подтверждает тезис о синергии транспортных и коммерческих потоков. Следует отметить цифровые технологии, которые активно внедряются на Белорусской железной дороге:

- единые транспортные аккаунты (оплата билетов, парковки, аренды транспорта);
- информационные панели реального времени;
- цифровые двойники станции для прогнозирования пассажиропотоков.

Данные технологии переводят железнодорожную станцию в режим «живого интерфейса города», где пользователь не различает границы между транспортом и повседневными сервисами.

Таким образом, уже сегодня можно говорить о формировании компьютерно ориентированных железнодорожных пассажирских станций на территории СНГ, где наиболее интенсивно данный процесс наблюдается в Московской агломерации и крупных региональных центрах. Так, сеть Московских центральных диаметров (МЦД) объединила более 100 станций, трансформировав их в узлы, сочетающие транспорт, торговлю и сервис. Например, в результате реконструкции 2021–2024 гг. на станции Москва-Курская образованы коворкинг-пространства, фуд-маркет, парковка для электросамокатов и зеленая крыша-сад. В Екатеринбурге проект «Вокзал XXI» интегрировал торговую галерею, выставочные залы и цифровую лабораторию UrBC-Mobility.

В Беларуси процессы идут медленнее, но стратегически направлены в рассматриваемом направлении. Например, после реконструкции 2022 г. на железнодорожной станции Минск-Пассажирский, внедрены:

- медиа-зал Бел. ж. д. Media Hub для туристов и жителей;
- павильон «Музей железных дорог»;
- торговая галерея City Terminal с интеграцией электронных сервисов СберPay и БелКарт.

Разрабатываются проекты по превращению железнодорожных станций Брест-Центральный и Орша-Центральная в мультимодальные узлы с элементами логистического и выставочного центра. Белорусская модель делает ак-

цент на социально-культурной функции станции и поддержке региональных брендов.

Сравнительный анализ железнодорожных станций Российской Федерации и Республики Беларусь по степени функциональной интеграции приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика железнодорожных станций Российской Федерации и Республики Беларусь по степени функциональной интеграции

Показатель	Железнодорожная станция			
	Москва-Курская (РФ)	Екатеринбург-Пассажирский (РФ)	Минск-Пассажирский (РБ)	Орша-Центральная (РБ)
Количество видов транспорта, обслуживаемых станцией	5 (поезда, МЦД, метро, автобус, каршеринг)	4 (поезда, городская электричка, автобус, такси)	4 (поезда, городская электричка, автобус, такси)	3 (поезда, городская электричка, такси)
Наличие нетранспортных функций	12 (ритейл, коворкинг, выставки, бизнес-центр, торговля, кафе, банкомат, билетный автомат, быстрое питание, вендомат, бюро и стол находок, велопарковка)	8 (торговля, кафе, банкомат, билетный автомат, быстрое питание, бюро, стол находок, велопарковка)	9 (торговля, музей, кафе, аптеки, вейп-шоп, амбулатория, здравпункт, медпункт, банкоматы)	5 (торговля, кафе, аптека, банкоматы, сервис-центр)
Уровень цифровизации	Высокий (единый билет, VR-навигация)	Средний	Средний	Низкий
Год полной реконструкции	2024	2022	2022	2025 (план)
Эффект для пассажиров	Снижение времени пересадки на 23 %	Рост пассажиро-потока на 17 %	Повышение удовлетворенности на 21 %	Повышение удовлетворенности до 15 %

Анализ таблицы 3 показал, что опыт России демонстрирует преимущественно рыночную модель развития железнодорожных станций. Беларусь придерживается государственного подхода, где станции рассматриваются как объекты общественного пользования с элементами коммерциализации. Обе модели показывают:

- интеграция нетранспортных функций увеличивает суточный пассажиропоток на 15–25 %;
- станции становятся центрами микромобильности (электросамокаты, велопрокат, шеринговые сервисы);
- происходит укорочение «последней мили» и перераспределение трафика внутри агломераций.

Следует отметить, что трансформация железнодорожной станции из сугубо транспортного узла в многофункциональное пространство обусловлена не только урбанистическими, но и социально-экономическими причинами.

Пассажир XXI века рассматривает время как главный ресурс. Согласно исследованиям ВЦИОМ в 2023 году, более 68 % пользователей общественного транспорта в крупных городах России стремятся совмещать поездку с другими активностями: покупками, работой, отдыхом, обучением. Отсюда возникает феномен замещения ожиданий продуктивными процессами. В традиционной транспортной модели пассажир тратил 10–20 % времени на бездействие (ожидание поезда, очереди, пересадки).

Интеграция сервисов позволяет это время конвертировать в экономически активное:

- 5 минут ожидания (кофе или покупка аптечных товаров);
- 15 минут (консультация в банке, быстрая стрижка, просмотр выставки).

Таким образом, формируется новый микросектор экономики – «сектор ожидания», в котором создаются дополнительные рабочие места и обороты. Вокзал перестает быть «местом потери времени» и становится пространством его монетизации (таблица 4) [4, 5].

Таблица 4 – Сопоставление моделей потребления времени пассажиров

Показатель	Железнодорожная станция	
	Традиционная	Комьюнити-ориентированная
Среднее время ожидания поезда, мин	18–25	20–25 (не изменилось)
Доля продуктивного использования времени, %	15	65
Уровень удовлетворенности пассажиров (опрос), %	54	82

Современная железнодорожная станция выполняет функции социального медиатора:

- обеспечение доступа жителей пригородов к услугам центральных районов;
- снижение транспортного неравенства;
- культурная интеграция.

По данным Белорусской железной дороги, после модернизации станции Минск-Пассажирский в 2023 году доля жителей Минской области, совмещающих поездку с досугом или покупками, выросла на 27 %. В России аналогичный эффект отмечен в Екатеринбурге, где в зоне вокзала сформировалось более 1200 новых рабочих мест в смежных секторах. Таким образом, трансформация станции способствует развитию локальных экономик и росту социального капитала. Население начинает воспринимать железнодорожную станцию как безопасное, предсказуемое и эмоционально положительное пространство [6].

Следует отметить, что новые железнодорожные станции ориентированы на принципы ESG (Environmental, Social, Governance):

- установка систем рекуперации энергии (Москва-Курская);
- внедрение солнечных панелей (Екатеринбург-Пассажирский);
- создание безбарьерной среды.

Эти меры снижают эксплуатационные расходы и усиливают положительный имидж железнодорожного транспорта как устойчивого вида мобильности. При этом одним из приоритетных направлений становится использование цифровых двойников станций – динамических моделей, фиксирующих пассажиропотоки, энергопотребление и эффективность сервисов. В России такую систему тестируют на Казанском и Курском вокзалах; в Беларуси – в Минске. Цифровые двойники позволяют моделировать пассажиропотоки, оптимизировать логистику, прогнозировать спрос на услуги. На станциях Москва-Курская и Минск-Пассажирский планируется запуск платформы Smart Station, объединяющей данные турникетов, касс, Wi-Fi и видеонаблюдения. Данные технологии обеспечат гибкое распределение сервисов в зависимости от времени суток и сезона, автоматическое управление потоками пассажиров и энергосбережение за счет адаптивного освещения и вентиляции.

Выполненный анализ тенденций показывает, что к 2035 г. комьюнити-ориентированные станции станут ядрами новых субагломераций. Вокруг них формируются зоны деловой активности, жилья и рекреации. Особое внимание следует уделить пригородным станциям-спутникам – Щёлково (РФ) и Фаниполь, Смолевичи (РБ). В этих узлах станция перестает быть «въездом» в мегаполис и становится центром местной урбанизации.

Прогнозные показатели эффективности трансформации железнодорожных станций до 2035 г. приведены в таблице 5.

Таким образом, рассмотренные примеры показывают, что комьюнити-ориентированная станция становится не просто элементом транспортной сети, а ядром социально-экономического взаимодействия.

Таблица 5 – Прогнозные показатели эффективности создания функциональных зон комьюнити-ориентированных станций

Показатель	Значение 2024 года	Прогноз 2025 года	Ожидаемый эффект
Среднесуточный пассажиропоток, тыс. чел./сут	45 (РФ), 18 (РБ)	60 / 28	+35–40 % к базе
Доля нетранспортных доходов, % в структуре доходов	27	45	Увеличение финансовой устойчивости
Средняя плотность микро-мобильности (в радиусе 1 км), ед./1000 жителей	42	75	Рост локальной мобильности
Уровень цифровизации обслуживания, индекс (0–1)	0,46	0,82	Полная интеграция сервисов
Удовлетворенность пассажиров, % респондентов	80	90	Повышение качества среды
Доля энергии из возобновляемых источников, %	12	40	Снижение углеродного следа
Экономия времени на пересадках, мин	12	7	Повышение эффективности транзита

Для России характерна более высокая динамика цифровизации и участия частного капитала; Беларусь делает ставку на социальную и культурную составляющие. Обе модели демонстрируют устойчивость и адаптивность к современным условиям интеграции транспортных и нетранспортных функций, повышают эффективность использования городской территории и способствуют росту занятости. При этом социальная составляющая трансформации (музеи, образовательные центры, благоустройство) формирует позитивный образ железной дороги как общественного блага.

Трансформация железнодорожных станций в комьюнити-ориентированные узлы представляет собой закономерный этап развития транспортной системы России и Беларуси. Современная станция превращается в мультимодальный аттрактор, где пересекаются транспортные, экономические и социальные потоки. В результате повышается пространственная связанность агломераций, усиливается социальная справедливость в доступе к услугам и формируется новая культура повседневной мобильности. Перспектива развития пассажирских железнодорожных станций к 2035 году – это превращение их в производственные платформы городской жизни, где каждое действие пассажира – от покупки кофе до поездки – становится частью единой экосистемы городского времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кастельс, М. Информационная эра: экономика, общество и культура / М. Кастельс. – М. : ГУ ВШЭ, 2000. – 458 с.

2 Интернет и социокультурные трансформации в информационном обществе : сб. материалов междунар. конф. / сост. В. И. Кузьмин, А. В. Паршакова. – М. : МЦБС, 2014. – 320 с.

3 Панкратов, И. Ю. Цифровое государство: новая матрица компетенций для цифровой трансформации / И. Ю. Панкратов, Н. В. Свертилова, Е. Н. Лидэ // Гос. служба. – Т. 20, № 1 (111). – С. 38–43.

4 Джейкобс, Д. Смерть и жизнь больших американских городов / Д. Джейкобс. – М. : Strelka Press, 2011. – 460 с.

5 Доклад о реализации в 2023 году плана деятельности Министерства транспорта Российской Федерации на 2019–2024 годы. – М., 2024. – 50 с.

6 Белорусская железная дорога. Годовой отчет за 2024 год. – Минск, 2025.

T. A. VLASIUK

COMMUNITY-ORIENTED STRUCTURE OF A PASSENGER RAIL STATION IN AN URBAN AGGLOMERATION

The opportunities of replacement expectations the passengers in commercial objects of untransport character by productive processes (fulfilment of necessary purchases of the goods in shops, drugstores, visiting of interiors, museums, exhibition halls, theatres, cinema, sports halls, cafe, restaurants, parking, charging of stations etc.) are investigated, that will allow more full to satisfy wide consumer motivations. The conditions and efficiency of formation multitrade agregators in transport transfer units are studied capable it is essential to reduce routes of movement in shops, cultural and entertaining centres, objects of social purpose. Thus the railway stations are considered as a social infrastructure urban agglomeration, developing conditions of mass micromobility of the inhabitants.

Получено 10.11.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 378.6(571.14)(09)

А. В. ДОБРОВОЛЬСКИЙ, А. А. КЛИМОВ

Сибирский государственный университет путей сообщения,

г. Новосибирск

dobr057@mail.ru, a-aklimov@yandex.ru

НОВОСИБИРСКИЙ ИНСТИТУТ ВОЕННЫХ ИНЖЕНЕРОВ ТРАНСПОРТА В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Рассмотрены особенности исторического этапа функционирования Новосибирского института военных инженеров транспорта в годы Великой Отечественной войны. На основе документальных материалов отмечается роль института в сохранении научных школ вузов страны, эвакуированных в Новосибирск. Изложены особенности организации учебного процесса в условиях изменения контингента преподавателей и

слушателей в связи с отправкой на фронт. Приведено описание организации научно-исследовательской работы коллектива института в военное время, а также практической помощи фронту и тылу в этот самый сложный период истории нашей Родины.

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС) является одним из старейших высших учебных заведений Новосибирска. Вуз образован в 1932 году и за период функционирования несколько раз менял статус и наименование. К началу войны в 1941 г. он назывался «Новосибирский институт военных инженеров транспорта» (НИВИТ). На тот момент это было единственное в СССР высшее военно-транспортное учебное заведение, где одновременно готовили командиров производства – инженеров железнодорожного транспорта и командиров служб военных сообщений Рабоче-крестьянской Красной Армии (РККА).

НИВИТ располагался в двух учебных корпусах (рисунок 1) и имел солидную по тем временам материально-техническую базу. В институте функционировало 30 кафедр, 11 лабораторий, 20 специализированных кабинетов, имелась своя техническая библиотека, отдельные здания клуба, гаража, два общежития для слушателей и жилой дом для преподавателей. Укомплектование кадрами также было полным – профессорско-преподавательский состав насчитывал 120 штатных преподавателей и 11 совместителей [1].



Рисунок 1 – Учебный корпус № 1 НИВИТа (фото из архива СГУПСа)

Анализируя работу института в период Великой Отечественной войны следует отметить сплоченность коллектива, способность решать любые поставленные задачи, высокую самоотдачу и взаимовыручку профессорско-преподавательского, офицерского и слушательского состава. Особо следует отметить слушателей и преподавателей, пополнивших ряды РККА и ушедших на фронт для борьбы с оккупантами. Первые десять добровольцев отпра-

вились на фронт сразу после нападения фашистской Германии [3]. 27 июня 1941 г. состоялся выпускной вечер, на котором заместитель начальника института, генерал-майор Аркадий Васильевич Котюков объявил: *«Выпускники института все, как один, изъявили желание ехать туда, куда их зовет Родина. Мы отправляем на фронт первую десятку добровольцев»*. Проводы состоялись уже через два дня, пятерым из них не суждено было возвратиться домой [4].

За первые месяцы войны в ряды Красной Армии было призвано 129 слушателей и 24 сотрудника НИВИТа (из них 20 преподавателей); за 1941/42 учебный год призвали еще 585 человек. В связи с массовым призывом в марте 1942 г. был вынужденно произведен дополнительный набор на 1-й курс института (зачислено 306 человек). В связи с трудным положением на Юго-Западном фронте в мае 1942 г. 418 слушателей НИВИТа были срочно призваны в ряды РККА и отправлены под Сталинград. Еще 163 слушателя 1-го и 2-го курсов в августе 1942 г. были направлены на учебу в военные училища, в основном артиллерийские, частично – в пехотные и технические. Многие вчерашние слушатели пополнили ряды защитников Сталинграда, участвовали в битве на Курской дуге, освобождали Украину, форсировали Днепр.

С 1942 г. студентов выпускных курсов стали постепенно освобождать от призыва на фронт, а с 1943 г. массовые призывы вузовской молодежи фактически прекратились. Но регулярное пополнение воюющей армии личным составом из числа слушателей НИВИТа производилось и в последующие военные годы. Всего за период войны институт отправил в ряды Красной Армии 1 079 слушателей и 49 сотрудников. В боях за Родину погибло 64 нивитовца, память о которых увековечена в мемориальном комплексе, расположенном в настоящее время на территории Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) (рисунок 2).

Многие нивитовцы были награждены боевыми наградами. *«За образцовое выполнение заданий командования, героизм и мужество при форсировании р. Днепр»* лейтенантам Ю. И. Дерябину и И. Е. Стернину Указом Президиума Верховного Совета СССР от 20 декабря 1943 г. присвоено звание Героя Советского Союза. 23 февраля 1944 г. звание Героя Советского Союза присвоено младшему лейтенанту В. Н. Безукладникову.

49 сотрудников института (среди них 29 преподавателей) не вернулись с полей сражений: старший преподаватель Н. В. Березин, ассистент В. П. Целищев, преподаватели А. А. Лаунаг, И. Е. Мергинев и др. В октябре 1941 г. погиб первый начальник института С. Е. Пропастин. Многие выпускники института впоследствии стали известными военачальниками железнодорожных войск, среди них 12 генералов: генерал-лейтенант А. П. Рагозин, генерал-майоры В. К. Вдовенко, Е. Т. Ядов, Н. А. Соколов, Н. Н. Карпенко, В. А. Архипов, Л. Б. Кучеров, В. С. Прохоров, Ю. С. Кононов, В. И. Нестеров, И. И. Петрович, А. Л. Яковлев; более 150 старших офи-

церов, в их числе полковники А. Е. Кошкин, Н. А. Танин, подполковники Ю. Н. Докучаев, Л. Зенкиндер, Н. Н. Мирошников и др. [5].



Рисунок 2 – Монумент-памятник слушателям и преподавателям НИВИТа, погибшим за Родину в годы Великой Отечественной войны (фото из архива СГУПСа)

Вклад института в победу над фашизмом заключается также в том, что в условиях военного времени и при регулярном призыве в ряды Красной Армии была продолжена подготовка инженерных кадров. НИВИТ сразу перестроился на военный режим работы (таблица 1).

Таблица 1 – Распорядок дня слушателей НИВИТа, 1941 г.

Виды занятий	Время
Подъем	6:10
Утренняя зарядка	6:15
Утренний туалет	6:30
Утренний осмотр	6:45
Политинформация	6:55
Завтрак	7:20
Академические занятия	8:00
Обед	15:00
Личное время	15:40
Самоподготовка или политмассовая работа	16:40
Вечерняя прогулка	21:55
Вечерний чай	22:20
Вечерняя поверка	22:50
Отбой	23:00

Летом 1941 г. произведено сокращение штатов, ликвидирована редакция газеты «Кадры транспорту», кружки художественной самодеятельности. Преподавательский состав единогласно принял решение об отчислении части заработка в Фонд обороны. С 1 сентября 1941 г. срок обучения в институте был сокращен – вместо 5 лет 10 месяцев до 3 лет 9 месяцев, но с сохранением всего объема дисциплин. Пересмотрены структура и штатное расписание, реорганизованы военные кафедры, число которых сократилось с пяти до четырех. Введена новая обязательная дисциплина – «Противовоздушная оборона на железнодорожном транспорте». Необходимо отметить большой вклад института в выполнении работ в тылу для нужд фронта. Вместо самоподготовки слушатели до глубокой ночи трудились на погрузочно-разгрузочных работах, прокладывали новые и ремонтировали существующие подъездные пути к эвакуированным оборонным предприятиям, очищали от снега пути железнодорожных станций и перегонов. Каждое воскресенье по 150–200 слушателей старших курсов направлялись на работы на заводы и стройки (рисунок 3).

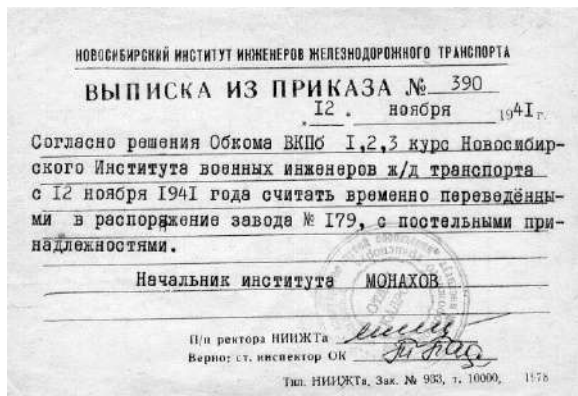


Рисунок 3 – Выписка из приказа по НИВИТУ о направлении слушателей на работы в помощь заводу № 179 (фото из архива СГУПСа)

В течение 1942/43 учебного года слушателями НИВИТа отработано, человеко-дней:

- более 3 600 на оборонных предприятиях г. Новосибирска;
- 4 000 на лесозаготовках;
- 1 260 на погрузочно-разгрузочных работах в речном порту. Все заработанные средства перечислялись в Фонд обороны. Слушатели регулярно направлялись на снегоборьбу на станции Томской железной дороге, при этом норма, как правило, перевыполнялась более чем в 2 раза и отмечалось исключительно добросовестное отношение к труду, «помятуя, что своей работой на ж/д транспорте помогали быстрее подаче грузов к фронту

Отечественной войны» [5]. Особенно отличилась 5-я рота факультета «Движение и грузовая работа», которая выполнила производственные задания на 248 %.

В течение войны был организован сбор средств и теплых вещей для фронтовиков. Всего было собрано:

- в Фонд обороны – 21 038 рублей;
- на эскадрилью молодых рабочих – 13 498 рублей;
- на постройку самолета «Нивитовец» – 254 345 рублей, за что в апреле 1943 г. НИВИТ получил благодарственную телеграмму Верховного главнокомандующего И. В. Сталина [5].

Коллектив института приближал победу не только в Новосибирске. Слушатели V курса факультета «Движение и грузовая работа» распределялись на практику на станции Томской, Омской, Красноярской железных дорог, где самостоятельно работали по три месяца. Слушатели V курса Строительного факультета были направлены на практику в европейскую часть страны – на железные дороги освобожденных территорий. Руководителями практики были назначены преподаватели с военных кафедр:

- В. Е. Ермилин (Одесская железная дорога);
- И. А. Котюков (Винницкая железная дорога);
- В. А. Подоплелов (Львовская железная дорога).

Для руководства по специальным вопросам отдельно командировались:

- генерал-майор технических войск А. В. Котюков (Юго-Западная железная дорога);
- доцент К. Н. Коржавин (Сталинская железная дорога);
- ассистент В. А. Штырляев (Калининская железная дорога).

Слушателям пришлось работать в прифронтовой полосе, а некоторым заниматься ремонтно-восстановительными работами во фронтовых условиях и на передовой. Восстановление путей производилось вслед за наступающими войсками Украинских и Белорусских фронтов. Некоторые слушатели стали участниками стратегической наступательной операции «Багратион». За умелые действия по восстановлению мостов под огнем противника слушатель НИВИТа В. Сорокин был награжден значком «Отличный восстановитель».

Важнейшая роль НИВИТа также заключается в сохранении научного потенциала многих транспортных и технических вузов страны. В силу стремительного продвижения немецко-фашистских войск в августе 1941 г. в Новосибирск был эвакуирован ряд ведущих преподавателей профильных транспортных вузов: Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТа), Московского и Днепропетровского институтов инженеров транспорта (МИИТа и ДИИТа соответственно), а также профессоров высших учебных заведений европейской части страны. В НИВИТ прибыли:

– член-корреспондент Академии наук СССР, д-р техн. наук, профессор Григорий Петрович Передерий (ЛИИЖТ) – принят в штат и возглавил кафедру «Мосты»;

– доктор технических наук, профессор Константин Николаевич Мищенко (МИИТ) – 3 октября 1941 г. принят профессором кафедры «Экономика транспорта», а затем назначен начальником кафедры «Общий курс железных дорог»;

– доктор технических наук, профессор Иван Владимирович Урбан (Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта) – назначен начальником кафедры «Строительная механика»;

– доктор физико-математических наук, профессор Сергей Леонтьевич Бастамов (Московский технологический институт инженеров легкой промышленности) – принят на должность профессора, начальника кафедры «Физика»;

– доктор физико-математических наук, профессор Александр Петрович Норден (Московский государственный университет) принят на должность профессора, начальника кафедры «Высшая математика»;

– старший консультант дирекции по строительству Дворца Советов (г. Москва) Михаил Николаевич Кошурников (Ленинградский технологический институт) принят 1 ноября 1941 г. на должность профессора, начальника кафедры «Строительные материалы»;

– доктор технических наук, профессор Моисей Менашевич Хазен (Одесский институт мукомольной промышленности) зачислен профессором кафедры «Теплотехника, термодинамика и тепловые двигатели», а в декабре 1941 г. назначен начальником кафедры «Энергетика»;

– доктор технических наук, профессор Николай Трофимович Митюшин (МИИТ) назначен начальником кафедры «Путь и путевое хозяйство»;

– доктор технических наук, профессор Владимир Алексеевич Гастев (ЛИИЖТ) зачислен в августе 1942 г. на должность профессора кафедры «Мосты»;

– профессор Петр Яковлевич Гордиенко (ЛИИЖТ) назначен начальником кафедры «Организация движения и грузовая работа» с 14 сентября 1942 г.;

– доктор физико-математических наук, профессор Владимир Дмитриевич Зернов (МИИТ) зачислен в 1942 г. в качестве профессора кафедры «Физика»;

– доктор технических наук, научный руководитель ведущего отдела Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) Феликс Исидорович Франкль принят в октябре 1943 г. на должность профессора кафедры «Высшая математика».

Профессора Г. М. Шахунянц (МИИТ), В. А. Важеевский (ЛИИЖТ), кандидаты наук А. Д. Кузин, С. С. Ульрих, Д. С. Сухоруков, И. А. Болтенко,

И. А. Борисевич, П. М. Саморуков, Н. Г. Ермолаев, В. А. Новопавловский, И. Д. Куприянова, П. Л. Клауз, И. А. Кожевников, С. Е. Кузин (ЛИИЖТ), Г. Д. Вознесенский, А. В. Мануйлов (МИИТ), М. А. Фришман (ДИИТ), А. В. Смирнова (Ленинградский институт сигнализации и связи), Н. М. Воловик (Московский институт химического машиностроения) и еще ряд высококвалифицированных специалистов были приняты в первые годы Великой Отечественной войны в штат НИВИТа.

В Новосибирск прибывал не только профессорско-преподавательский состав. В сентябре 1941 г. в НИВИТ поступило пять грузовых вагонов с ценным имуществом ЛИИЖТа. Следом подошли вагоны с оборудованием, контингентом студентов и преподавателями ДИИТа. Часть учебных площадей пришлось выделить для размещения Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (НИИГАиК), здание которого реквизировали для военных нужд.

Для обучения эвакуированных студентов (259 чел.) в НИВИТе было создано специально гражданское отделение. Преподаватели ДИИТа (45 чел.) также были зачислены в штат НИВИТа [6]. Ректор ДИИТа д-р техн. наук, проф. Лазарян Всеволод Арутюнович был назначен заместителем начальника НИВИТа по учебной и научной работе, а по совместительству и руководителем гражданского отделения. По согласованию с Центральным управлением учебных заведений (ЦУУЗом) учебный процесс студентов ДИИТа решили организовать следующим образом:

- 1–3-й курсы были направлены на обучение по путейско-строительной и эксплуатационной специальностям;

- студенты старших курсов направлены на обучение по паровозной и вагонной специальностям.

Начало занятий на гражданском отделении началось 22 сентября 1941 г. В связи с дефицитом учебных площадей занятия пришлось организовать в две смены: НИВИТ занимался в первую смену, студенты НИИГАиКа и ДИИТа – во вторую.

В декабре 1941 г. в г. Новосибирск прибыл еще один эвакуированный вуз – МИИТ. «Пришлось снова основательно потесниться, – вспоминал позднее доцент НИВИТа Константин Николаевич Коржавин, – по-товарищески, по-дружески принять прибывших, обеспечить их жильем, учебными и рабочими помещениями» [7]. Но разместить прибывший контингент на тесных нивитовских площадях было уже невозможно. В декабре 1941 г. данный вопрос дважды рассматривался на заседаниях бюро Новосибирского обкома ВКП(б). В итоге МИИТу было выделено три отдельных здания и весь эвакуационный период вуз работал самостоятельно [8]. Часть общежития НИВИТа, рассчитанного на 600 человек, выделили для студентов МИИТа – по факту в нем проживало около 1 200 человек [9].

В начале марта 1942 г. в Новосибирск прибыли эвакуированные из блокадного Ленинграда студенты и преподаватели ЛИИЖТа. В пути они находились почти месяц, десятки истощенных людей не выдержали и погибли во время долгого пути. Доцент ЛИИЖТа М. И. Воронин писал, что «Новосибирск принял голодных, умирающих ленинградцев, как родных». Начальник НИВИТа Николай Иванович Монахов сразу по прибытии пригласил всех в ресторан вокзала, где на столах горками лежал хлеб. «Через несколько секунд весь хлеб исчез в карманах голодных и измученных людей. Монахов распорядился снова принести хлеб – и вновь его сразу же разобрали. Только после еще одного распоряжения о хлебе, когда все убедились, что здесь хлеба достаточно, люди принялись за еду» [10].

Из 125 студентов, направленных из Ленинграда, к учебе приступили только 60 человек... Занятия начались с середины апреля в железнодорожном клубе ст. Инская. А в июле 1942 г. часть профессорско-преподавательского состава ЛИИЖТа, согласно постановлению Комитета Государственной обороны, отбыла в Москву для организации занятий студентов-железнодорожников на базе помещений МИИТа.

В начале 1944 г. Правительство СССР приняло решение о реэвакуации ряда вузов на освобожденную территорию. В соответствии с постановлением ЦК ВКП(б) Украины от 25.03.1944 г. «О подготовке к реэвакуации вузов УССР» в середине года начал готовиться к отъезду из Новосибирска и Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. Значительная часть оборудования физической, электротехнической, механической и грузовой лабораторий НИВИТа были демонтированы и переданы МИИТу, ДИИТу, ЛИИЖТу как им принадлежащие.

Во второй половине 1943/44 учебного года ряд начальников кафедр НИВИТа (Г. П. Передерий, Н. Т. Митюшин, П. Я. Гордиенко, М. М. Хазен, Г. М. Ежков, И. В. Урбан) были отозваны в распоряжение ЦУУЗа и командированы на работу в другие вузы страны.

Таким образом, НИВИТ сыграл значительную роль в сохранении научных школ, контингента студентов и преподавателей родственных вузов в самый тяжелый период Великой Отечественной войны. При этом профессорско-преподавательский состав эвакуированных вузов сыграл значительную роль в формировании научных школ еще молодого транспортного вуза в Новосибирске. Необходимо отметить, что в феврале 1944 г. при НИВИТе была открыта очная аспирантура.

Особая страница истории вуза связана с вынужденной сменой места дислокации. В начале ноября 1941 г. партийные органы г. Новосибирска, руководствуясь законами военного времени, предложили начальству НИВИТа освободить занимаемые помещения для размещения эвакуированного из Подмосковья (г. Красногорск) оптико-механического завода. Более недели начальник института Н. И. Монахов не начинал переезд в соответ-

вии с категорическим запретом ЦУУЗа. В результате 10 ноября его вызвали в Обком ВКП(б), где он по приказу сдал партийный билет, а также был отстранен от руководства вузом (в последствии восстановлен в должности).

Полномочия начальника института возложили на военного заместителя, генерал-майора технических войск А. В. Котюкова. В 24 часа все учебные помещения были освобождены: мебель, учебный инвентарь, книги и лабораторное оборудование буквально вынесли на улицу и сразу же в помещения стали заносить станки эвакуированного завода. Эвакуация института состоялась всего за одни сутки. При этом для завоза промышленного оборудования использовались трамвайные пути, связывающие железнодорожный вокзал и площадь Калинина, где располагались корпуса НИВИТа. Использование трамвайных путей для организации внутригородских железнодорожных перевозок нашло отражение в дальнейших научных трудах института, в частности канд. техн. наук, доц. С. В. Амелина «О приспособлении трамвайных путей широкой колеи для пропуска ж.-д. вагонов».

За последующие 10 дней слушатели, сотрудники и преподаватели института перенесли практически вручную (около 3,5 км) в выделенные помещения (по ул. Советской, 20) столы и парты, стулья, книги, лабораторное оборудование. В результате такого переезда часть учебного инвентаря пришла в негодность, часть оборудования пришлось «свалить» в подвал соседнего универмага (сейчас – гостиница «Центральная»), так как не хватало площади даже для проведения занятий.

Но уже через 10 дней занятия возобновились. На новом месте организовали 21 учебный кабинет и 7 лабораторий, при этом только семь из выделенных помещений реально удовлетворяли необходимым требованиям. При оборудовании лабораторий использовались приборы и устройства уже эвакуированных ДИИТа и ЛИИЖТа, так как часть своего оборудования и приборов была утеряна. Впоследствии НИВИТу не суждено было вернуться в родные стены, где до сих пор работает эвакуированный во время войны приборостроительный завод. Решением Совета министров СССР от 1946 г. институту недалеко от первоначального местоположения была выделена территория для строительства нового учебного корпуса и студенческого общежития, куда вуз передислоцировался в 1955 г.

Война заставила внедрить в практику новые формы руководства научными исследованиями. Так, в утвержденный ЦУУЗом тематический план научно-исследовательской работы НИВИТа на 1942 г., вошли следующие темы: восстановление железных дорог, улучшение работы железнодорожного транспорта тыловых дорог, использование местных ресурсов, сокращение расходов топлива и экономия энергии, планирование и организация подвоза в армейском тылу в условиях современной войны, тематика специального оборонного назначения [11]. При этом госбюджетных средств на финансирова-

ние указанных научно-исследовательских работ выделено не было, поэтому тематика выполнялась как за счет самостоятельных ресурсов, так и за счет заключения хозяйственных договоров с заинтересованными организациями.

Коллектив НИВИТа военного периода показал весьма достойные результаты научно-исследовательской работы. В соответствии с заданием Центрального научно-исследовательского института НКПС и приказом начальника Томской железной дороги НИВИТ провел ряд опытных работ по определению топливных эквивалентов взаимозаменяемости и установлению норм расхода топлива паровозами. Поездки с динамометрическим вагоном осуществлялись в марте – апреле 1942 г. на участках Барнаул – Черепаново, Барнаул – Бийск Томской железной дороги.

В истории военного НИВИТа необходимо особо отметить проведение V научно-технической конференции [12]. 19 марта 1942 г. был издан приказ о ее проведении для подведения итогов научно-исследовательской работы института за первую половину 1942 г., обсуждения приоритетных направлений развития связи «наука – производство», оказания практической помощи транспорту и фронту. Большинство научных докладов непосредственно касались вопросов оптимизации производства и укрепления обороноспособности страны. С содержательными докладами выступили ведущие ученые МИИТа: д-р техн. наук, проф. Н. Т. Митюшин, доктора, профессора А. П. Норден, И. Е. Огиевецкий, С. Л. Бастамов, И. С. Куклес, В. П. Зылев. Конференция вышла за рамки институтского мероприятия – обеспечила широкое присутствие профессорско-преподавательского состава вузов г. Новосибирска, производственников, представителей проектных и конструкторских учреждений и организаций. Она дала толчок региональному развитию науки в условиях военного времени и привела к активизации научно-исследовательской работы в вузах г. Новосибирска.

По инициативе руководства института на Томской железной дороге был создан Научно-технический совет, включающий пять секций, которыми руководили ведущие профессора НИВИТа. Силами преподавателей в 1942/43 учебном году на полигоне Томской железной дороги были организованы и проведены четыре выездные технические конференции:

- мобилизация внутренних ресурсов и лунинские методы работы (ст. Усаты), август 1942 г.;
- мобилизация внутренних ресурсов в области путевого хозяйства и подготовке к зиме (ст. Защита) октябрь 1942 г.;
- рельсовый стык, стыковое хозяйство и водоборьба (ст. Барнаул), февраль 1943 г.;
- организация движения и борьба с авариями и крушениями (ст. Барнаул), апрель 1943 г.

По линии военной кафедры в мае 1943 г. слушатели НИВИТа выполнили 23 дипломных проекта по следующей актуальной для того времени тема-

тике: перешивка пути, восстановление пути на участке в предвидении наступательной операции, восстановление пути на железнодорожном участке в условиях наступательной операции, восстановление искусственных сооружений на железнодорожном участке, эвакуация и разрушение железнодорожного участка в условиях отхода.

Конференции проводились и на военных кафедрах НИВИТа, где обсуждались военно-стратегические и тактические вопросы по следующим направлениям: превосходство Сталинской стратегии над немецкой дефектной стратегией, Кировоградская операция 1944 года, техника в Отечественной войне, особенности работы фронтовых железнодорожных участков по опыту Отечественной войны, железнодорожники в Отечественной войне, особенности работы технической разведки в условиях Отечественной войны, рельсовый стык при восстановлении железных дорог в условиях Отечественной войны.

9 сентября 1943 г. батальон слушателей НИВИТа спецпоездом был отправлен на ст. Мереть Томской железной дороги для строительства новой железнодорожной ветки. Общее руководство и контроль за работами были возложены на подполковника В. Е. Ермилина (кафедра «Восстановление железных дорог и устройство на них заграждений»). За месяц силами слушателей 2-го и 3-го курсов была построена железнодорожная ветка протяженностью 9 км от ст. Мереть до шахты «Грамотейная», что решило проблему снабжения высококалорийным углем предприятий г. Новосибирска. НИВИТ оказал практическую помощь г. Новосибирску и в организации проектных работ по строительству городских трамвайных путей, проектированию и строительству подъездных железнодорожных путей к ряду эвакуированных заводов, предприятиям оборонного значения.

Выполнены работы по оптимизации графика движения поездов на Томской железной дороге, для чего была сформирована отдельная бригада из преподавателей кафедры «Организация движения и грузовая работа» во главе с начальником кафедры профессором П. Я. Гордеенко, в которую вошли доценты Г. М. Ежков и А. М. Горчаков, ассистенты И. П. Семин, В. И. Быков, В. В. Гадевальд и 30 слушателей пятого курса. Были произведены замеры движения по участкам Чулым – Инская – Новосибирск, Тайга – Топки, станциям Кольчугино, Судженка, Анжерка, [13], установлены причины неравномерности движения поездов, рассчитаны грузовые потоки, определены унифицированные нормы веса угольных маршрутов, что способствовало усилению провозоспособности сибирских железных дорог.

Вклад коллектива НИВИТа в производство и в целом в усиление работы тыловых предприятий был высоко оценен. В марте 1943 г. профессору Г. П. Передерию была присуждена Сталинская премия за многолетние выдающиеся работы в области науки и техники. Поздравительную телеграмму

прислал нарком путей сообщения Л. М. Коганович [14]. В апреле 1943 г. ряд научных работников был премирован начальником Томской дороги за успехи в научно-исследовательской работе и оказании конкретной помощи железной дороге в условиях военного времени, а именно:

– Передерий Г. П. – за систематические ценные консультации по вопросам эксплуатации искусственных сооружений и постройке мостов;

– Митюшин Н. Т. – за руководство научно-производственными конференциями на узлах Томской дороги и ценные предложения в области улучшения работы рельсового стыка;

– Еврейсков В. Е. – за принятие активного участия в разработке вопроса по подъездным путям Томской железной дороги и активную работу в строительной секции Научно-технического совета;

– Гордеенко П. Я. – за разработку ряда актуальных производственных проблем, выдвинутых службами движения и грузовой работы Томской железной дороги;

– Ежков Г. М. – за активное участие в разработке и практическом осуществлении различных энергетических установок;

– Кузин А. Д. – за активное участие в качестве докладчика научно-производственных конференций и систематические консультации отделений движения Томской железной дороги.

В памяти нивитовцев военных лет навсегда останется День Победы! Слушательница второго курса П. А. Курносенко (впоследствии работник НИВИТа) позже напишет: «Мы шли утром из общежития на Саратовской улице в институт. И вдруг нас окружили люди, стали целовать и говорить, что война кончилась! Кончилась война! Боже мой, какое счастье! На завтрак нам выдали по полстакана водки. Не помню, были ли занятия в тот день... Наверняка никто ничего, кроме радостной вести о Победе, воспринимать не мог. Все пошли на площадь перед Театром оперы и балета. Что там было – не передать словами. Пели и танцевали. Смеялись и плакали» [15].

Выпускники 1945 г. защищали дипломные работы уже после залпов Победы. За четыре военных года (1941–1945 гг.) НИВИТ обеспечил квалифицированную подготовку и выпуск 1 216 молодых специалистов – военных инженеров транспорта, которые оказались востребованы как на фронте, так и в тылу. Многие слушатели НИВИТа после фронта вернулись в родной институт и продолжили обучение, в том числе в аспирантуре, пополнив ряды профессорско-преподавательского состава.

Вернувшиеся фронтовики-орденоносцы, пришедшие на работу в вуз, стали примером для многих преподавателей и слушателей, внесли большой вклад в дальнейшее развитие института, поддержание сложившихся и формирование новых традиций поколения победителей. Приказом НКПС от 1 февраля 1946 г. участник Великой Отечественной войны, инженер-

полковник, доцент Георгий Петрович Кравцов назначен начальником НИВИТа и возглавлял вуз до 1954 года.

Для первого послевоенного 1945/46 учебного года весьма характерным стало восстановление в институте бывших слушателей, возвращающихся из рядов Красной Армии по демобилизации. В мае 1947 г. в родные стены вернулось 57 чел., в том числе на строительный факультет – 29, факультет «Движение и грузовая работа» – 18, факультет «Мосты и тоннели» – 10. Слушатели-фронтовики пользовались в коллективе большим уважением, были примером в учебе и общественной работе.

Вклад ведущих ученых ЛИИЖТа, МИИТа и ДИИТа в становление научных школ НИВИТа дал толчок дальнейшему развитию научных направлений, в том числе на факультете «Движение и грузовая работа». Фронтовик Всеволод Киприянович Бешкет (рисунок 4) подготовил и защитил докторскую диссертацию и основал научную школу по сохранности перевозок грузов, ставшую широко известной не только в нашей стране. Развитие данного направления привело к созданию отраслевой научно-исследовательской лаборатории и кафедры «Технология грузовой и коммерческой работы», которая в настоящее время называется «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» и является крупнейшей технической кафедрой СГУПСа.

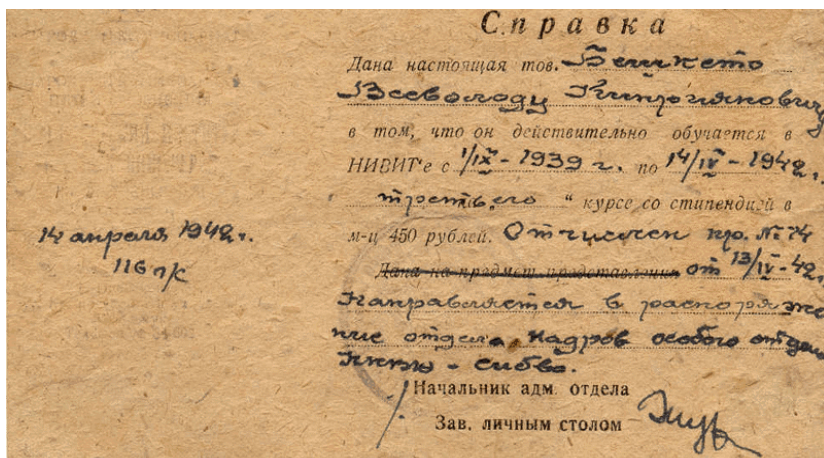


Рисунок 4 – Справка слушателя III курса В. К. Бешкет от 14 апреля 1942 г. об отчислении из НИВИТа в связи с призывом в ряды РККА (фото из архива СГУПСа)

Александр Михайлович Карпов (выпускник ЛИИЖТа, 1935 г.) командированный по окончании вуза в г. Новосибирск подготовил кандидатскую диссертацию, защита которой была назначена на понедельник 23 июня 1941 г. в МИИТе. Защита не состоялась, а работа была утеряна. Александр Михайлович

ушел на фронт, во время боев попал в плен, бежал, прошел войну до конца, награжден медалью «За взятие Берлина». После окончания войны подготовил и защитил новую диссертационную работу (1947 г.), после чего был переведен в НИВИТ, а в последствии возглавил кафедру «Железнодорожные станции и узлы» и внес значительный вклад в развитие транспортной науки.

Многие участники Великой Отечественной войны продолжили работу на эксплуатационном факультете. Доцент Куприн Василий Арсентьевич с 1974 по 1977 год был деканом факультета «Эксплуатация железных дорог», на выпускающих кафедрах и в лабораториях факультета трудились А. А. Михеев, В. А. Михеева, В. Т. Алексеев, Б. Я. Петухов, В. Ф. Фисанов. Слушатели факультета «Движение и грузовая работа» военного периода Сычко Петр Алексеевич (выпуск 1943 г.) и Москалев Павел Илларионович (выпуск 1949 г.) стали впоследствии ректорами БелиИЖТа и НИИЖТа соответственно и внесли значительный вклад в развитие возглавляемых ими вузов.

Фронтовики, преподаватели и слушатели НИВИТа военного времени заложили основы дальнейшего развития вуза, который с 1953 г. изменил статус и стал гражданским вузом – Новосибирским институтом инженеров железнодорожного транспорта (НИИЖТом), хорошо известным по своим научным школам, толчок развития которых был в военный период, когда в стенах вуза трудились ведущие ученые транспортной отрасли страны. В память о Великой Победе в СГУПСе ежегодно проводится Оборонно-спортивная эстафета, где студенты, выпускники и преподаватели соревнуются по военно-прикладным видам спорта. В 2025 году эстафета проведена уже в 85-й раз!

Статья подготовлена по архивным документам и материалам Государственного архива Новосибирской области, архива и Центра истории и культуры (музея) Сибирского государственного университета путей сообщения в честь 80-летия Победы в Великой Отечественной войне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Государственный архив Новосибирской области (ГАО). Ф.р-1100. Оп. 1. Д. 206. – Л. 2.

2 Государственный архив Новосибирской области (ГАО). Ф.р-1100. Оп. 1. Д. 206. – Л. 6.

3 Приказы по Новосибирскому институту военных инженеров железнодорожного транспорта № 202 от 24.06.1941 г., № 203 от 27.06.1941 г. // Архив Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта (НИИЖТа) (НИВИТ). Ф. 1100. Оп. 2. Д. 107. Л. 140, 143.

4 *Добровольский А. В.* НИВИТ военного времени (1941–1945 гг.) / А. В. Добровольский, А. Л. Манаков. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. – 155 с.

5 Приказы по НИВИТу № 326 от 19.09.1941; № 327 от 23.09.1941 г.; № 384 от 31.10.1941 г. // Архив НИИЖТа (НИВИТ). Ф. 1100. Оп. 2. Д. 107. Л. 309, 383; Д. 106. Л. 103.

6 *Коржавин, К. Н.* НИВИТ в годы войны / К. В. Коржавин // Кадры-транспорту. – 1975. – 6 мая.

7 Круглянский, М. Р. Высшая школа СССР в годы Великой Отечественной войны / М. Р. Круглянский. – М. : Высш. шк., 1970. – 303 с.

8 Москалев, П. И. Этапы пройденного пути. Субъективные заметки по истории НИВИТа – НИИЖТа (1932–1990) / П. И. Москалев. – Новосибирск, 1999. – 115 с.

9 Воронин, М. И. Материалы по написанию Истории Ленинградского Ордена Ленина института инженеров железнодорожного транспорта (Справки, приказы, отзывы, заявления, переписка и прочее): Рукопись. Частный архив / М. И. Воронин. – Ленинград, 1961. – С. 187.

10 Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Ф.р-1100. Оп. 1. Д. 173. Л. 48-48(об.)

11 Документы о работе V научно-технической конференции кафедр института (НИВИТ) за 1942 г. (Отчет, тезисы, доклады) // ГАНО. Ф. р.-1100. Оп. 1. Д. 216. – 39 л.

12 Государственный архив Новосибирской области (ГАНО). Ф.р-1100. Оп. 1. Д. 230. Л. 23(об.).

13 Архив НИИЖТа (НИВИТ). Ф. 1100. Оп. 2. Д. 169. – Л. 149.

14 Курносенко, П. А. В те далекие сороковые / П. А. Курносенко // Путевку в жизнь нам дал НИВИТ. – 2005. – С. 153.

A. V. DOBROVOLSKIY, A. A. KLIMOV

ON NIVIT'S CONTRIBUTION TO VICTORY IN THE GREAT PATRIOTIC WAR

The features of the historical stage of functioning of the Novosibirsk Institute of Military Engineers of Railway Transport during the Great Patriotic War are considered. Based on documentary materials, the role of the institute in preserving the scientific schools of the country's universities evacuated to Novosibirsk was established. The features of the organization of the educational process in the context of a change in the contingent of teachers and students in connection with sending to the front are presented. A description is given of the organization of research work of the institute's staff in wartime, as well as practical assistance to the front and rear in this most difficult period in the history of our Motherland.

Получено 08.09.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 625.114:656.21

И. П. ДРАЛОВА, А. О. КОРНЕЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
irenadralova@gmail.com, kao1455@mail.ru.

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ОБЪЕМА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ И ПЕРЕГОНАХ

Представлен подход к созданию программного модуля автоматического расчета объемов земляных работ, который позволяет повысить точность результатов, произ-

водительность, экономическую эффективность и т. п. Использование предиктивного анализа при известных объемах земляных работ позволяет оптимизировать реализацию строительных проектов на железнодорожных станциях.

Расчёт объёмов земляных работ – это ключевой и один из самых первых этапов определения стоимости производства всех видов строительных работ на железнодорожных станциях. Его важность невозможно переоценить. Земляные работы – одна из самых дорогих статей при строительстве и переустройстве станционных объектов и перегонов железных дорог, особенно в сложных условиях. Их доля может достигать 20–40 % от общей стоимости линейного объекта. Зная точный объём, можно определить трудоёмкость работ, парк техники, затраты на амортизацию, потребность в материалах. Размеры объемов служат для выбора технологии, организации производства работ, планирования логистики и сроков реализации, а также для принятия решений по реализации того или иного проекта из нескольких вариантов.

Переход на автоматизацию расчетов земляных работ рассматривается как один из быстро окупаемых шагов цифровизации в проектировании железнодорожных станций. Автоматизированные программные модули для расчета объемов земляных работ имеют следующие преимущества.

1 Точность выполняемых расчетов, исключая влияние «человеческого фактора». Программы легко обрабатывают огромные массивы результатов, что вручную сделать достаточно сложно и трудоемко.

2 Высокая скорость и производительность, позволяющие провести очень быстрые вычисления, внести необходимые изменения проекта, проработать многовариантные решения.

3 Экономическая эффективность, обеспечивающая снижение прямых затрат с экономией интеллектуальных ресурсов инженеров и проектировщиков, которые могут заниматься творческой деятельностью.

4 Документирование и отчетность с электронным документооборотом, при котором все данные хранятся в цифровом виде, легко передаются и архивируются.

Ценность перехода от ручного расчета к автоматизированному заключается не просто в замене калькулятора на цифровую среду, а в фундаментальном изменении процесса от трудоемкого, подверженного ошибкам рутинного расчета к быстрому, точному и управляемому инженерному анализу. Это переход от «реактивного» с повторными вычислениями после выявления погрешностей к «проактивному» управлению земляными работами, что дает прямую финансовую выгоду, снижает риски и повышает конкурентное преимущество при реализации проекта.

Объем работ по сооружению земляного полотна главного пути рассчитывается по средним рабочим отметкам насыпей и выемок. Для этого профиль варианта разбивается на ряд участков с приблизительно одинаковыми рабочими отметками. По ширине основной площадки земляного полотна и

средним рабочим отметкам определяются значения покилометрового объема земляных работ. Объем работ на участке определяется умножением покилометрового объема на длину участка.

Объем работ по сооружению земляного полотна для станционных путей на раздельном пункте $g_{\text{рп}}$ определяется по средним рабочим отметкам в пределах площади раздельного пункта по формуле

$$g_{\text{рп}} = M(n-1)l_{\text{рп}}h_{\text{ср}},$$

где M – ширина междупутья на раздельном пункте; n – число путей на раздельном пункте; $l_{\text{рп}}$ – длина площадки раздельного пункта, м; $h_{\text{ср}}$ – средняя рабочая отметка продольного профиля на станции, м.

Дополнительные работы принимаются в размере 10 % от объема земляных работ по сооружению железнодорожного полотна главного пути.

Объем земляных работ, определенный по продольным профилям, составленным с использованием карты или плана в горизонталях, имеют отклонение в сторону занижения объемов, подсчитанных по натурным изысканиям. Причиной является недостаточная точность отражения на картах микрорельефа. Поэтому для объемов, вычисленных по камеральным профилям, вводятся поправочные коэффициенты, зависящие от категории дороги и категории сложности строительства.

Разработка модуля начинается с формирования базы данных (БД). В данном случае была использована база данных *MySQLWorkbench*.

Таблица для хранения данных об объемах земляных работ *ground_work* была создана в схеме *volume_ground_work*. Таблица состоит из четырех полей:

- *idground_work* – целочисленный идентификатор с первичным ключом;
- *average_working_grade* – средняя рабочая отметка, м;
- *embankment* – объем земляных работ насыпи, тыс. м³;
- *excavation* – объем земляных работ выемки, тыс. м³.

Общий вид таблицы представлен на рисунке 1.

Столбцы последовательно заполняются значениями. Сформированная таблица представлена на рисунке 2.

Разработка программного модуля осуществлялась на объектно-ориентированном языке C# в среде *Microsoft Visual Studio 2022*. Интерфейс приложения построен с использованием технологии *Windows Forms*.

В модуле реализованы такие необходимые функции:

- выбор данных из БД;
- автоматизация расчета объёмов земляных работ в таблице при изменении средней рабочей отметки или длины участка;
- определение объемов земляных работ всего по участку и в среднем на 1 км.

Для того, чтобы реализовать функцию, которая будет выбирать данные из БД нужно подключить ее. Реализация происходит путем установки расширений, добавления библиотек *MySQL* и строки подключения БД:

```
string connectionString = "Server=localhost;Database=volume_ground_work;User ID=root; Password=root;"
```

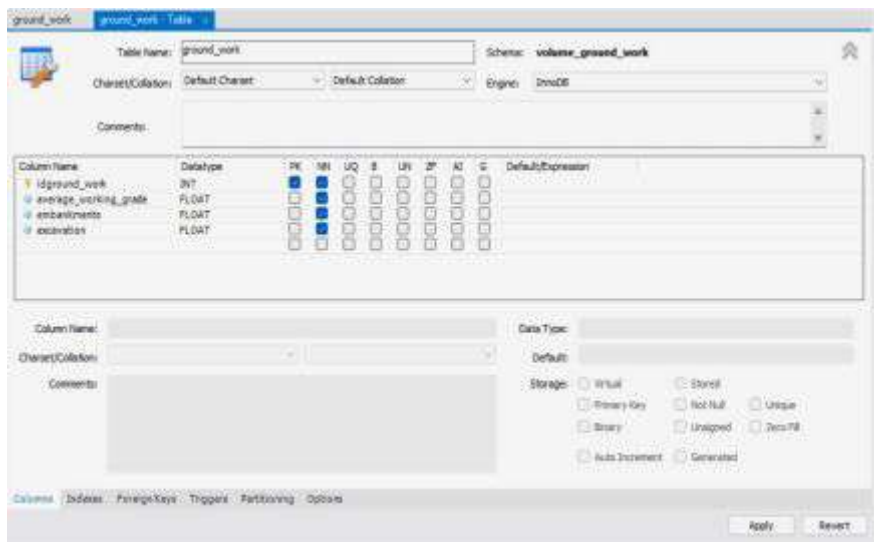


Рисунок 1 – Интерфейс таблицы для расчета объема земляных работ

	idground_work	average_working_grade	embankments	excavation
1	1	0.25	2.5	3.2
2	2	0.5	4.6	6.2
3	3	0.75	6.8	9.3
4	4	1	9.2	12.7
5	5	1.25	11.8	16.2
6	6	1.5	14.6	20
7	7	1.75	17.5	23.9
8	8	2	20.7	28
9	9	2.25	24	32.3
10	10	2.5	27.6	36.8
11	11	2.75	31.3	41.4
12	12	3	35.2	46.3
13	13	3.25	39.3	51.2
14	14	3.5	43.6	56.6

Рисунок 2 – Колонки таблицы со статистическими данными

Функция *GetVolumePerKm* выполняет выборку из таблицы *ground_work* в базе данных *volume_ground_work* и возвращает значение объема земляных работ (насыпи или выемки) на километр. Она производит поиск в БД запись, где средняя рабочая отметка *average_working_grade* находится в пределах допустимого диапазона, и возвращает соответствующее значение.

Листинг функции *GetVolumePerKm* следующий.

decimal *GetVolumePerKm*(decimal grade)

```
{// Строка подключения к базе данных MySQL
    string connectionString = "Server=localhost;Database=volume_ground_work; User
    ID=root;Password=root;";
```

```

// Открытие соединения
using (MySqlConnection conn = new MySqlConnection(connectionString))
{
    conn.Open();
    // Определяем, какой столбец использовать:
    // embankments – для насыпи, excavation – для выемки
    string targetColumn = grade >= 0 ? "embankments" : "excavation";
    decimal absGrade = Math.Abs(grade);
    // Допуск для поиска ( $\pm 0.01$ )
    decimal tolerance = 0.01m;
    // SQL-запрос
    string query = $"
        SELECT {targetColumn}
        FROM ground_work
        WHERE average_working_grade BETWEEN @min AND @max
        LIMIT 1";
    using (MySqlCommand cmd = new MySqlCommand(query, conn))
    {
        cmd.Parameters.AddWithValue("@min", absGrade - tolerance);
        cmd.Parameters.AddWithValue("@max", absGrade + tolerance);
        // Выполняем запрос и получаем одно значение
        var result = cmd.ExecuteScalar();
        return result != null ? Convert.ToDecimal(result) : 0;
    }
}

```

Метод *dataGridView_CellEndEdit* автоматически получает значения в таблице после редактирования: берет введенную среднюю рабочую отметку, определяет по ее характерному значению (насыпь или выемка) объем земляных работ на километр и записывает его в ячейку, затем умножает на длину участка, чтобы получить общий объем. Если изменяется именно длина, то расчет выполняется заново, чтобы итоговые данные всегда оставались актуальными.

Листинг *dataGridView_CellEndEdit*:

```

private void dataGridView1_CellEndEdit_1(object sender, DataGridViewCellEventArgs e)
{
    // Получение текущей строки
    var row = dataGridView1.Rows[e.RowIndex];
    string rawGrade = row.Cells["workGrade"].Value?.ToString()?.Replace(" ",
    "").Replace(',', '.');
    // Преобразование строки в число
    if (decimal.TryParse(rawGrade, NumberStyles.Any, CultureInfo.InvariantCulture, out decimal signedGrade))
    {
        decimal volumePerKm = GetVolumePerKm(signedGrade);
    }
}

```

```

row.Cells["volumePerKm"].Value = volumePerKm;
//Получение длины участка
string rawLength = row.Cells["length"].Value?.ToString()?.Replace(" ", "").Replace(',', '.');
if (decimal.TryParse(rawLength, NumberStyles.Any, CultureInfo.InvariantCulture, out
decimal length))
{
    // Расчет общего объема работ
    row.Cells["volumePlot"].Value = volumePerKm * length;
}
if (e.ColumnIndex == row.Cells["length"].ColumnIndex)
{
    // Пересчет общего объема работ
    string rawLength = row.Cells["length"].Value?.ToString()?.Replace(" ", "").Replace(',', '.');
    string rawVolume = row.Cells["volumePerKm"].Value?.ToString()?.Replace(" ",
    "").Replace(',', '.');
    if (decimal.TryParse(rawLength, NumberStyles.Any, CultureInfo.InvariantCulture, out
    decimal length) &&
        decimal.TryParse(rawVolume, NumberStyles.Any, CultureInfo.InvariantCulture, out
    decimal volumePerKm))
    {
        row.Cells["volumePlot"].Value = volumePerKm * length;
    }
}
}
}

```

Результат работы модуля представлен на рисунке 3.

№ участка	Площадь участка, м²	Средняя рабочая ширина, м	Объем на 1 км	Объем на участок
1	9500	3.75	32	31900
2	1	42.5	27.6	27.6

Рассчитать

Всего по участку: 32.00 м³
В среднем на 1 км: 39.57 м³

Рисунок 3 – Результат работы модуля

Предиктивный анализ при известных объемах земляных работ – это мощный инструмент для оптимизации строительных проектов. Он переводит планирование с уровня «по опыту» на уровень вычислений, основанный на данных и вероятностях.

Основные цели предиктивного анализа:

- 1) прогноз сроков и производительности;
- 2) прогноз затрат и бюджета;
- 3) оптимизация логистических аспектов и ресурсов с выбором строительной техники, топлива, людей в каждый момент времени.

4 Оценка и управление рисками, когда могут быть некорректные исходные или ошибочные данные, сбои в работе программных модулей и др.

Ключевые шаги и методы анализа.

1 Анализ входных данных и факторов влияния: на основе известного объема рассматриваются переменные, которые определяют скорость и стоимость работ.

2 Построение прогнозных моделей:

а) детерминированных (базовый уровень) с определением:

– продолжительности выполнения работ

$$T_{\text{раб}} = V / P,$$

где V – объем работ, м^3 ; P – производительность строительной техники, $\text{м}^3/\text{ч}$;

– стоимости работ

$$C = V c_{\text{уд}},$$

где $c_{\text{уд}}$ – удельная стоимость 1 м^3 ;

б) вероятностных, которые позволяют проводить предиктивный анализ с оценкой влияния каждого фактора по некоторому распределению вероятностей;

в) регрессионного анализа и машинного обучения, при которых по имеющейся базе выполненных ранее проектов можно построить более сложные модели, которые выявляют скрытые зависимости.

3 Визуализация и интерпретация вычислений по предиктивному анализу с выдачей результатов на дашборды и графики, где показываются диапазоны возможных траекторий реализации проекта, определяются влияющие факторы с наибольшей неопределенностью в итоговый срок или стоимость и др.

Предиктивный анализ при таком подходе превращает статическую величину объема земляных работ в динамическую структуру данных с широким спектром детерминированных и вероятностных оценок, представляет пространство взаимозависимых параметрических характеристик, которые функционируют как сложная система адаптивных величин, выходящая на оптимальный результатный режим при изменении исходных значений.

I. P. DRALOVA, A. O. KORNEENKO

AUTOMATION OF EARTHWORK VOLUME CALCULATIONS AT RAILWAY STATIONS AND SECTION LINES

The paper presents an approach to creating a software module for the automatic calculation of earthwork volumes, which allows improving the accuracy of results, productivity, economic efficiency, and so on. The use of predictive analysis for known volumes of earthwork makes it possible to optimize the implementation of construction projects at railway stations.

Получено 01.10.2025

УДК 656.21

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

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

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ДОСТАВКЕ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ РАЗЛИЧНЫХ СОБСТВЕННИКОВ

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

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

Вышеперечисленные обстоятельства порождают потребность в разработке методического обеспечения, учитывающего не только детерминированную, но и случайную составляющую в процессах выполнения технологических операций на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования. В связи с этим предлагается методическое обеспечение расчета параметров железнодорожного транспорта, базирующееся на детерминированных и недетерминированных целевых функциях, учитывающих наличие сетевых и частных перевозчиков и системный подход к поставке продукции между станциями отправления и назначения, а также транзитными [2].

Детерминированная целевая функция

П е р в ы й в а р и а н т. Порожние вагоны различной формы собственности могут подаваться из-под выгрузки под погрузку с грузовых комплексов как общего, так и необщего пользования. Кроме того, рассматриваемые

порожние вагоны могут прибывать по регулировочному заданию из других регионов, проследуя при этом достаточно большие расстояния. Регулирование порожних вагонов операторских компаний и других собственников может осуществляться с участием экспедиторских организаций и компаний, что порождает дополнительные посреднические операции как по стоимости, так и по оперативности их выполнения. При этом существовавшая железнодорожная система организации вагонопотоков, включая регулирование порожних вагонов многих собственников, сохранилась и в полной мере не адаптировалась к новым условиям хозяйствования по причине участия экспедиторских организаций и компаний, а также появления достаточно большого количества собственников вагонов, которые преследуют другие цели и имеют иные критерии оценки своей деятельности, например, получение максимальной выгоды.

Переход в ряде стран от вагонов железных дорог к приватным имеет как преимущества, так и недостатки. В частности, была введена плата как за пользование вагонами железной дороги, так и за нахождение приватного подвижного состава на инфраструктуре перевозчика. При этом предполагалось, что приватные вагоны, включая собственные предприятий и арендованные, могут использоваться как склад на колесах, что приведет к уменьшению количества грузовых операций и при погрузке-выгрузке, и на складах общего и необщего пользования. Вышеперечисленные изменения требуют корректировки нормативно-правовой базы, технологических процессов и разработки соответствующего методического обеспечения для расчета их технологических и технических параметров.

Вагоны различных собственников после выгрузки у грузополучателей должны следовать в порожнем состоянии к грузоотправителям под погрузку. Вопросы регулирования порожних вагонов рассматриваются с участием посреднических экспедиторских организаций и содержат в себе элемент случайности, обусловленный во многом большим количеством участников в лице как перевозчиков, так и участников в процессах нахождения перевозочных средств в состоянии покоя или движения. В конечном итоге они будут следовать в определенных направлениях группами в соответствии с заявками на перевозку.

За перевозку приватного подвижного состава взывается провозная плата за каждый вагон. В этих условиях возникает задача: до каких пределов накапливать группу вагонов, чтобы издержки в процессе накопления были как минимум сопоставимыми с затратами на доставку рассматриваемой группы до одного или нескольких получателей. Для детерминированной модели накопление в пункте отправления будет в простейшей ситуации осуществляться по закону треугольника (рисунок 1).

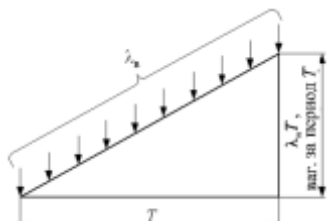


Рисунок 1 – Графическое изображение процесса накопления вагонов на станции

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

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

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

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

Аналогично в пункте назначения

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

Общие издержки, руб. за период T ,

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

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

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

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

$$C_T^h = I_{пор}^o + L_{пор}^o, \quad (5)$$

$I_{пор}^o$, $L_{пор}^o$ – соответственно инфраструктурная и локомотивная составляющие тарифа.

В соответствии с действующими на Белорусской железной дороге нормативами величина C_T^h определяется на основании уравнения

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

где $L_{тр}$ – тарифное расстояние при перевозке груза, км; $\alpha_{пор}$ – коэффициент порожнего пробега вагона.

После преобразования получаем

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

С учетом вышеизложенного целевая функция будет иметь вид

$$F(T) = C_{вч}^{пр} \lambda_v T^2 + C_T^h \lambda_v T. \quad (8)$$

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

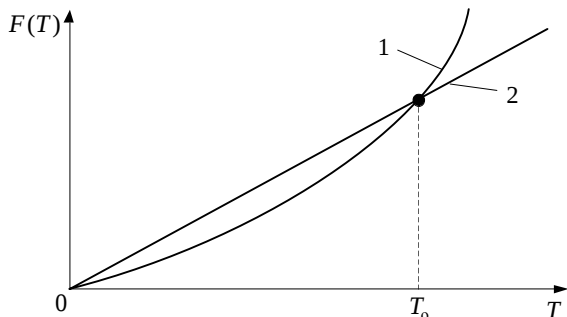


Рисунок 2 – Графическое изображение элементов целевой функции

Приравнивая первый и второй элементы целевой функции, получаем

$$C_{вч}^{пр} \lambda_{в} T_0^2 = C_{т}^н \lambda_{в} T_0. \quad (9)$$

Из уравнения (9) находим оптимальное значение T_0 :

$$T_0 = C_{т}^н / C_{вч}^{пр}, \quad (10)$$

или в развернутом виде

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

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

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

$$K_{mL} = 1,000 \left(0,998 + \frac{0,04}{\lambda_{в} T_0} - 0,0014 \lambda_{в} T_0 \right) (9,1 \cdot 10^{-9} L_{пор}^2 - 5,4 \cdot 10^{-5} L_{пор} + 1,0471), \quad (12)$$

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

Графическое изображение аналитической зависимости (12) приведено на рисунке 3. С учетом формулы (12) уравнение (9) преобразуется следующим образом:

$$C_{вч}^{пр} \lambda_v T_0^2 = C_T^H \lambda_v T_0 K_{mL}. \quad (13)$$

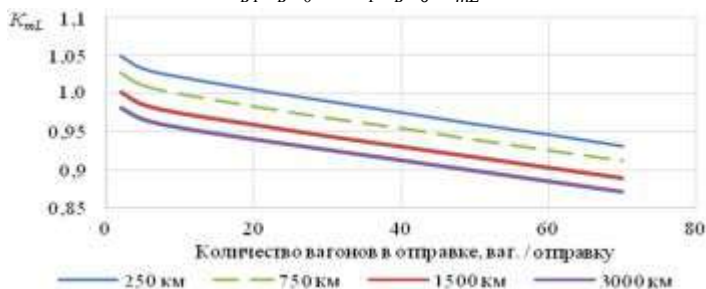


Рисунок 3 – Графическое изображение аналитической зависимости (12)

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

$$T_0 = \frac{0,998 \frac{C_T^H}{C_{вч}^{пр}} A + \sqrt{0,996228 \left(\frac{C_T^H A}{C_{вч}^{пр}} \right)^2 + \frac{0,16 C_T^H}{\lambda_v C_{вч}^{пр}} A \left(1 + 0,0014 \frac{\lambda_v C_T^H A}{C_{вч}^{пр}} \right)}}{2 \left(1 + 0,0014 \frac{\lambda_v C_T^H A}{C_{вч}^{пр}} \right)}, \quad (14)$$

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

Недетерминированная целевая функция.

В основу рассматриваемой недетерминированной целевой функции закладываются аналогичные экономические величины: $C_{вч}^{пр}$ и C_T^H , где C_T^H – ставка за группу-ч в рублях. Рассчитанное оптимальное значение $T_{сл}$ рассматриваемой функции не будет совпадать с T_0 для детерминированного процесса.

Величина $T_{сл}$ рассчитывается на основании вероятностного процесса из условия «что лучше, чтобы вагоны стояли или приносили доходы?». В этом состоит смысл решения данной задачи. Для отстоя вагонов требуется соответствующее путевое развитие. В связи с этим $T_{сл}$ используется для расчета коэффициента неравномерности $K_H = 1 / \rho$,

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

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

Выводы.

1 Тарифная ставка C_T^H зависит от расстояния следования порожнего вагона грузоотправителя (грузополучателя): $C_T^H = f(L_{\text{пор}})$. По формулам (11) и (13) рассчитывается оптимальное значение периода накопления T_0 для детерминированного процесса перевозочного процесса.

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

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

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

5 Продолжительность накопления партии $T_{\text{сл}}$ рассчитывается с учетом неравномерности потока вагонов, которая основана на спросе на производимый товар и находит свое отражение в контракте на поставку. Данная особенность учитывается с помощью формул теории массового обслуживания, где неравномерность спроса и продолжительности обслуживания характеризуется соответствующими коэффициентами вариации.

6 Используя интервалы взаимодействия $T_{\text{сл}}$ между модулями функциональной модели процесса движения вагонпотоков различной принадлежности в станционной и узловой системе путей общего и необщего пользования появляется возможность рассчитать оптимальные технические и технологи-

ческие параметры рассматриваемого комплекса, обеспечивающего максимум погрузки готовой продукции по прямому варианту «производство – вагон».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Еловой, И. А. Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : монография / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

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

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

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

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

Получено 17.05.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.21:625.11

И. А. ЕЛОВОЙ, С. А. ПЕТРАЧКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены теоретические основы формирования транспортно-логистических систем в современных условиях, выявлены причины необходимости новых подходов к проектированию железнодорожной инфраструктуры, предложены основные требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций общего и необщего пользования в условиях наличия вагонов различной принадлежности.

1 Теоретические основы разработки требований к проектированию путевого развития железнодорожных станций в транспортных узлах. В условиях глобализации развития мировой экономики транспортный комплекс государств следует рассматривать с точки зрения функционирования транспортно-технологических систем различных видов при доставке матери-

альных ресурсов и конечной готовой продукции соответственно между элементами международных сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых систем [1, с. 8].

Прогнозируется дальнейшее развитие мирохозяйственных связей, обусловленных появлением международных союзов, общих рынков, содружеств и сообществ [1, с. 13]. В данных условиях возникает ряд проблем, связанных с развитием транспортного комплекса на основе инновационного формирования транспортно-логистической системы Республики Беларусь и учитывающих износ транспортной инфраструктуры до критического уровня [1, с. 15].

В последние десятилетия в развитии железнодорожного транспорта происходят структурные изменения в отрасли с учетом рыночных отношений и изменения форм собственности в отношении принадлежности вагонов, локомотивов и инфраструктуры. В частности, на железнодорожном транспорте стран Западной Европы и США железным дорогам принадлежит небольшая часть общего парка вагонов. Например, в большинстве случаев железные дороги эксплуатируют только цистерны. Наличие парка частных вагонов позволяет обеспечить тесную взаимосвязь грузовых вагонов с промышленностью, где наибольший эффект образуется при использовании специализированных вагонов, которые учитывают физико-химические свойства продукции, обеспечивают механизацию и автоматизацию погрузочно-разгрузочных работ, а также сохранность перевозимых грузов и исключить за счёт этого загрязнение окружающей среды. Аналогичные тенденции наблюдаются в странах СНГ [2], где развитие их экономик требует новых подходов к проектированию железнодорожной инфраструктуры с учётом мировых тенденций по следующим причинам:

1 Изменилась структура производства в связи с необходимостью выпуска широкой номенклатуры конечной готовой продукции для удовлетворения индивидуальных потребностей её покупателей, что требует новых подходов к производственным и распределительным процессам на основе принципов и правил логистики, которые находят реализацию в международных и внутригосударственных сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах.

2 Адаптировалась структура вагонного и контейнерного парков, в том числе по принадлежности, с учётом требований производственных и распределительных процессов в связи с увеличением номенклатуры как материальных, так и товарных ресурсов.

3 Увеличилось расстояние перевозки грузов в связи с удалённостью природных ресурсов от мест производства, например, комплектующих изделий, полуфабрикатов и конечной готовой продукции, а также реализация и потребление последней. Данное положение требует уменьшения продол-

жительности доставки и минимизации транспортно-логистических издержек за счёт использования недорогих способов перевозки и внедрения эффективных мультимодальных схем транспортирования ресурсов, учитывающих преимущества участвующих в них видов транспорта.

4 Усилились экологические требования к способам доставки с целью уменьшения загрязнения окружающей среды, где железнодорожный транспорт занимает достойное место не только по затратам на перевозку, но и в части сохранения природной среды.

Производственные и распределительные элементы вышеуказанных сложных логистических систем соединяют логистические цепи движения материальных ресурсов и конечной готовой продукции, которые находят свою реализацию в логистических потоках: товарных, грузовых, информационных, финансовых и сервисных. Данные потоки могут находиться в состоянии движения или покоя.

Применительно к железнодорожному транспорту в состоянии покоя находятся вагонопотоки на железнодорожных станциях различных типов, в транспортных узлах, где осуществляются концентрация и распределение данных потоков, их пересечение. В свою очередь технические станции (сортировочные, участковые и др.) соединяются между собой с помощью железнодорожных участков, по которым перемещаются поезда различных видов.

Рассмотрение участия в схемах доставки пунктов концентрации-распределения (железнодорожных станций различных типов) и участков, их соединяющих, с позиций системного подхода позволяет решать задачи, связанные с повышением эффективности транспортных процессов, так как они комплексно исследуются во взаимодействии с производственными и снабженческо-сбытовыми технологиями, учитывая в результате индивидуальные физико-химические свойства производимой продукции и требования грузоотправителей (грузополучателей) на элементах структурированных логистических цепей движения ресурсов в рассматриваемых сложных логистических системах. В итоге разрабатываются правила перевозок грузов, перевозимых на особых условиях, которые учитывают вышеуказанные требования.

Следовательно, наибольший эффект может быть достигнут на использовании рассмотренного подхода в интеллектуальных технологиях, базирующихся на искусственном интеллекте и системной цифровизации производственно-транспортных и транспортно-сбытовых процессах. Предлагаемый подход требует также развития инфраструктуры коммуникаций железнодорожных станций и транспортных узлов в соответствии с вышеизложенными принципами и правилами, которые следует рассматривать с учётом требований сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых систем.

2 Основные требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций в транспортных узлах. Проектирование путевого

развития железнодорожных станций в транспортных узлах базируется на анализе существующих и прогнозировании перспективных вагоно- и поездопотоков, которые рассчитываются на основе товаро- и грузопотоков в сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах, элементы которых соединяют логистические цепи движения материальных ресурсов и конечной готовой продукции.

Обобщение работы Российских железных дорог в условиях наличия вагонов различных собственников показало, что:

- в последние годы на РЖД наблюдается рекордное простаивание порожних вагонов грузоотправителей, грузополучателей, включая вагоны операторских компаний, что составляет от 100 до 300 тыс. единиц по отдельным обслуживаемым отраслям;

- существующие проблемы обусловлены недостатками в организации работы РЖД, как последствия её структурной реорганизации, что не позволяет обеспечить бесперебойную работу всей сети железных дорог России, включая уменьшение погрузки грузов на 9–10 % в последние годы;

- дисбаланс между численностью вагонного парка и пропускной способностью инфраструктуры, включая потребность в путевом развитии для отстоя грузовых вагонов операторских компаний по причинам неравномерного спроса и условий эксплуатации данного подвижного состава, в том числе за счёт отсутствия эффективной системы регулирования таких вагонов из-под выгрузки под погрузку;

- с целью уменьшения дисбаланса между численностью вагонного парка и пропускной способностью инфраструктуры РЖД ввели ограничения на прием к перевозке порожних вагонов операторских компаний и их движение по сети Российских железных дорог. В результате убранные с инфраструктуры РЖД вагоны операторских компаний оказались на путях необщего пользования промышленных предприятий и вагоноремонтных депо (заводов), что привело к затруднениям в работе последних по причине занятости выставочных и технологических путей необщего пользования.

Аналогичные проблемы существуют и на Белорусской железной дороге:

а) структурные проблемы связаны с четырёхзвенной системой управления железнодорожным транспортом: «станции – отделение – управление Белорусской железной дороги – Министерство транспорта и коммуникаций». Эта проблема требует своего решения в части взаимодействия с клиентами железнодорожного транспорта, операторскими компаниями грузовых вагонов и структурными подразделениями внутри Белорусской железной дороги, так как на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь парк вагонов включает в свой состав собственные вагоны промышленных предприятий и других организаций, арендованный подвижной состав, вагоны операторских грузовых компаний и вагоны Белорусской железной дороги;

б) инфраструктурные проблемы обусловлены изменением специализации и уменьшением путевого развития железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, связаны со снижением объемов перевозимых грузов в вагонах перевозчика и других собственников, а также ухудшением их эксплуатационных показателей;

в) наличие вагонов операторских компаний и других собственников привело к аналогичным проблемам, как и на Российских железных дорогах. Причём прибывающие материальные ресурсы в вагонах операторских компаний находятся достаточно длительное время (до 72 часов и более) на путях как необщего, так и общего пользования, что требует дополнительного путевого развития в условиях снижения объемов перевозок грузов.

Вышеприведённый анализ инфраструктурных проблем на железнодорожном транспорте Беларуси и России следует использовать как при расчёте суммарного парка вагонов различных собственников, так и при определении количества подвижного состава при перевозке грузов на особых условиях. При этом значительное внимание должно уделяться расчёту путевого развития на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования, включая потребности в пропускных способностях на станциях и перегонах, их соединяющих. Достаточно подробно исследованы и предложены методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования в монографии [3], включая расчёт путевого развития для временного размещения вагонов грузоотправителей (грузополучателей). Однако вопросы перевозочного процесса и расчёта путевого развития для отстоя подвижного состава для грузов, перевозимых на особых и других условиях, не исследовались. В частности, перевозки негабаритных грузов различной степени негабаритности; опасных грузов; живности; скоропортящихся грузов и др.

В результате выполненных исследований, обобщения опыта и разработки единых технологических процессов взаимодействия железнодорожных станций с путями необщего пользования за последние десятилетия, предлагаются следующие требования к проектированию путевого развития железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

1 В основу проектных решений следует закладывать перспективные грузо- и вагонопотоки, которые рассчитываются на основе материальных ресурсов и конечной готовой продукции (товарах) в пределах международных и внутригосударственных сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах. Причём конкретно для железнодорожного транспорта объёмы перевозок грузов определяются на основе эффективных схем доставки грузов с участием в них железной дороги. Кроме этого, при оценке эффективности таких схем доставки учитываются физико-химические свойства транспортируемых грузов в условиях их перевозок (негабаритные, опасные и др.). Потребность в вагонах для доставки продукции определяется с учётом рода подвижного состава (крытый, полувагоны, платформы, цистерны,

минераловозы и другие специализированные вагоны) и его принадлежности (Белорусской железной дороге, арендованные, собственные вагоны предприятий, принадлежащие операторским компаниям).

2 Путевое развитие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования должно рассчитываться на основе перспективных вагоно- и поездопотоков и обеспечивать реализацию эффективных схем доставки материальных ресурсов и конечной готовой продукции в соответствии с требованиями международных и внутригосударственных сложных логистических производственно-транспортных и транспортно-бытовых систем. К основным параметрам эффективных схем доставки относятся:

- величина отправки, которая в зависимости от интенсивности грузопотока и расстояния перевозки может быть контейнерной, повагонной, групповой и маршрутной;

- продолжительность доставки груза от грузоотправителя до грузополучателя;
- уровень сохранности перевозимых грузов и др.

3 Схема доставки груза с использованием железнодорожного транспорта является базовым модулем, так как:

а) учитывает индивидуальные особенности перевозимых грузов, включая транспортирование материальных ресурсов или конечной готовой продукции на особых условиях; определяет оптимальную величину отправки и тем самым интервал между требованиями, позволяющий рассчитать эффективный уровень пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных объектов с учётом неравномерности поступающих требований в обслуживающее устройство и неодинаковой продолжительностью их обслуживания;

б) обеспечивает эффективное взаимодействие рынков товарного и транспортного, которое характеризуется следующими параметрами:

- объём спроса на производимую продукцию – объём перевозок и соответствующая ему потребность в перевозочных средствах (контейнерах, вагонах и др.), а также наличие необходимой пропускной или перерабатывающей способности железнодорожных станций и соединяющих их участков;

- цена производимой продукции (провозные платежи, включающие тариф и платы за дополнительно оказываемые услуги);

- цикл производства и реализации продукции (продолжительность доставки груза от грузоотправителя до грузополучателя);

- обеспечение неизменности качества поставляемой продукции (обеспечение сохранности доставляемого груза);

- необходимый уровень сервисного обслуживания поставляемого товара (потребный уровень транспортно-экспедиционного обслуживания в процессе доставки груза);

в) объединяет в единое целое на основе перспективных вагоно- и поездопотоков создаваемые элементы инфраструктуры, включая железнодо-

рожные станции в транспортных узлах, что позволяет рационально распределить инвестиции в проектируемые объекты и минимизировать за счёт этого количество ограничивающих («узких») элементов, имея оптимальный резерв перерабатывающей и пропускной способности на железнодорожных направлениях перевозки. В результате запроектированная и построенная инфраструктура будет обеспечивать надёжную перевозку грузов и выполнение их сроков доставки;

г) позволяет учитывать многообразие способов размещения и крепления грузов, перевозимых на подвижном составе, в том числе на особых условиях, и их индивидуальные отличия, и при этом рассчитывать:

- межоперационные простои и случайную составляющую (риски) в продолжительности доставки продукции;

- оптимальную загрузку системы транспортного обслуживания в пределах схемы доставки груза, которая не должна превышать аналогичный показатель инфраструктуры в целом на рассматриваемом направлении. В случае невыполнения данного условия появляется возможность разработать конкретные мероприятия для рассматриваемой схемы доставки в соответствии с отклонениями по рассчитываемым показателям.

4 Наличие вагонов, контейнеров и других перевозочных средств различной принадлежности привело к увеличению их порожнего пробега, а отсутствие эффективной системы регулирования подвижного состава из-под выгрузки под погрузку породило их дополнительный простой в начально-конечных пунктах с занятием путей как общего, так и общего пользования. Сложившееся положение вызывает необходимость разработки дополнительных требований к расчёту и проектированию путевого развития как на подъездных путях промышленных предприятий, так и на станциях их примыкания с учётом следующих особенностей:

а) пути для временного размещения вагонов грузоотправителей (грузополучателей) не должны быть заняты выполнением технологических операций. Для их отстоя целесообразно проектировать дополнительные выставочные пути в непосредственной близости от фронтов погрузки-выгрузки продукции в данный подвижной состав, что позволит уменьшить продолжительность времени на перезарядку грузовых фронтов, сокращая объем маневровой работы, а также создать условия для погрузки продукции по прямому варианту «производство – вагон». В результате появляется возможность сократить одну грузовую операцию и улучшить сохранность отдельных грузов за счёт исключения одной перегрузки. Выполнение данного условия позволит рационально использовать вагоны грузоотправителя (грузополучателя) при их простое в качестве склада на колёсах;

б) при невозможности организации отстоя вагонов грузоотправителя (грузополучателя) на выставочных путях в непосредственной близости от грузовых фронтов пути для временного размещения рассматриваемого подвижного состава следует проектировать в маневровых районах, которые обслуживают несколько грузовых фронтов и размещаются между ними и

заводской станцией или станцией примыкания. Данный вариант проигрывает предыдущему месту размещения вагонов грузоотправителя (грузополучателя) по продолжительности цикла выполнения маневровых операций у грузовых фронтов, что требует применения дополнительных маневровых средств (маневровых лебёдок, других маневровых устройств для перестановки вагонов с выставочных путей к грузовым фронтам и др.);

в) возможны также другие варианты размещения путей для отстоя вагонов грузоотправителей (грузополучателей): на заводской станции или станции примыкания путей необщего пользования; на других станциях в транспортных узлах для обслуживания рассматриваемыми вагонами нескольких станций примыкания путей необщего пользования. Однако в этих вариантах будет возникать дополнительный объём маневровой работы и соответствующий ему пробег вагонов и маневровых локомотивов. В связи с этим при проектировании нового путевого развития необщего пользования, пути для временного размещения вагонов целесообразно размещать, в первую очередь, совместно с выставочными путями, а затем в следующей очередности – в маневровом районе или непосредственной близости от станции заводской.

Предлагаемый подход к расчёту параметров технического оснащения [3], включая определение путевого развития для размещения вагонов грузоотправителей (грузополучателей), позволит создавать инновационные проекты по развитию железнодорожных объектов, обеспечивая при этом сохранность перевозимой продукции и выполнение сроков доставки грузов, минимизируя транспортно-логистические издержки как в начально-конечных пунктах, так и в пути следования на железнодорожных станциях и в целом в транспортных узлах.

Особое значение при этом имеет принадлежность вагонов, так как существующая инфраструктура железнодорожного транспорта была создана для плановой экономики, где все вагоны принадлежали железным дорогам и имели статус вагонов общего пользования. Для данных условий была создана эффективная система регулирования порожних вагонов из-под выгрузки под погрузку: порожние универсальные вагоны следовали без заключения договоров перевозки и оплаты за перевозку; порожний пробег вагонов, с помощью коэффициента порожнего пробега, был включён в тариф за перевозку предыдущего груза; порожние вагоны в основном следовали небольшими группами. В соответствии с данными условиями была создана эффективная система диспетчерского регулирования порожних вагонов из-под выгрузки под погрузку, которая в полной мере не адаптирована к функционированию железнодорожного транспорта при наличии вагонов различной принадлежности (операторских компаний, арендованных, собственных предприятий, железной дороги). В результате порожние «приватные» вагоны, в первую очередь операторских компаний, простаивают в ожидании распоряжений в начально-конечных пунктах.

Следует отметить, что особые условия перевозки и дополнительные операции, возникшие на пространстве СНГ после распада Советского Союза, порождают также дополнительные простои груженого и порожнего подвижного состава в начально-конечных пунктах и в пути следования:

- задержки для выполнения таможенного, ветеринарного, карантинного и других видов контроля;

- увеличение срока доставки на одни сутки при передаче грузов организации, оказывающей транспортно-экспедиционные услуги, или обратно;

- увеличение срока доставки на одни сутки на каждую инфраструктуру железнодорожного транспорта общего пользования при перевозке грузов, порожних вагонов грузоотправителей (грузополучателей) с участием нескольких инфраструктур и др.

Данные дополнительные простои увеличивают оборот вагонов различной принадлежности и требуют дополнительного путевого развития железнодорожных станций различных типов. Данные обстоятельства также не нашли должного отражения в нормативных документах по проектированию железнодорожных станций в транспортных узлах.

Таким образом, на современном этапе развития экономики происходит переход к выпуску обширной номенклатуры товаров, что порождает их производство с использованием гибких технологий, специализацию подвижного состава сокращение транспортно-логистических издержек на счёт применения принципов и правил логистики. В этих условиях перевозочные средства в транспорте передаются в частную собственность, которые имеют свои преимущества и недостатки. В частности, увеличение парка вагонов грузоотправителей (грузополучателей) ухудшает их эксплуатационные показатели по сравнению с подвижным составом общего пользования в период плановой экономики. Однако наличие парка вагонов грузоотправителей (грузополучателей) позволяет реализовать принципы и правила логистики в производственно-транспортных и транспортно-сбытовых системах, обеспечивая поставку материальных ресурсов и конечной готовой продукции в нужном количестве и нужном качестве в нужное место в нужное время для нужного потребления и наилучшими затратами. Для реализации данных правил следует изменить требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций в транспортных узлах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Медведев, В. Ф.* Логистические системы в реализации стратегии национального суверенитета / В. Ф. Медведев, И. А. Еловой ; под науч. ред. П. Г. Никитенко // Институт экономики НАН Беларуси. – Минск : Право и экономика, 2023. – 146 с. – Серия: Мировая экономика.

2 *Еловой, И. А.* Современные тенденции рынка железнодорожных грузовых перевозок : монография / И. А. Еловой, В. В. Ясинский, М. М. Колос. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 210 с.

З Еловой, И. А. Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : монография / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

4 СП 119.13330.2024 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм». – М-во строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Изд. официальное. – М., 2024. – 223 с.

I. A. ELOVOY, S. A. PETRACHKOV

BASIC REQUIREMENTS FOR DESIGNING THE TRACK DEVELOPMENT OF RAILWAY STATIONS IN TRANSPORT CONNECTIONS MODERN CONDITIONS

The theoretical foundations of the formation of transport and logistics systems in modern conditions are considered, the reasons for the need for new approaches to the design of railway infrastructure are identified, and the basic requirements for designing the track development of railway stations of general and non-general use in the presence of wagons of various ownership are proposed.

Получено 26.10.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.224

A. A. ЕРОФЕЕВ, ХЭ ХУН

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

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ

Определена актуальность задачи моделирования пассажиропотоков в транспортных пересадочных узлах (ТПУ). Формализован процесс обслуживания пассажиров при входе в ТПУ. Установлены возможные виды очередей на обслуживание пассажиров и систематизированы фазы обслуживания в зависимости от видов. Установлены аналитические зависимости определения времени нахождения пассажиров в очереди. Предложена блок-схема моделирования пассажиропотоков в ТПУ.

В связи с быстрым развитием экономики Китая и постоянным улучшением уровня жизни населения возрастают требования к безопасности перевозок, разнообразию и качеству транспортных услуг, уровню обслуживания пассажиров в транспортных средствах и в транспортных пересадочных узлах (ТПУ). Высокоскоростные и междугородние поезда стали предпочтительными видами транспорта для многих пассажиров.

Железнодорожный транспорт обслуживает большие объемы пассажиропотоков, что в отдельные периоды времени (крупные праздники, выходные дни и др.) может вызывать переполнение станций, возникновение избыточных очередей, а в некоторых случаях ведет к инцидентам, связанным с нарушением безопасности перевозок и обслуживания пассажиров. Поэтому при проектировании ТПУ особое внимание следует уделять безопасности, комфорту и беспрепятственному движению пассажиров.

Повышение качества обслуживания на станциях, снижение рисков безопасности и достижение «доступа без очередей» стали ключевыми целями для обслуживания пассажиров при въезде на железнодорожные станции. Проверка документов (идентификация пассажиров) и досмотр перед поездкой службами безопасности часто являются двумя самыми длительными этапами и характеризуются длинными очередями. Разумное расположение объектов для проведения этих операций позволит улучшить транспортное обслуживание пассажиров [1–6].

В данной статье рассмотрен процесс моделирования нахождения пассажиров в очередях на этапах идентификации и досмотра службами безопасности.

Процесс входа пассажиров в ТПУ в общем виде включает шесть этапов: покупка билета, проверка документов и идентификация, досмотр службами безопасности, ожидание поезда, проверка билета и посадка в поезд [7]. Разные процедуры въезда необходимо выполнять на различных объектах обслуживания, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Укрупненная модель обслуживания пассажиров в ТПУ

С распространением интернета всё больше пассажиров в Китае выбирают покупку билетов на сайте «Китайские железные дороги 12306». С внедрением электронных билетов очереди на этапе «покупка билета» больше не являются ограничивающим элементом.

Из процесса входа пассажиров в ТПУ видно, что длина очередей на различных этапах в основном зависит от факторов, связанных с параметрами пассажиропотока и с объектами обслуживания станции. Факторы, связанные с параметрами пассажиропотоков, в основном включают характер прибытия пассажиров (закон распределения), их количество (интенсивность, плотность) и объем перевозимого багажа.

Факторы, связанные с объектами обслуживания станции, в основном относятся к устройствам обслуживания пассажиров на станции (в том числе автоматических терминалов для идентификации, пунктов ручной проверки документов и т. д.) а также к среднему времени обслуживания этими устройствами.

Однако важным фактором, влияющим на время нахождения пассажиров в очереди, является вид организации очереди, т. е. возможность сменять очередь в процессе обслуживания. Целью данной работы является разработка методики моделирования процессов обслуживания пассажиров в зависимости от видов организации очереди.

С целью моделирования пассажиропотоков в ТПУ предлагается выделить одноочередную параллельную и гибридную виды очередей.

Одноочередная параллельная относится к системе очередей, в которой количество очередей на различных этапах остается неизменным и они независимы друг от друга. После того как пассажиры выбирают очередь на первом этапе, они не могут изменить ее на последующих этапах (рисунок 2).



Рисунок 2 – Модель параллельной очереди

Этот вид преимущественно используется на станциях с низким пассажиропотоком, где количество устройств идентификации, сканеров багажа и персонала, выполняющего ручной досмотр, одинаково. Когда пассажиры входят в станцию, процессы формирования очередей на разных устройствах независимы друг от друга. В периоды непикового сезона для экономии ресурсов может быть открыт только один канал очередей.

Гибридная очередь – это ситуация, при которой в имеются два или более этапа очередей и количество очередей на каждом этапе различается. В таком случае после входа пассажиров в систему очередей на определенном этапе может произойти переформирование очередей, и пассажирам необходимо самостоятельно выбрать, к какой очереди присоединиться (рисунок 3). Из-за технологических ограничений, таких как площадь станции и стоимость сканеров багажа, большинство крупных ТПУ используют гибридный вид очередей при входе. В таких случаях, как правило на станции установлено больше устройств идентификации, чем сканеров багажа, что может привести к переполнению на этапе досмотра безопасности. Для ускорения ручного досмотра за одним сканером багажа обычно закреплены два сотрудника, выполняющие ручной досмотр.



Рисунок 3 – Гибридный режим моделирования очередей

Система моделирования очереди на вход в ТПУ состоит из трех основных частей: процесс входа, правила очередности и механизмы обслуживания. Процесс входа относится к схеме прибытия пассажиров на станцию, правила очередности определяют порядок, которому пассажиры следуют при прохождении через станцию, а механизмы обслуживания относятся к частям, где пассажиры получают услуги внутри системы очереди на станции. Исследовательские данные о входе пассажиров на станцию показывают, что схема прибытия пассажиров в процессе входа подчиняется распределению Пуассона; пассажиры следуют правилу «первый пришел – первый обслужен» при прохождении через станцию, а механизмы обслуживания, через которые проходят пассажиры при входе на станцию, делятся на три части: идентификация пассажиров (проверка документов), автоматизированная проверка багажа службами безопасности и ручной досмотр (рисунок 4).



Рисунок 4 – Модель очереди процесса входа пассажиров в ТПУ

Согласно гипотезе прибытие пассажиров подчиняется распределению Пуассона [8–10], и вероятность того, что n пассажиров придут в систему очереди в течение временного интервала t , описывается уравнением [1]

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} (\lambda > 0, n = 0, 1, 2, \dots, N), \quad (1)$$

где λ – средняя скорость прибытия пассажиров. Ее оценка может быть выполнена методом максимального правдоподобия:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \bar{X}. \quad (2)$$

Когда количество пассажиров превышает пропускную способность пункта идентификации, прибывающий пассажир становится в очередь. В среднем каждому пассажиру требуется 4–10 секунд, чтобы пройти через пункт проверки личности [11].

Чтобы обеспечить безопасность внутри станции, персоналу обычно поручают вручную выполнять процесс сканирования багажа, когда багаж проходит через сканер, и этот этап, как правило, ограничивает скорость проверки багажа. В настоящее время скорость проверки багажа в Китае в среднем составляет 0,2 м/с, при этом большинство конвейерных лент для проверки багажа имеют длину 3,5 метра. В результате время проверки багажа становится самым продолжительным этапом всего процесса ожидания в очереди. Поэтому, когда количество пассажиров n превышает количество сканеров для багажа c , избыток пассажиров $(n-c)$ должен будет стоять в очереди для ожидания проверки. Длина очереди рассчитывается следующим образом:

$$L_q = \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) P_n = \frac{\rho_c}{c!} P_0 \sum_{n=c}^{\infty} (n-c) \rho_c^{(n-c)} = \frac{\rho_c}{c!} P_0 \sum_{n=1}^{\infty} n \rho_c^{(n-1)} = \frac{\rho_c \rho_c}{c!} \frac{1}{(1-\rho_c)^2} P_0. \quad (3)$$

Данные зависимости должны использоваться при моделировании времени нахождения пассажиров в очереди на входе в ТПУ.

Моделирование процессов обслуживания пассажиров при входе в ТПУ предлагается выполнять с использованием программного пакета AnyLogic. AnyLogic – это эффективный программный продукт, который имеет верифицированные библиотеки модельных компонентов (в том числе объектов

железнодорожного транспорта) и совмещает три подхода имитационного моделирования в одной модели: системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование.

Процесс построения имитационной модели в AnyLogic показан на рисунке 5.

Вначале строится карта моделирования на основе планировки помещений ТПУ. Настраиваются параметры пассажиропотоков (пешие агенты) и создается блок-схема логики моделирования. Затем вводятся параметры, такие как схема прибытия пассажиров и время обслуживания объектов, в соответствии с данными опроса. В завершении запускается модель имитационного моделирования.

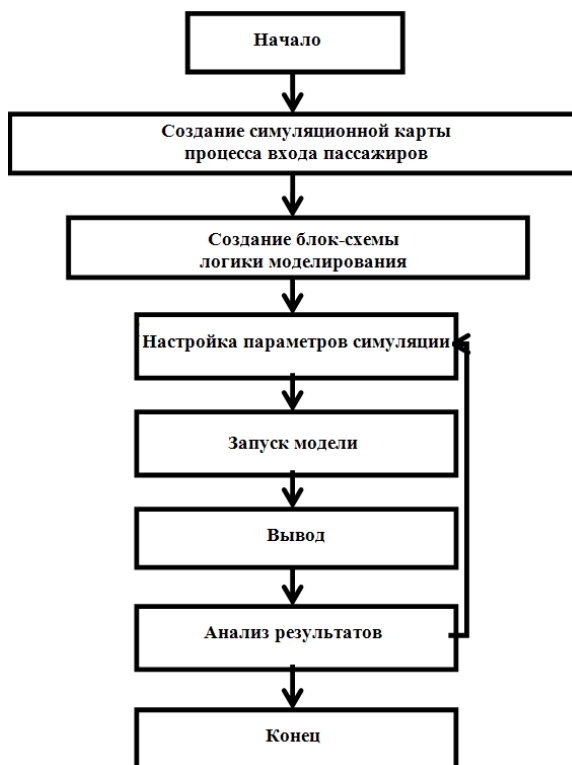


Рисунок 5 – Блок-схема построения модели имитационного моделирования AnyLogic очередей пассажиров на железнодорожной станции

Таким образом, предложенные в данной статье методологические подходы к моделированию процессов обслуживания пассажиров в ТПУ позволят в дальнейшем строить более точные модели, учитывающие не только

свойства пассажиропотоков и параметры устройств обслуживания, но и поведение пассажиров в процессе их нахождения в очередях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Сетти, Дж. Р.* Модель симуляции пассажирского терминала / Дж. Р. Сетти, Б. Дж. Хатчинсон // Журнал транспортного инжиниринга. – 1990. – № 4. – С. 517–535.

2 *Такакува, С.* Моделирование симуляции движения людей: анализ пассажиропотока на международных вылетах в аэропортом терминале / С. Такакува, Т. Ояма // Труды IEEE. – 2003. – № 2. – С. 1627–1634.

3 *Чжанг, Ц.* Оптимальные двупороговые политики в очереди M/G/1 с двумя типами отпусков. Оценка производительности / Ц. Чжанг, Р. Г. Виксон, М. Дж. Эниге. – 1997. – 29 (1). – С. 63–80.

4 *Си, Я.* Анализ и оптимизация системы продажи билетов Чэндунского железнодорожного вокзала / Я. Си, Дз. Шу, Х. Ин // Системы услуг и управление услугами, Международная конференция по системам услуг и управлению услугами, 2007.

5 *Ван, М.* Применение теории очередей для характеристики и оптимизации пассажиропотока на досмотре безопасности аэропорта / М. Ван // Журнал прикладной математики и физики. – 2017. – № 05 (09). – С. 48–56.

6 *Чжан, С.* Динамическая симуляция и анализ оптимизации организации пассажиропотоковых маршрутов в Пекинском южном вокзале / С. Чжан // Железнодорожное компьютерное приложение. – 2010. – № 19 (7). – С. 11–14.

7 *Ян, Л.* Оптимизация процесса въезда в железнодорожную пассажирскую станцию / Л. Ян, Цз. Чжун, Ю. Чжан // Китайские железные дороги. – 2019. – С. 45–49.

8 *Дай, Цз.* Оптимизация очередей при въезде в железнодорожную станцию на основе теории очередей и симуляции AnyLogic / Цз. Дай // Железнодорожное компьютерное приложение. – 2018. – № 27 (9). – С. 40–43.

9 *Ся, Б.* Симуляционное исследование оптимизации пассажирских объектов и потоковых маршрутов в крупных высокоскоростных железнодорожных станциях / Б. Ся // Чэнду : Южно-западный железнодорожный университет, 2015. – С. 21–27.

10 *Цинь, Л.* Исследование метода оценки и рационального проекта распределения оборудования для проверки билетов в крупных узловых железнодорожных станциях / Л. Цинь // Пекин : Пекинский железнодорожный университет, 2008. – С. 83–88.

11 *Цзян, Я.* Исследование распределения количества оборудования для продажи билетов и досмотра безопасности в высокоскоростных железнодорожных станциях / Я. Цзян // Чанша : Центрально-южный университет, 2013. – С. 72–78.

A. A. EROFEEV, HE HONG

GENERALIZED MODEL OF PASSENGER SERVICE AT TRANSPORT HUBS

The relevance of modeling passenger flows at transport hubs is determined. The process of passenger service at the entrance to transport hubs is formalized. Possible types of passenger service queues are identified, and service phases are systematized depending on the type. Analytical dependencies for determining passenger queue times are established. A flowchart for modeling passenger flows at transport hubs is proposed.

Получено 01.11.2025

УДК 625.151

С. С. КОЖЕДУБ, П. В. КОВТУН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

НАПРАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЗАМЕНЕ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассматривается задача оптимизации проектирования стрелочных переводов в условиях ограниченного пространства, характерного для промышленных предприятий и железнодорожных узлов. Предложена математическая модель, позволяющая находить оптимальные геометрические параметры стрелочного перевода с учётом технических, эксплуатационных и пространственных ограничений. Применение методов оптимизации и цифрового 3D-моделирования способствует снижению трудозатрат, сокращению сроков проектирования и повышению точности укладки. Показаны преимущества интеграции численных, эвристических и безградиентных методов оптимизации, а также перспективы использования моделей машинного обучения и искусственного интеллекта для автоматизации проектирования.

Замена стрелочных переводов в стесненных условиях ограниченного пространства представляет собой сложную инженерную задачу, особенно актуальную для железнодорожных узлов и промышленных предприятий, где плотность и производственной, и непроизводственной инфраструктуры достигает предельных значений. Традиционные методы проектирования зачастую не обеспечивают достаточной точности и эффективности, что приводит к увеличению сроков работ, необходимости корректировок на этапе монтажа и росту эксплуатационных рисков.

Современные требования к безопасности, надёжности и минимизации простоев требуют перехода к более точным и системным подходам. Одним из перспективных направлений является применение математических моделей оптимизации в сочетании с цифровым моделированием. Такой подход позволяет на этапе проектирования находить наилучшие конфигурации путевого развития и стрелочных переводов, минимизируя временные и экономические затраты.

Стрелочный перевод является сложным элементом железнодорожной инфраструктуры, параметры которого определяют его взаимодействие с подвижным составом и соседними путями. К основным геометрическим параметрам относятся:

- длина стрелочного перевода L ;
- угол крестовины стрелки α ;
- радиус кривизны переводной кривой R ;
- положение относительно существующей колеи и смежных путей, и ряд

других.

В условиях стеснённого пространства проектирование осложняется рядом факторов:

- ограничения по строительным габаритам;
- близость соседних железнодорожных путей;
- наличие подземных и наземных коммуникаций (кабели, трубопроводы);
- расположение опор контактной сети, сигнальных устройств и других объектов инфраструктуры.

Таким образом, задача проектирования сводится к поиску такой комбинации параметров (R, α, L) , при которой стрелочный перевод:

- удовлетворяет нормативным требованиям по плавности движения (на магистральных путях) и безопасности;
- вписывается в выделенное пространство без нарушения габаритов;
- обеспечивает технологичность монтажа и демонтажа.

Обозначим вектор проектных параметров как $x = (R, \alpha, L)$. Целевой функцией является функция затрат $C(x)$, включающая:

- стоимость материалов;
- трудозатраты на демонтаж и монтаж;
- логистические расходы;
- затраты на проектирование и корректировки.

Минимизация $C(x)$ осуществляется при соблюдении системы ограничений:

$$G_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m, H_j(x) \leq 0, j = 1, \dots, n,$$

где $G_i(x)$ – неравенства, отражающие геометрические и технические ограничения (например, $R \geq R_{\min}$, $L \leq L_{\max}$, $\alpha \in [\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$); $H_j(x)$ – равенства, обеспечивающие стыковку с существующей колеей и смежными путями.

Примеры ограничений:

- минимальный радиус кривой $R \geq 180$ м (в зависимости от категории пути);
- длина стрелочного перевода выше доступного расстояния между препятствиями;
- соответствие отклонения возможности путевого развития;
- соблюдение габаритов.

Данная задача относится к классу задач нелинейного программирования с ограничениями. В силу сложной топологии допустимой области и возможной недифференцируемости целевой функции аналитическое решение затруднено, что требует применения численных и итеративных методов.

Выбор метода оптимизации зависит от характера целевой функции и доступности её аналитического описания.

Если функция затрат $C(x)$ дифференцируема и ограничения гладкие, то могут применяться градиентные методы (например, метод сопряжённых градиентов) или метод Ньютона. Однако такие подходы чувствительны к начальному приближению и могут «застревать» в локальных минимумах.

Для многоэкстремальных и дискретизированных задач эффективны эвристические методы:

- генетические алгоритмы – позволяют искать глобальный оптимум,

моделируя процессы естественного отбора. Популяция решений эволюционирует через операции кроссовера и мутации;

- метод роя частиц – моделирует поведение частиц в поисковом пространстве, ориентируясь на личный и глобальный опыт.

Эти методы устойчивы к шуму и хорошо подходят для задач с нелинейными ограничениями. В случаях, когда $C(x)$ задана в виде «чёрного ящика» (например, имитационная модель или база данных), применяются:

- дифференциальная эволюция, которая эффективна при работе с непрерывными параметрами;

- байесовская оптимизация, формирующая вероятностную модель целевой функции (например, гауссовский процесс) и выбирает точки для оценки с максимальным ожидаемым улучшением.

Перспективным направлением является обучение моделей на исторических данных о проектах. Например, нейронные сети или случайные леса могут предсказывать оптимальные значения x на основе входных данных: топология участка, тип пути, габариты и т. д. Это позволяет значительно ускорить процесс проектирования.

Для точной оценки ограничений используется цифровое трёхмерное моделирование (рисунок 1).

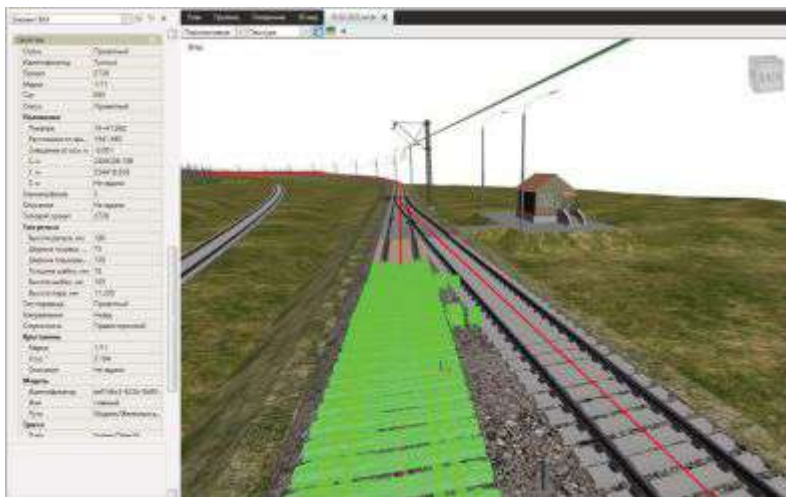


Рисунок 1 – Цифровое трёхмерное моделирование

В качестве исходных данных применяются:

- результаты лазерного сканирования (облака точек);
- данные геоинформационных систем;
- чертежи и паспорта инфраструктуры.

На основе этих данных строится цифровая модель участка, которая включает положение существующих путей, габариты строений, рельеф местности.

В среде BIM (Building Information Modeling) или специализированных CAD-системах (например, Топоматик Robur – Железные дороги, AutoCAD Civil 3D) моделируются возможные конфигурации стрелочных переводов. Система автоматически проверяет пересечения, зазоры и стыковку с колеей.

Кроме того, моделирование позволяет рассчитать траектории укладки (например, при использовании кранов или специальной техники), что особенно важно в условиях ограниченного доступа.

Представленная методика оптимизации проектных решений при замене стрелочных переводов в стеснённых условиях демонстрирует высокую эффективность за счёт интеграции математического моделирования, численных методов оптимизации и цифрового трехмерного моделирования. Подход позволяет находить технически и экономически обоснованные решения, минимизируя многочисленные риски и затраты. Ключевыми преимуществами системы являются:

- повышенная точность проектирования;
- сокращение сроков и стоимости работ;
- возможность анализа множества альтернативных вариантов;
- поддержка принятия решений на основе данных.

В перспективе развитие методики связано с широкой интеграцией искусственного интеллекта в практику. Обучаемые модели смогут рекомендовать оптимальные решения на основе анализа большого массива проектных данных, что сделает процесс проектирования ещё более быстрым и адаптивным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Особенности строительства и эксплуатации железнодорожных путей необщего пользования в стесненных условиях / П. В. Ковтун, О. В. Осипова, С. А. Биндюк, В. А. Мусилович // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 2 (47). – С. 38–41.

2 Ковтун, П. В. Особенности восстановления объектов путевой инфраструктуры в стесненных условиях / П. В. Ковтун, М. Ю. Никитенко / Строительство и восстановление искусственных сооружений : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2024. – С. 99–101.

S. S. KOZHEDUB, P. V. KOVTUN

AREAS FOR OPTIMIZATION OF DESIGN SOLUTIONS WHEN REPLACING POINT SWITCHES IN CONFINED SPACES

The task of optimizing the design of turnouts in confined spaces, typical for industrial enterprises and railway junctions, is considered. A mathematical model is proposed that allows finding the optimal geometric parameters of a turnout, taking into account technical, operational, and spatial constraints. The use of optimization methods and digital 3D modeling helps to reduce labor costs, shorten design times, and increase the accuracy of installation. The advantages of integrating numerical, heuristic, and gradient-free optimization methods are demonstrated, as well as the prospects for using machine learning and artificial intelligence models for design automation.

Получено 22.10.2025

УДК 656.2.078

М. В. КОЛЕСНИКОВ, С. А. КОЛОШИН, Н. О. ЧИСЛОВ
Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону
kmv-d@list.ru, ser-koloshin@yandex.ru, kolya-chislov@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ ПРОМЫШЛЕННО-ТРАНСПОРТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Исследуются вопросы формирования структур управления транспортным производством в железнодорожных промышленных организационно-технических системах на примере взаимодействия предприятий промышленного железнодорожного транспорта и станций примыкания общей сети. Рассмотрены подходы к оценке степени эффективности структур на принципах технoценoза, теории систем и теории возможностей в выборе рациональных сценариев управления транспортным производством.

В современных условиях эксплуатации железнодорожный транспорт РФ сталкивается со значительными технологическими и конкурентными вызовами, ответ на которые возможен не только в направлении инновационного развития, но и совершенствования организационно-технических структур управления (ОТСУ), особенно на стыке взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования – предприятий промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ).

Известно, что в системе «железнодорожная станция общего пользования – предприятие промышленного железнодорожного транспорта» («ЖСОП – ППЖТ») ППЖТ обеспечивают доставку сырья, топлива, полуфабрикатов и других грузов, а также их перемещение в процессе производства, вывоз готовой продукции и отходов производства предприятий. Для выполнения этих функций ППЖТ располагает сетью железнодорожных путей, грузовым хозяйством, подвижным составом, ремонтной базой локомотивов и вагонов и др. На станциях общей сети, к которым примыкают пути необщего пользования ППЖТ, выполняется прием поездов и передач, подборка вагонов, обслуживание грузовых фронтов и маневровых районов предприятий, подготовка подвижного состава к грузовым операциям, отправление на общую сеть железных дорог, приемо-сдаточные, технические, коммерческие операции, техническое обслуживание и ремонт локомотивов, вагонов и другие операции.

Обеспечивая перемещение предметов и средств труда, ППЖТ создают условия непрерывного функционирования производства [1, 2].

Вопросам управления сложными железнодорожными транспортными системами посвящены научные исследования В. И. Арсенова, В. В. Багиновой, А. С. Балалаева, О. В. Белого, М. М. Болотина, В. И. Галахова, А. В. Горского, А. Н. Гуды, Ю. И. Ефименко, В. Н. Зубкова, А. Я. Калининченко, П. А. Козлова, П. В. Куренкова, В. И. Колесникова, А. В. Кутыркина, Б. А. Левина, Н. Н. Лябаха, Л. А. Мазо, О. Б. Маликова, Э. А. Мамаева, Д. А. Мачерета, Л. Б. Миротина, А. С. Мишарина, А. Т. Осьминина, Н. В. Правдина, В. А. Персианова, М. Б. Петрова, Ф. С. Пехтерева, С. М. Резера, В. М. Сая и др.

В работе [3] отмечается, что выбор эффективных ОТСУ в системе «ЖСОП – ППЖТ» связан с необходимостью соблюдения как интеграционных принципов, так и унификации основных стыковочных узлов ОТСУ по внешним и внутренним параметрам. Приняты следующие критерии оценки ОТСУ [4]: степень использования технико-технологических и инфраструктурных ресурсов; уровень транспортно-технического развития; реакция на изменения транспортного производства; способность обеспечения роста показателей транспортного производства и инновационного развития; способность изменять транспортные и информационные потоки в системе в случае непредвиденных ситуаций в работе; способность системы к взаимодействию с партнерами и конкурентами в условиях транспортного рынка; степень сочетаемости видов инфраструктур и транспортно-технологических процессов; техническая готовность (скорость) транспортного производства к обслуживанию перевозок; ресурсная достаточность по видам деятельности и организационным структурам; степень удовлетворения потребителей результатами транспортного производства; размер прибыли и затраты на осуществление транспортной работы.

На полигоне Северо-Кавказской железной дороги (СКЖД) – филиале ОАО «РЖД» работают крупные предприятия ППЖТ, к которым относятся ООО «НПЖТ», ОАО «КППЖТ», ОАО «МИР СКПЖТ», ООО «КЖД» и др.

В статье рассмотрены принципы оценки эффективности ОТСУ в системе «ЖСОП – ППЖТ» на основе ценологической теории анализа транспортных сценариев в условиях неопределенности параметров управления и динамики технологических процессов.

Одним из важнейших параметров ОТСУ является степень устойчивости и прочности связей элементов структуры управления. Эффективность транспортного производства может определяться как величина прибыли [6]. На практике понятие эффективности ОТСУ может оцениваться по ключевым количественным и качественным показателям системы «ЖСОП – ППЖТ»: погрузка, выгрузка, вагонооборот, простой местного вагона на ответственности предприятия, производительности локомотива и др.

Для оценки эффективности работы системы «ЖСОП – ППЖТ» приняты показатели: 1 – протяженность железнодорожных путей ППЖТ, l , м; 2 – количество собственных маневровых локомотивов, $n_{\text{лок}}$ ед.; 3 – количество обслуживаемых предприятий, $N_{\text{пред}}$ ед.; 4 – продолжительность простоя местного вагона на ответственности ППЖТ, $t_{\text{мест}}$, ч; 5 – объем погрузки, $Q_{\text{погр}}$, т; 6 – объем выгрузки, $Q_{\text{выгр}}$, т.

Тогда общую эффективность основных показателей ППЖТ можно оценить модифицированной интегральной функцией вида

$$W_{\text{ППЖТ}} = \alpha_1 R_{1i}^* + \alpha_2 R_{2i}^* + \alpha_3 R_{3i}^* + \alpha_4 R_{4i}^* + \alpha_5 R_{5i}^* + \alpha_6 R_{6i}^* \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1; \quad R_i^* = \frac{R_i^{\text{пр}}}{R_i^{\text{сущ}}},$$

где i – номер варианта показателя работы; $i = 1, 2, \dots, N$ – количество параметров; α_i – коэффициент относительной важности i -го параметра; $R_i^{\text{пр}}$, $R_i^{\text{сущ}}$ – значения безразмерных i параметров – показателей для проектного и существующего (начального) вариантов работы ППЖТ.

Показатели работы ППЖТ отличаются разнородностью, но следует отметить, что по крупным предприятиям в целом намечается рост объемов перевозки на 5–7 %. В качестве примера на рисунке 1 представлена помесечная динамика перевозок грузов предприятия ОАО «КППЖТ», тыс. т [1, 2].



Рисунок 1 – Пример показателей работы ППЖТ

Рассмотрена оценка уровней транспортного производства некоторых ППЖТ на полигоне СКЖД (таблица 1).

Таблица 1 – Ведомость показателей ППЖТ

Предприятие	$Q_{\text{погр}}$ ваг.	$Q_{\text{выгр}}$ ваг.	$t_{\text{мест}}$, ч	$n_{\text{лок}}$ ед.	$N_{\text{пред}}$ ед.	l , км
ООО «НПЖТ» (район)	320 / 1,0	3400 / 1,0	1320 / 1,0	1 / 1,0	4 / 0,01	0,82 / 0,01
ОАО «КППЖТ» (район)	98 / 0,25	205 / 0,07	610 / 0,41	1 / 1,0	5 / 1,0	10,1 / 1,0
ОАО «СКПЖТ» (район)	30 / 0,01	4 / 0,01	130 / 0,01	1 / 1,0	4 / 0,01	8,2 / 0,8

Пример схемы организационно-технической структуры управления ППЖТ представлен на рисунке 2.

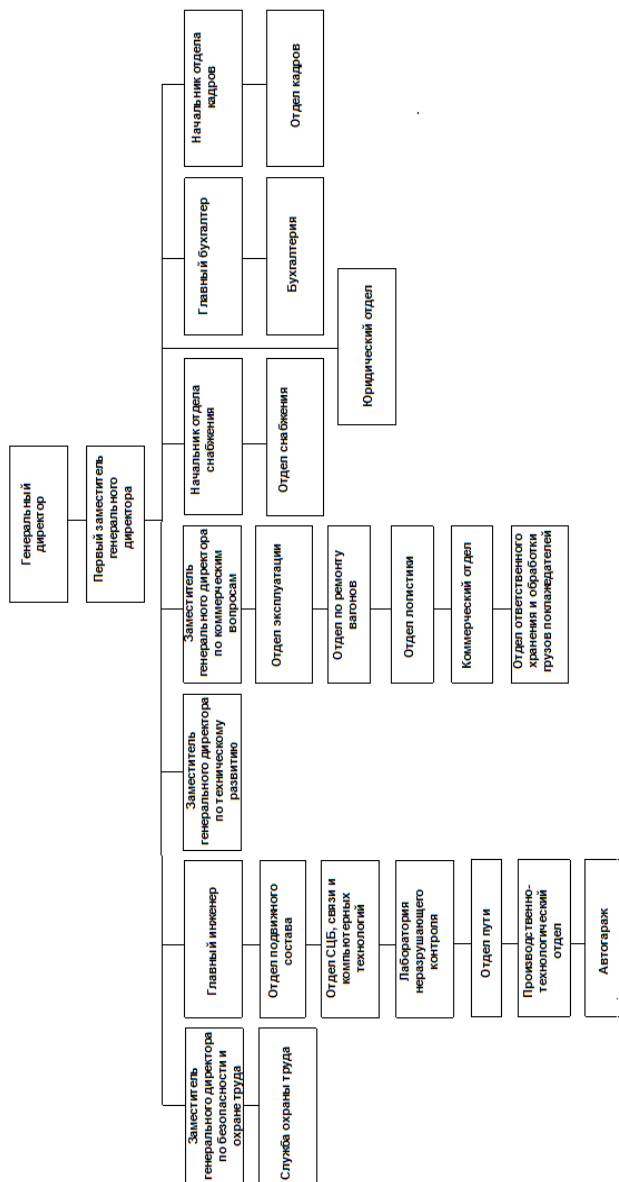


Рисунок 2 – Пример организационно-технической структуры управления ППЖТ

Так как участвующие в анализе показатели имеют разные единицы измерения, то они приводятся к безразмерному виду согласно вариативному показателю

$$k(\theta) = 0,01 + 0,99 \frac{\theta_i - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}},$$

где 0,01 – нижний предел вариативного показателя; 0,99 – размах вариации; θ_i – значение i -го показателя; $\theta_{\max}$, $\theta_{\min}$ – минимальное и максимальное значения. В числителе ячейки таблицы указаны значения показателей, в знаменателе – их вариативные показатели.

Тогда

$$\begin{aligned} W_{\text{НПЖТ}} &= 0,2 \cdot 1,0 + 0,2 \cdot 1,0 - 0,3 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,01 + 0,1 \cdot 0,01 = 0,202; \\ W_{\text{КППЖТ}} &= 0,2 \cdot 0,25 + 0,2 \cdot 0,07 - 0,3 \cdot 0,41 + 0,1 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 1,0 = 0,241; \\ W_{\text{СКПЖТ}} &= 0,2 \cdot 0,01 + 0,2 \cdot 0,01 - 0,3 \cdot 0,01 + 0,1 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 1,0 + 0,1 \cdot 0,8 = 0,281. \end{aligned}$$

При эксплуатации данной системы возникает ряд проблем, связанных с выявлением организационной культуры и стиля управления, адекватных внешним и внутренним условиям, определением совокупности характеристик необходимых для эффективного выполнения служебных обязанностей, идентификацией соответствия работников видам управленческой деятельности, согласованием требований технологий управления и кадрового потенциала.

Методологический аппарат, который может быть использован при оценке ОТСУ классифицируется: 1 – по степени формализации и использования экспертных знаний (когнитивный метод, морфологическая модель, ценологическая модель, модели стратегического прогнозирования и др.); 2 – по уровню управления транспортным производством (модели идентификации объектов управления, теории массового обслуживания, ресурсные модели, кластерный анализ, ценологический анализ и др.).

Существенный вклад в решение проблемы выбора эффективных ОТСУ вносит ценологическое исследование [4, 6] в виде техноценоза, при котором устойчивость ОТСУ определяется как при внешних возмущениях системы (железнодорожная транспортная система должна быть способной «сохранить» себя), так и при внутренних (каждому элементу подсистемы должно выделяться «комфортное» место). Ценоз железнодорожной транспортной системы образуется множеством взаимодействующих, но слабо связанных объектов разного масштаба и сфер деятельности. Такими объектами в транспортной компании являются предприятия, организующие перевозочный процесс, эксплуатацию и ремонт инфраструктурных объектов, предприятия обеспечения подвижных средств (ремонт и текущее обслуживание) систем управления и др. Следует учитывать, что крупные системы «ЖСОП – ППЖТ», в составе которых сортировочные, участковые станции общей сети, промышленные узлы и районы добывающих предприятий, работают эффективнее

за счет своего масштаба и мощностей, но при этом они более инерционны и слабо приспосабливаются к внешним изменениям. Малые предприятия более гибки, но значительно подвержены рыночным рискам. Также следует отметить, что в системе техноценоза «ЖСОП – ППЖТ» станции ОАО «РЖД» представляют интересы государства, а ППЖТ – в большей части собственников и владельцев предприятий.

Известно, что структуру ценозов принято описывать видовым распределением (зависимостью количества видов систем «ЖСОП – ППЖТ» по отраслям от количества ППЖТ в виде), ранговым параметрическим распределением (ранжирование по принятым признакам) и ранговым распределением по параметрам транспортной работы [6]. Для моделирования распределений применяется гипербола вида $N(r)=A/r^G$, где $N(r)$ – количество ППЖТ в системе с рангом организационной структуры r , шт.; A , G – постоянные распределения [7].

На рисунке 3, а представлено ранговое параметрическое распределение по величине годового вагонооборота ППЖТ, где первый ранг присваивается ППЖТ, имеющим наибольшее значение параметра, второй – ППЖТ, имеющим наибольшее значение параметра среди оставшихся и т. д. На рисунке 3, б отражено видовое распределение, где по оси абсцисс откладывается ранг ППЖТ по размерам вагонооборота в техноценозе (1, 2, 3 и т. д.), по оси ординат – количество ППЖТ, представленных в анализируемом техноценозе данной численностью. Согласно [4, 6, 7] система «ЖСОП – ППЖТ» в своей работе стремится использовать весь объем ресурсов, но при достижении ограничений имеет место конкурентная борьба, при которой количество видов ППЖТ изменяется медленнее, чем количество предприятий для техноценоза.

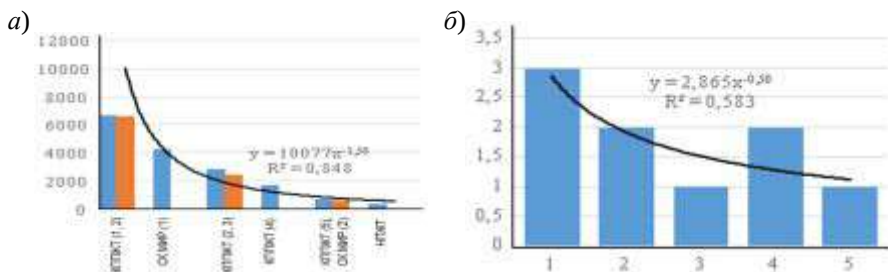


Рисунок 3 – Распределение годового вагонооборота ППЖТ:
а – ранговое параметрическое; б – видовое

Во всех случаях ОТСУ «ЖСОП – ППЖТ» как социотехническая система должна отвечать следующим признакам: ориентация на клиента; использование новых знаний на уровнях управления; стимулирование качества транспортного производства; процессный подход; системный подход; непрерывное совершенствование; сбалансированная система показателей. Для оценки может

использоваться коэффициент эффективности ОТСУ в системе «ЖСОП – ППЖТ» ($k_{\text{ОТСУ}}$) [6].

$$k_{\text{ОТСУ}} = \frac{D_{\text{прогн}}}{D_{\text{прогн}} + \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j \left(\sum_{j=1}^s (D_{\text{деп}}^j)_i \right) + \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j \left(\sum_{j=s+1}^{n-m+1} (R_{\text{уб}}^j)_i \right)},$$

где $D_{\text{прогн}}$ – прогнозируемый доход ОТСУ; $(R_{\text{уб}}^j)_i$ – убытки транспортной структуры в i -й отрезок времени в результате варианта взаимодействия с другой ОТСУ.

Нормативное число уровней управления в системе «ЖСОП – ППЖТ» может рассчитываться с учетом количества элементов информационных потоков, перерабатываемых на каждом уровне на основе оценки регулярности прибытия каждой струи вагонопотока на станцию и ППЖТ.

Значение коэффициента числа уровней оперативного управления рассчитывается по формуле

$$k_y = e^{N_{\text{ну}} - N_{\text{фу}}},$$

где $N_{\text{ну}}$ – нормативное количество уровней управления; $N_{\text{фу}}$ – фактическое количество уровней управления.

Нормативное количество уровней управления $N_{\text{ну}}$ определяется по формуле

$$N_{\text{н}} = \frac{\lg \left(\frac{S_{\text{инф}}}{S_{\text{ср}}} \right)}{\lg k_{\text{сж}}},$$

где $S_{\text{инф}}$ – суммарное количество информационных потоков, перерабатываемых ОТСУ; $S_{\text{ср}}$ – среднее количество элементов в информационном потоке, поступающих на каждый уровень ОТСУ.

Коэффициент сжатия информации рассчитывается по формуле

$$k_{\text{сж}} = (s_2 + s_4) / (s_1 + s_3),$$

где s_2, s_4 – количество элементов информационного потока, передаваемых соответственно на выше- и нижестоящие уровни ОТСУ; s_1, s_3 – количество элементов информационного потока, поступающих на определенный уровень ОТСУ соответственно от выше- и нижестоящих уровней.

В настоящее время расширяется роль ОТСУ за счет так называемых «виртуальных ОТСУ» [5], в которых на первое место выходят информационные технологии и искусственный интеллект. При этом движение информации осуществляется от нижних уровней управления на верхние уровни, превращение высшего руководства из органа, издающего приказы, в орган, способствующий принятию решений.

Таким образом, перспективная научная поддержка выбора эффективных вариантов взаимодействия логистических структур железнодорожного холдинга

и участников транспортировки грузов связана с интеллектуализацией и цифровизацией. Для этого транспортно-технологические процессы железнодорожной системы реализуются посредством создания различных транспортно-логистических цепочек, отражающих зависимости критериев функционирования логистических структур. Для областей мультиагентного клиентского сервиса ставятся задачи по интеллектуализации принципов идентификации транспортно-логистических процессов с прогнозом развития и логики управления на основе принципов декомпозиции, статистического анализа, формирования аналитических моделей, применения теории активных систем, теории нечетких множеств, обеспечивающих оптимальные параметры функционирования логистических структур железнодорожных транспортных систем и согласованность их интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Северо-Кавказская железная дорога. – URL: <http://skzdservice.ru/page/4> (дата обращения: 22.09.2025).
- 2 Статистика. Министерство транспорта Российской Федерации. – URL: <https://mintrans.gov.ru/ministry/results/180/documents> (дата обращения: 22.09.2025).
- 3 Мулен, Э. Кооперативное принятие решений: Аксиомы и модели : пер. с англ. / Э. Мулен. – М. : Мир, 1991. – 464 с.
- 4 Колесников, М. В. Управление железнодорожной транспортной системой: концепции, модели и организационные механизмы : монография / М. В. Колесников, Д. П. Мотренко / под науч. ред. Р. В. Шеховцова и С. М. Резера. – М. [б. и.], 2017. – 272 с.
- 5 Цифровые технологии в управлении перевозочным процессом : учеб. пособие / А. Т. Осьминин, О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, А. В. Кабанов. – Самара : СамГУПС, 2023. – 206 с.
- 6 Хорьков, С. А. Ценозы, системы и их модели : монография / С. А. Хорьков, Ф. И. Маврикиди. – Ижевск : Удмуртский университет, 2021. – 92 с.
- 7 Гнатюк, В. И. Лекции о технике, техноценозах и техноэволюции. Цикл лекций / В. И. Гнатюк. – URL: <https://gtmarket.ru/library/articles/6421/6424> (дата доступа: 30.09.2025).

M. V. KOLESNIKOV, S. A. KOLOSHIN, N. O. CHISLOV

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL STRUCTURES FOR MANAGING RAILWAY INDUSTRIAL TRANSPORT SYSTEMS

This article examines the development of transport management structures in railway industrial organizational and technical systems, using the example of interactions between industrial railway transport enterprises and stations adjacent to the general network. Approaches to assessing the effectiveness of these structures, based on the principles of technocoenosis, systems theory, and possibility theory, are considered in selecting rational transport management scenarios.

Получено 16.10.2025

УДК 656.07+06

Д. В. ЛИСОВЕНКО

Ростовский государственный университет путей сообщения,

г. Ростов-на-Дону

dmitriy.lisovenko@yahoo.com

ФОРМИРОВАНИЕ БАЛАНСА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГРУЗОВОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТЕРМИНАЛОВ МЕТОДОМ ГРАВИТАЦИОННОГО ТЯГОТЕНИЯ

Рассматриваются особенности функционирования транспортно-логистической системы Северо-Кавказской железной дороги, характеризующейся интенсивным однопоточным грузопотоком в порты Азово-Черноморского бассейна. Анализируются ключевые ограничения существующей инфраструктуры, связанные с недостаточной перерабатывающей способностью припортовых станций. Предложено решение проблемы путем создания грузораспределительных терминалов, что позволит оптимизировать логистические процессы и повысить пропускную способность железнодорожной сети.

В рамках исследования транспортной инфраструктуры Юга России особое внимание заслуживает анализ функционирования Северо-Кавказской железной дороги (филиал ОАО «РЖД»), работа которой характеризуется выраженной асимметрией грузопотоков в направлении портов Азово-Черноморского бассейна с формированием устойчивой логистической цепочки с четко очерченными узлами распределения. Ключевыми точками гашения грузопотоков являются станция Новороссийск, специализирующаяся на перевалке черных металлов, зерновых культур и контейнерных грузов, Туапсе, принимающая черные металлы, нефтеналивные грузы и химические удобрения, Вышестеблиевская, ориентированная на перевалку угля и нефтеналивных грузов. Кроме этих крупных станций часть грузопотока распределяется по ряду менее мощных портовых станций, таких как Азов, Таганрог, Темрюк, Заречная, Грушевая и Кавказ.

Основным лимитирующим фактором работы Северо-Кавказской железной дороги выступает дефицит производственных мощностей в сфере выгрузки и вывода порожних вагонов из портовых зон. Эмпирические данные по станции Новороссийск демонстрируют, что среднее время нахождения контейнерного поезда составляет 48 часов, при этом непосредственно на грузовые операции затрачивается лишь 4–8 часов. Остальная часть временного ресурса расходуется на вспомогательные процессы: расформирование

составов, формирование подач по фронтам выгрузки, подготовку вагонов к погрузочно-выгрузочным операциям, а также документальное сопровождение перевозок. Особую сложность создаёт необходимость двойного таможенного контроля, существенно увеличивающего административную нагрузку. Сходная структура временных затрат наблюдается и при обработке иных категорий грузов, что указывает на системный характер проблемы.

Попытки расширения перерабатывающей способности крупных портовых станций сталкиваются с объективными ограничениями географического и градостроительного характера. В частности, плотная городская застройка в окрестностях ключевых узлов и сложный рельеф местности делают масштабную модернизацию технически затруднительной. Для малых портовых станций проблема носит иной характер, так как требуемые инвестиции в развитие инфраструктуры сопряжены с высокими рисками. Основной опасностью выступает потенциальная переориентация грузо- и вагонопотоков в перспективе, что ставит под сомнение экономическую целесообразность капитальных вложений и их окупаемость.

В качестве перспективного направления оптимизации предлагается формирование сети грузораспределительных терминалов, интегрированных в логистическую систему портов Юга России. Размещение таких терминалов в непосредственной близости от крупных выгрузочных станций позволит децентрализовать ряд операций, входящих в цикл оборота вагона. В частности, на терминалы может быть перенесена значительная часть административных и технических процедур: таможенное оформление грузов, работа с перевозочной документацией, проведение коммерческого и технического осмотра подвижного состава. Для небольших припортовых станций создание подобных объектов открывает возможности диверсификации услуг, повышая их конкурентоспособность на рынке транспортно-логистических услуг. Подобная ситуация негативно сказывается на конкурентоспособности железнодорожно-водного способа транспортировки в глазах зарубежных грузоотправителей, что ведёт к постепенному оттоку клиентов и, как следствие, снижению доходов ОАО «РЖД».

Ключевым фактором повышения эффективности железнодорожно-водных перевозок выступает минимизация времени простоя вагонов на путях портовых терминалов. Сокращение простоев способно оказать мультипликативный эффект, связываемый не только с увеличением перегрузочной способности отдельных узлов, но и повышением общей провозной мощности железнодорожной сети. Особую актуальность приобретает синхронизация работы железнодорожного и водного транспорта, обусловленная существенным дисбалансом в стоимости услуг. Так, тарифы на использование водного транспорта, а также плата за простой судов у причалов многократно превышают расходы на эксплуатацию железнодорожных вагонов. В этой связи критическое значе-

ние приобретает способность оперативно доставлять крупные партии грузов к портовым причалам, обеспечивая бесперебойность мультимодальных перевозок и снижая совокупные логистические издержки.

Актуальным является вопрос увеличения провозной способности припортовой железнодорожной системы за счет строительства тылового грузораспределительного терминала, который заберет на себя функции порта и железнодорожной станции, не связанные непосредственно с грузовыми операциями на путях порта. На тыловой терминал могут быть вынесены такие технологические операции, как подбор подач вагонов по фронтам, таможенный контроль и оформление груза, коммерческий и технический осмотр подвижного состава, заполнение перевозочных документов и так далее.

В процессе определения пространственной локализации тыловых терминалов первостепенное значение приобретают топографические особенности территории и степень насыщенности её городской инфраструктурой. Локализация терминалов за пределами урбанизированных территорий способствует оптимизации процессов автодоставки грузов и существенно разгружает магистральную сеть от транзитного транспорта. Кроме того, экстерриториальное размещение объектов позволяет значительно снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду в пределах жилой застройки, что особенно актуально для крупных агломераций с высокой плотностью населения [2].

В контексте формирования эффективной логистической архитектуры транспортного узла особую значимость приобретает проблема научно обоснованного позиционирования распределительных комплексов. При этом первостепенное внимание уделяется поиску компромиссного решения, которое позволит достичь максимального снижения совокупных затрат на осуществление грузовых перевозок при соблюдении всех технологических требований.

Математическая постановка данной задачи предполагает построение многофакторной модели, в рамках которой осуществляется поиск оптимальных параметров размещения терминалов путём минимизации комплексной целевой функции, учитывающей весь спектр логистических издержек.

Для решения транспортной задачи необходимо минимизировать целевую функцию [1]

$$\Pi(L) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m q_i c_{ij} L_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^g q_i c_{ik} L_{ik} + \sum_{i=1}^n B_i E_n \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n q_i = Q; L_{ij} > 0; L_{ik} > 0,$$

где q_i – объём перевозок грузов для i -го терминала ($i = 1, \dots, n$); j – место размещения i -го терминала назначения груза ($j = 1, \dots, m$); k – грузополучатели городской агломерации ($k = 1, \dots, g$); Q – общий объём перевозок i -х грузов от распределительного терминала, расположенного в j -м месте узла

до k -х грузополучателей; c_{ij} – стоимость завоза 1 т груза до i -го терминала, расположенного в j -м месте узла, руб./т·км; c_{ik} – стоимость вывоза 1 т груза от i -го терминала до k -го грузополучателя; B_i – капитальные затраты на строительство i -го терминала по варианту размещения, млн руб.; E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

Когда узловая транспортно-складская система состоит из нескольких терминалов, необходимо учитывать различные факторы, влияющие на стоимость грузоперевозок. Данное исследование позволяет предположить, что увеличение количества складов может привести к увеличению стоимости доставки товаров на склады. Однако расположение складов рядом с местом потребления товаров может снизить стоимость доставки товаров покупателям.

Транспортно-складская система включает три основных типа складов: снабженческие (хранение сырья и материалов), производственные (обеспечение производства) и распределительные (демпфер колебаний объемов перевозок различными видами транспорта). Для оптимального размещения складов применяются различные методы: экономико-математический, метод пробной точки, метод «Виаль», гравитационный, метод центра тяжести, модель Вон Тунена и др.

По результатам анализа методов размещения складов гравитационный метод демонстрирует наибольшие преимущества. Он учитывает случайные процессы, обеспечивает оперативное управление, позволяет моделировать схему компоновки и адаптируется к технологии работы.

Гравитационный метод является наиболее эффективным для определения местоположения складов, так как учитывает величину грузопотоков, позволяет определить центр притяжения, обеспечивает оптимальное распределение транспортных потоков, даёт возможность работать со случайными факторами.

Для оценки взаимодействия распределительных логистических терминалов с местоположением складов (частью складской сети) проведём интерпретацию гравитационной модели [3]:

$$W_{ij} = \alpha \frac{q_{ij} Q_i}{l_{ij}^2},$$

где α – коэффициент, рассчитываемый отношением

$$\alpha = P_{ij} / P_{\text{общ}},$$

P_{ij} – тонно-километровая работа по доставке грузов; $P_{\text{общ}}$ – общая транспортная работа; q_{ij} – объем складского грузопотока; Q_i – мощность складской сети узла; l_{ij} – расстояние между получателем (складом) и терминалом.

Актуальность исследования подтверждается тем, что современным логистическим операторам необходимо обеспечить эффективность транспортировки товаров от терминала до получателя. Реализация данной задачи требует анализа устойчивости транспортных связей, что можно достичь с помощью показателя W .

Чем больше величина показателя W , тем устойчивее становятся транспортные связи между логистическим терминалом и предполагаемым получателем (складом). Это свидетельствует о высоком уровне надежности и безопасности доставки грузов, что, в свою очередь, способствует оптимизации логистических процессов и снижению затрат на доставку.

Таким образом, анализ показателя W является важным этапом в планировании логистических операций и позволяет эффективно организовать транспортировку товаров в современных условиях конкурентного рынка.

В качестве экспериментальных станций для базирования тыловых грузораспределительных терминалов были выбраны станции «Б» (Т1) как терминал, обрабатывающий порты по станциям «А» (С1), «Е» (С2), «Т» (С3), а также подготавливающий поезда для станций «М-П» и «Б-П» в перспективе развития региона. Второй станцией для перспективного размещения тылового грузораспределительного терминала рассматривается станция «Р» (Т2) для обработки портовых мощностей по станциям «Н» (С1), «П» (С2), «ТМ» (С3) и «В» (С4) (рисунок 1).

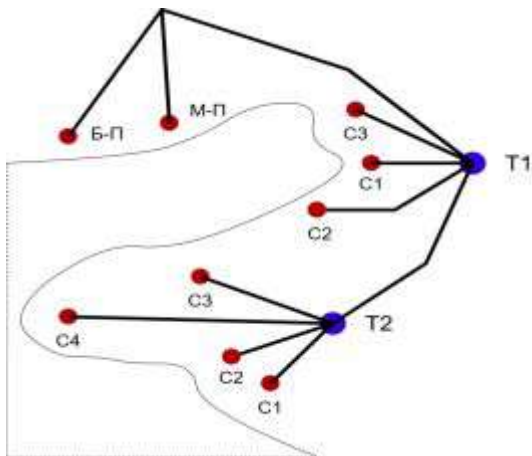


Рисунок 1 – Варианты взаимодействия грузораспределительных терминалов (Т1, Т2) с портами Северо-Кавказской железной дороги

Составим матрицы расстояний и объёмов перевозок, тыс. тонн/сут логистических терминалов и складов, для обоих вариантов узла (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Матрица расстояний по вариантам взаимодействия логистических терминалов и складов

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	C1	C2	C3	C4	$\sum l_{ij}$
T1	30	160	82	–	272
T2	30	81	71	127	309

Таблица 2 – Матрица объемов потребления грузов

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	C1	C2	C3	C4	$\sum q_i = Q$
T1	3,84	1,32	2,65	–	7,81
T2	9,2	7,12	3,96	3,08	23,36

Тогда транспортная работа, т·км, для каждого склада будет определяться по формуле

$$p_{ij} = q_i l_{ij}.$$

Транспортная работа, тыс. т·км, для первого варианта:

$$p_{T1-C1} = 3,84 \cdot 33 = 115,2;$$

$$p_{T1-C2} = 1,32 \cdot 163 = 211,2;$$

$$p_{T1-C3} = 2,65 \cdot 74 = 217,3.$$

Для второго варианта:

$$p_{T2-C1} = 9,2 \cdot 30 = 276;$$

$$p_{T2-C2} = 7,12 \cdot 81 = 576,7;$$

$$p_{T2-C3} = 3,96 \cdot 71 = 281,16.$$

$$p_{T1-C4} = 3,08 \cdot 127 = 391,16.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица общей транспортной работы

В тысячах тонно-километров

$\begin{matrix} i \\ j \end{matrix}$	C1	C2	C3	C4	$\sum p_{ij} = P_{\text{общ}}$
T1	115,2	211,2	217,3	–	543,7
T2	276	576,7	281,16	391,16	1525,02

Далее определяются коэффициенты пропорциональности гравитационной модели. Для первого грузораспределительного терминала:

$$\alpha_{T1-C1} = \frac{115,2}{543,7} = 0,212; \alpha_{T1-C2} = \frac{211,2}{543,7} = 0,388; \alpha_{T1-C3} = \frac{217,3}{543,7} = 0,4.$$

Для второго грузораспределительного терминала:

$$\alpha_{T2-C1} = \frac{276}{1525,02} = 0,18; \alpha_{T2-C2} = \frac{576,7}{1525,02} = 0,37; \alpha_{T2-C3} = \frac{291,16}{1525,02} = 0,184;$$

$$\alpha_{T2-C4} = \frac{391,16}{1525,02} = 0,256.$$

Матрица коэффициентов приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица коэффициентов пропорциональности по вариантам взаимодействия логистических терминалов со складами

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum \alpha_{ij}$
T1	0,212	0,388	0,4	–	1
T2	0,18	0,37	0,184	0,256	1

После определения коэффициентов пропорциональности определяются значения гравитационных связей, которые приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Матрица гравитационных связей узла

$i \backslash j$	C1	C2	C3	C4	$\sum w_{ij} = W$
T1	2,137	0,235	0,101	–	2,473
T2	1,289	0,759	0,239	0,145	2,432

Как видно из таблицы 5, значения гравитационных связей опорных станций «Р» и «Б» для размещения грузораспределительных терминалов имеют схожую величину, что свидетельствует о верном выборе мест дислоцирования «сухих портов» и гарантирует равномерное распределение сортировочных мощностей портовых грузопотоков между двумя данными терминалами.

На основе матрицы объемов потребления грузов, логистических терминалов и складов (см. таблицу 2) и матрицы гравитационных связей узла (см. таблицу 5), принимая во внимание схожие гравитационные связи W (разница 1,7 %) становится возможным установление баланса распределения грузовой работы между железнодорожными терминалами Т1 и Т2, не смотря на то, что Т2 обрабатывает в 3 раза больше грузов, чем Т1, и разница составляет 15,55 тыс. т/сут. Сопоставление приведённых выше расчётных данных говорит о корректности применения метода гравитационного тяготения при проверке правильности размещения грузораспределительных терминалов по географико-инфраструктурным соображениям, даже при условии большой разницы в объёме грузовой работы железнодорожных терминалов.

Таким образом, предлагается новая модель определения местоположения сети грузораспределительных терминалов. Пусть имеется группа потребителей $C1, C2, C3, \dots, C_N$ и для удовлетворения их потребностей, исходя из типовых схем грузораспределительных терминалов и логистико-территориальных условий выбирается некоторое количество грузораспре-

делительных терминалов T_N . При условии что сумма грузовой работы всех потребителей рассматриваемого полигона $\Sigma Q_N = \text{const}$, оптимальными местами размещения грузораспределительных терминалов будут такие, при которых силы гравитационного тяготения W между различными потребителями грузопотоков и обслуживающими их грузораспределительными терминалами будут стремиться к равенству между собой:

$$W_1 = W_2 = W_3 = \dots = W_N.$$

Выбор гравитационной модели обоснован ее способностью точно оценивать устойчивость транспортных связей между терминалами и пунктами назначения. Показатель гравитационного притяжения позволяет объективно определить оптимальное расположение терминалов, минимизируя совокупные логистические издержки и обеспечивая максимальную эффективность грузоперевалки.

Расчеты для станций Батайск и Разъезд 9 км подтвердили высокую точность метода. Полученные значения гравитационных связей свидетельствуют о правильности выбора мест размещения терминалов. Применение гравитационной модели позволило учесть не только текущие объемы перевозок, но и перспективы развития транспортно-логистической системы региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Король, Р. Г.* Логистика в транспортной системе / Р. Г. Король. – СПб. : Питер, 2021. – 324 с.

2 *Числов, О. Н.* Методы рационального размещения логистических транспортно-складских комплексов и распределения грузопотоков в крупных городских агломерациях / О. Н. Числов, В. В. Трапенов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1(61). – С. 87–97.

3 *Числов, О. Н.* Модифицированный гравитационный метод в размещении распределительных терминалов портовых железнодорожных транспортно-технологических систем / О. Н. Числов, В. Л. Люц // Инженерный вестник Дона. Электронный журнал. – 2012. – № 4. – Ч. 2. – URL: <http://ivdon-ror.headmade.locum.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1420> (дата доступа: 08.09.2025).

D. V. LISOVENKO

DEVELOPMENT OF METHODS FOR FORMING A NETWORK OF CARGO DISTRIBUTION TERMINALS ON THE SITE A PORT RAILWAY

This article examines the operational features of the North Caucasus Railway's transport and logistics system, characterized by intensive unidirectional freight traffic to ports in the Azov-Black Sea basin. Key limitations of the existing infrastructure, related to the insufficient handling capacity of port stations, are analyzed. A proposed solution involves the creation of freight distribution terminals, which will optimize logistics processes and increase the capacity of the railway network.

Получено 09.10.2025

УДК 656.2.07:004.94

Н. М. ЛУГАНЧЕНКО, О. Н. ЧИСЛОВ

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону*

luganchenko.n@yandex.ru, o_chislov@mail.ru

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ЦИФРОВОГО АКСИОМАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УЗЛОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассматривается дальнейшее развитие метода цифрового аксиоматного моделирования работы мультимодальных транспортных узлов, основанного на формализации фундаментальных внутрисистемных правил и ограничений. Представлена систематизация методов цифрового аксиоматного моделирования транспортных процессов на основе структурно-логических схем, интегрирующих объекты моделирования с библиотекой алгоритмов управления через единую систему аксиомат. Данный подход позволяет перейти от фрагментарного имитационного объектного моделирования к целостному системному, верифицируемому проектированию и оптимизации транспортных процессов, что является ключевым этапом в создании цифрового двойника высокого уровня структурной архитектуры сложных транспортных систем.

Современное развитие узловых транспортных систем характеризуется переходом к созданию интегрированных мультимодальных транспортных узлов (МТУ), выступающих ключевыми элементами глобальных логистических цепей доставки грузов и пассажиров. Повышение эффективности МТУ, объединяющих железнодорожный, автомобильный, водный и иные виды транспорта, является одной из приоритетных задач перспективного развития транспортной системы страны. Однако их сложность, высокая степень взаимовлияния внутренних процессов, часто сопровождающихся возникновением транспортных конфликтов различной природы (занятие ресурса транспортных потоков, перегрузочных мощностей, складских площадей и т. п.) создают дополнительные условия, которые необходимо учитывать при их проектировании и управлении.

В настоящее время для моделирования транспортных процессов широко применяются имитационные, системотехнические, агентные, статистические и другие модели. Несмотря на свою практическую ценность, многие подходы носят описательный, частный характер и не выявляют фундаментальные причинно-следственные связи в системе. В связи с этим возникает проблема систематизации методов моделирования на основе единого универсального аппарата, обеспечивающего непротиворечивость, верифицируемость и точность получаемых результатов.

Систематизация методов моделирования представляет собой упорядочивание их в единую иерархическую структуру, основанную на строгих принципах с выделением трех взаимосвязанных уровней:

- методологического, на котором определяется базовый принцип моделирования, т. е. переход от описательных моделей к аксиоматическим. Это основа, задающая принципы организации ко всем элементам системы: каждый процесс, объект и алгоритм должен быть формализован через призму инвариантных правил – аксиомат, обеспечивающих целостность и непротиворечивость модели, делая ее не набором разрозненных сценариев, а единой структурой, подчиняющейся детерминированным законам;

- структурного (таблица 1), предлагающего иерархическую схему организации объектов и процессов моделирования в логическую цепочку, начиная от постановки системной цели (блок А) через декомпозицию на функциональные объекты (блоки Б, В) к формальному аппарату (блок Г) и реализующим его алгоритмам (блок Д). Эта структура устраняет фрагментарность, обеспечивая сквозное моделирование, при котором изменение на одном уровне автоматически проверяется на согласованность с другими через систему аксиомат;

- алгоритмического, проявляющегося в классификации алгоритмов управления (блок Д) по их функциональному назначению и, что важно, по тем аксиомам, которые они реализуют. Связь «аксиомата – алгоритм» является ядром предлагаемой систематизации, превращая библиотеку методов из набора инструментов в детерминированную систему, где каждый алгоритм отвечает за соблюдение определенного множества вариаций сценариев исполнения транспортной работы.

Таблица 1 – Уровни архитектуры аксиомат транспортных процессов

Название уровня	Характеристика	Блоки уровня
Уровень 1 – Системообразующий	Целевой объект моделирования, задающий общую функцию – интеграцию видов транспорта	Блок А: «Интегрированный мультимодальный транспортный узел (МТУ)»
Уровень 2 – Функциональные объекты (ядро моделирования)	Ключевые подсистемы МТУ, основные объекты для аксиоматного моделирования	Блок Б: «Железнодорожная инфраструктура (транспортный объект с конфликтами 1–3 родов)»
		Блок В: «Перегрузочный терминал (Порт)»
Уровень 3 – Управляющий и алгоритмический слой	Формальные правила и вычислительные методы, обеспечивающие функционирование системы	Блок Г: «Система аксиом и ограничений»
		Блок Д: «Библиотека алгоритмов транспортной работы»
Уровень 4 – Аналитический слой	Оценка адекватности и эффективности модели	Блок Е: «Обработка результатов и верификации модели»

Таким образом, аксиоматы выступают не просто как один из элементов системы, а как основа иерархии, обеспечивая их взаимосвязь, верифицируемость и детерминированность. Это позволяет говорить не просто о комплексе моделей, а о единой аксиоматической системе, пригодной для создания эффективно функционирующих цифровых двойников МТУ.

Систематизация методов цифрового аксиоматного моделирования транспортно-технологических процессов связана с взаимодействием базовых (АМТП-Б) и модернизированных (АМТП-М) моделей. Совокупность аксиомат, определяющих массив транспортных задач, поставленных перед объектом управления, представляет собой АМТП-М. Модели АМТП, не прошедшие обработку средствами теории нечетких множеств, рекуррентных нейронных сетей, теории активных систем, приняты базовыми АМТП-Б [1]. В качестве входных переменных модели АМТП

$$R(t) = \{R_{\text{пар}}, R_{\text{мсс}}, U(R_{\text{АМТП}})_V^U, R_t\}$$

принимаются количественные и качественные параметры транспортной системы $R_{\text{пар}}$; параметры блоков модельной схемы транспортного объекта $R_{\text{мсс}}$; параметры последовательности объединения вариантов процедур организации транспортной работы – $U(R_{\text{АМТП}})_V^U$, где U – процедура воздействия на последовательность выбора АМТП, V – процедура вывода результатов воздействия на последовательность выбора АМТП; временные параметры вариантов обработки транспортных средств в системе – R_t . Модель выходных параметров АМТП имеет вид

$$H(t) = \{H_{\text{пар}}, H_{\text{мсс}}, U(H_{\text{АМТП}})_V^W, H_t\},$$

где W – процедура графологической развертки рекуррентной нейронной сети (РНС) взаимодействия аксиомат транспортных процессов и их выбора в зависимости от условий эксплуатации.

Важно отметить, что РНС должна учитывать предыдущие параметры наблюдения, т. е. работать с последовательностью событий транспортных объектов. Известно, что новый временной параметр аксиоматы стационарных транспортно-технологических процессов (АСТПП)^{t+1} по новой модели АМТП-М зависит от нормативного (эталонного) значения аксиомат (АСТПП)^t и прошлых значений аксиомат (АСТПП)^{t-1} по варианту уже выполненной работы – АМТП-Б.

Эти изменения возможно учитывать в моделях управления согласно архитектуре РНС, состоящей из трех слоев параметров времен моделей АМТП, включающих набор значений аксиомат АСТПП: 1 – входной слой X (базовая модель АМТП-Б), 2 – скрытый слой H (нормативные/эталонные значения набора параметров АСТПП по возможным вариантам транспортной работы); 3 – выходной слой Y (модифицированная модель АМТП-М с учетом новых условий управления транспортной работой и новых времен АСТПП). При этом веса АСТПП и временное смещение между входным и скрытым слоями обозна-

чаются как $W(АСТТП)_{ХН}$ и $b(АСТТП)_{Н}$; веса и смещение между скрытым и выходным (модифицированным /прогнозируемым) слоем – $W(АСТТП)_{НУ}$ и $b(АСТТП)_{У}$. В архитектуру РНС вводится набор весов установленных (эталонных) параметров времен аксиомат $W(АСТТП)_{НН}$, который позволит учитывать значения предыдущих времен АСТТП при прогнозировании очередного временного значения параметра транспортной работы по варианту управления [2, 3].

На рисунке 1 представлена структурно-логическая схема, представляющая собой иерархическую модель, реализующая последовательность действий от абстрактного, системного уровня к конкретным алгоритмам управления и анализа. При этом демонстрируются формальные аксиомы и алгоритмы, которые управляют процессами транспортной системы, включающей четыре основных иерархических уровня (рисунок 1).

Блок А является центральным и интегрирующим элементом всей схемы. Данный блок задает целевую функцию системы по обеспечению беспрепятственной интеграции видов транспорта и определяет ее границы, объединяя ключевые компоненты: железнодорожный транспорт, водный транспорт, автомобильный транспорт, пути сообщения, инфраструктуру, подвижной состав, портовые устройства, терминалы, структуры управления и т. п.

Блок Б включает грузовые станции, припортовые станции, районные парки и др., их путевое развитие. Ключевыми аспектами моделирования являются формализация и разрешение системных транспортных конфликтов управления (исключение занятия единого путевого ресурса, пересечений маршрутов движения, нерационального использования пропускных и перерабатывающих способностей и т. п.).

Блок В включает погрузочно-выгрузочные устройства: железнодорожные и автомобильные рампы, причалы, тыловые склады, складские площадки, парк погрузочно-разгрузочных машин (ПРМ) и др. Его главная задача – минимизация времени оборота подвижного состава и использования погрузочно-выгрузочных устройств.

Блок Г представляет собой формальный аппарат метода, обеспечивающий единую аксиоматичность транспортно-технологических процессов.

Блок Д агрегирует конкретные вычислительные методы, управляемые определенными аксиомами блока Г. Алгоритмы сгруппированы по функциональному признаку:

Группа 1: алгоритмы управления движением (оптимизация расписания, расчет интервалов, разрешение конфликтов на плане-графике).

Группа 2: алгоритмы грузовой и терминальной работы (оптимизация плана грузовых операций, работы ПРМ, диспетчеризация техники).

Группа 3: алгоритмы планирования ресурсов (распределение локомотивов и бригад, управление парком подвижного состава видов транспорта).

Группа 4: алгоритмы сценарного и стратегического планирования (имитационное моделирование «что-если» для оценки устойчивости системы к внешним возмущениям, долгосрочный прогноз развития мощностей, автоматизированное разрешение транспортных конфликтов, выходящих за рамки оперативного управления).

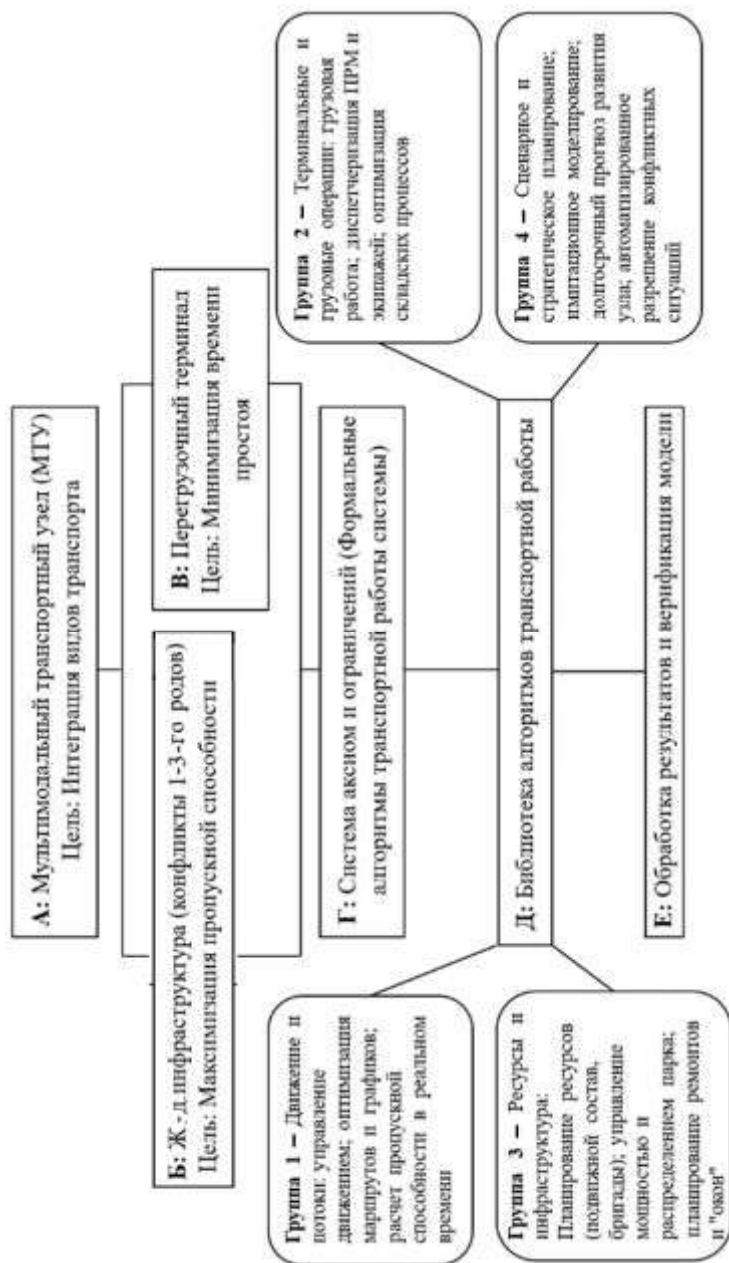


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема взаимосвязей аксиомат транспортных процессов [2]

Преимуществом предложенной архитектуры взаимосвязей аксиомат транспортных процессов является то, что АМТП выступают в роли инвариантов, которые не должны нарушаться в процессе вычислений, и используются как ограничения в целевых функциях алгоритмов [4].

Блок Е выполняет функции сбора выходных данных, расчета ключевых показателей эффективности, а также процедуры верификации (соответствие реальным данным) и валидации (соответствие аксиомам и целям системы).

Предложенная структурно-логическая схема служит основой для систематизации методов цифрового моделирования и создания целостного, верифицируемого цифрового двойника ИМТУ.

Ее применение позволяет:

- сократить время разработки моделей за счет структурирования и формализации расчетного аппарата;
- повысить адекватность цифрового двойника путем сквозного моделирования на основе единых правил-аксиом;
- выявлять и устранять системные противоречия на ранних этапах проектирования.

Таким образом, системный подход к аксиоматному моделированию мультимодальных транспортных узлов представляет собой синтез формального аксиоматического ядра с практическими алгоритмами управления, что создает методологический фундамент для построения адекватных цифровых двойников.

Следует отметить, что перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка программного комплекса, реализующего предложенную методику; детальная формализация аксиом для видов узлового транспорта (железнодорожный, автомобильный, водный, трубопроводный, воздушный, городской и др.); проведение натурных экспериментов для валидации моделей, построенных по предложенной методике.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00869, <https://rscf.ru/project/24-29-00869/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Развитие методики цифрового аксиоматного моделирования объекта транспортной инфраструктуры / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко, В. В. Хан, Н. М. Магомедова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (68). – С. 22–32.

2 Числов, О. Н. Моделирование транспортных конфликтов в интеллектуальных системах управления технологическими процессами припортовых железнодорожных станций / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023) : материалы мультиконференции. В 4 т. Т. 4. – Волгоград, 11–15 сентября 2023 года. – Волгоград : ВолгГТУ, 2023. – С. 108–111.

3 Луганченко, Н. М. Принципы интеллектуализации в методах моделирования железнодорожных транспортно-логистических процессов / Н. М. Луганченко, О. Н. Числов // Интеллектуальные транспортные системы : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 30 мая 2024 года. – М. : РУТ (МИИТ), 2024. – С. 239–246.

4 Общие принципы аксиоматики узловых транспортных процессов / Н. М. Луганченко, Е. Е. Мизгирева, А. О. Полунина, Е. В. Дараселия // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3 (60). – С. 53–58.

N. M. LUGANCHENKO, O. N. CHISLOV

ON THE ISSUE OF SYSTEMATIZATION OF DIGITAL ACCIOMAT MODELS OF TRANSPORT HUB PROCESSES

The paper proposes a further development of the method of digital axiomatic modeling of multimodal transport hubs, based on the formalization of fundamental rules and constraints that determine the system's functioning. A structural and logical scheme is presented that integrates modeling objects with a library of control algorithms through a unified system of axioms. This approach allows for a transition from fragmented object-based simulation to holistic, systematic, and verifiable design and optimization of transport processes, which is a crucial step in creating a high-level digital twin of the structural architecture of complex transport systems.

Получено 21.10.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.211.025.2(512.31)

LIU KANGNI, HE HONG

Guangzhou Railway Polytechnic, Chinese People's Republic

RESEARCH ON PASSENGER FLOW OPTIMIZATION STRATEGY OF GUANGZHOU RAILWAY PASSENGER HUB UNDER THE BACKGROUND OF MULTI-CORE LINKAGE (An Empirical Analysis Based on Prediction Model and Operational Practice)

To solve the passenger flow management problems of Guangzhou railway passenger hub group, such as «single-core overload», «transfer obstruction» and «dispatching imbalance», and support the efficient operation of the «1-hour transportation circle» in the Guangzhou – Hong Kong – Macao Greater Bay Area, this paper takes the «five main and four auxiliary» hub system as the research object and constructs a systematic analysis framework of «passenger flow prediction – bottleneck diagnosis – strategy optimization – effect evaluation».

1 Introduction

As a core node of the railway network in South China, the Guangzhou Railway Passenger Hub undertakes the strategic function of connecting the whole country and radiating the Greater Bay Area. With the implementation of the «High-speed Railway Entering the City» strategy, after the in-situ reconstruction of Guangzhou Station in 2025, the proportion of EMUs (Electric Multiple Units) will exceed 90 %, and Baiyun Station will fully undertake the general speed railway business. The hub pattern has changed from «Guangzhou South Station as the sole core» to «five main and four auxiliary» multi-core linkage. However, new contradictions in passenger flow management have emerged: the annual passenger flow of Guangzhou South Station is nearly 180 million person-times, with trains arriving and departing every 50 seconds during peak hours, and the transportation capacity is close to saturation; Metro Line 2, as the core link between hubs, had a single – day passenger flow of 1448 million person-times during the Labor Day holiday in 2025, among which the transfer between Guangzhou Station and Guangzhou South Station accounted for 17 %, and the congestion index during the morning peak exceeded 1.6. The connection of cross-mode transfers is not smooth. The traditional transfer time at Guangzhou South Station is 12–15 minutes, which is significantly different from the «1-minute extreme transfer» at Shenzhen North Station. Against this background, conducting research on accurate passenger flow prediction and systematic optimization is of urgent practical significance for improving the operational efficiency of the hub.

At present, foreign research mainly focuses on intelligent dispatching and transfer optimization. Tokyo Station realizes the same-platform transfer between railways and subways through three-dimensional space design, and London dynamically adjusts guidance strategies based on realtime passenger flow data [1, 2]. Chinese scholar Shan Xinghua and others proposed a time-series-based ticket pre-allocation model to improve the accuracy of passenger flow prediction through the weight distribution of historical data. Other studies have introduced the B–P–R model for transfer volume prediction, but they have not fully considered the passenger flow linkage characteristics between multi-core hubs [3, 4]. Existing studies lack empirical analysis on the coordinated optimization of passenger flow in hub groups after the «High-speed Railway Entering the City», especially there is a gap in the quantitative research on the cross-station transfer demand in Guangzhou. This paper conducts targeted exploration based on this.

2 Analysis of Guangzhou Railway Passenger Hub Group

2.1 Spatial Layout and Structural Characteristics

The Guangzhou Railway Passenger Hub Group follows the principle of «core leadership and regional coverage» and forms a spatial layout hierarchy of «five

main, four auxiliary and multiple nodes». Each hub has a clear functional division, and its spatial distribution conforms to the «one center and six axes» development pattern of the Guangdong – Hong Kong – Macao Greater Bay Area [5]. Figure 1 Layout Diagram of «Five Main and Four Auxiliary» of Guangzhou Railway Hub Data Source: 2025 Hub Planning Report of China Railway Guangzhou Group.

From the perspective of hierarchical relationship, the Guangzhou Railway Passenger Hub Group presents the characteristics of «three-level radiation». First-level radiation (national level): with Guangzhou South Station as the core, it connects North China and Southwest China through high-speed railways such as Beijing – Guangzhou and Guiyang – Guangzhou. During the summer transportation in 2025, the maximum daily arrival and departure passenger flow reached 711 000 person-times, exceeding the designed capacity by 42,2 % [6].

Second-level radiation (Greater Bay Area level): Guangzhou Station, Guangzhou East Station and Foshan West Station form a commuting circle in the Greater Bay Area, realizing direct access to cities such as Shenzhen, Dongguan and Huizhou within 30–60 minutes through high-speed railways such as Guangzhou – Shenzhen – Hong Kong and Guangzhou – Shanwei.

Third-level radiation (municipal level): Auxiliary hubs and peripheral nodes serve the suburbs of Guangzhou and surrounding towns. For example, Xintang South Station connects with Dongguan through the Guangzhou – Shenzhen Intercity Railway, and the average daily intercity passenger flow accounts 65 % (Table 1).

2.2 Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Passenger Flow

Based on the measured data of China Railway Guangzhou Group from January to September 2025, the passenger flow of the hub group presents the significant characteristics of «time concentration and spatial imbalance» (Figure 1).

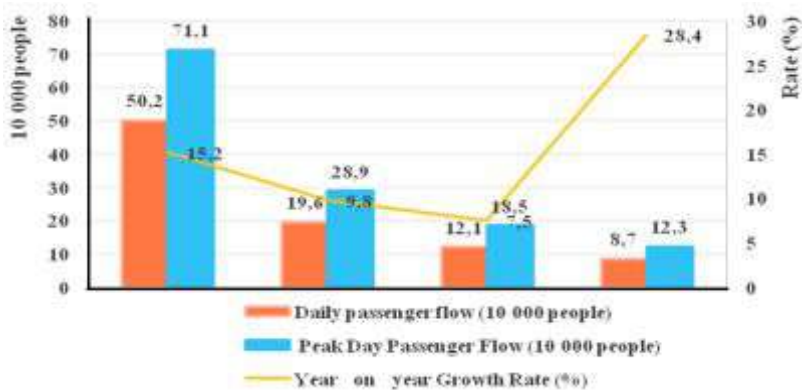


Figure 1 – Comparison of Passenger Flow Major Stations of Guangzhou Railway Hub in 2025

Table 1 – Functional Division of «Five Main and Four Auxiliary» of Guangzhou Railway Passenger Hub Group

Hub Type	Hub Name	Core Function	Connected Lines	Average Daily Passenger Flow (10000 person-times)
Main Hubs (Five Main)	Guangzhou South Station	High-speed railway trunk transportation (national hub)	Beijing – Guangzhou High-speed Railway, Guangzhou – Shenzhen – Hong Kong High-speed Railway, Guiyang – Guangzhou High-speed Railway	50,2
	Guangzhou Station	Main high-speed railway station in the central urban area	Guangzhou – Shenzhen Intercity Railway, Guangzhou – Maoming Railway (EMU transformation)	19,6
	Guangzhou East Station	High-speed railway connection in the eastern area	Guangzhou – Shenzhen – Hong Kong High-speed Railway, Guangzhou – Shanwei High-speed Railway	12,1
	Baiyun Station	Core station for general speed transportation	Beijing – Guangzhou General Speed Railway, Shanghai – Kunming General Speed Railway	8,7
	Foshan West Station	Cross-city hub on the west bank of the Pearl River	Guiyang – Guangzhou High-speed Railway, Nanning – Guangzhou High-speed Railway	7,9
Auxiliary Hubs (Four Auxiliary)	Guangzhou North Station	Northern general speed + intercity connection	Wuhan – Guangzhou High-speed Railway (intercity field), Beijing – Guangzhou General Speed Railway	5,3
	Nansha Station	Cross-border reservation for the Free Trade Zone	Shenzhen – Jiangmen Railway (under construction), Nansha Port Railway	2,8
	Xintang South Station	Eastern intercity hub	Guangzhou – Shenzhen Intercity Railway, Guangzhou – Shenzhen Intercity Railway	3,5
	Huangpu Station	Eastern freight auxiliary passenger transportation	Guangzhou – Shenzhen Railway (short-distance passenger transportation)	1,2

End Table 1

Hub Type	Hub Name	Core Function	Connected Lines	Average Daily Passenger Flow (10000 person-times)
Multiple Nodes	Qingsheng Station, Hu-men South Station, etc.	Regional short – distance connection	Guangzhou – Shenzhen – Hong Kong High – speed Railway, Dongguan – Huizhou Intercity Railway	0,8–1,5

Data Source: January – September 2025 Operation Statistics Report of China Railway Guangzhou Group; Passenger flow data is the average daily arrival and departure volume, including railway and intercity passenger flow.

Unit: 10 000 person-times / day. The year on year growth rate is based on the same period in 2024. Data Source: 2025 Operation Statistics Report of China Railway Guangzhou Group ($n = 273$ operating days).

It can be seen from Figure 1 that the major stations of the Guangzhou Railway Hub have the following characteristics:

- Passenger Flow Concentration: The average daily passenger flow of Guangzhou South Station (502 000 person-times) is 2,6 times that of Guangzhou Station (196 000 person-times), which ranks second. The passenger flow on peak days (711 000 person-times) exceeds the designed capacity by 42,2 %, and the problem of «single-core overload» is prominent;
- Growth Difference: Due to fully undertaking the general speed train business, the average daily passenger flow of Guangzhou Baiyun Station increased by 28,4 % year on year (68 000 person-times / day in 2024), making it the station with the fastest growth in the hub group, which verifies the diversion effect of the «general speed railway relocation» strategy;
- Gradient Distribution: The passenger flow of the hub presents a gradient pattern of «Guangzhou South Station – Guangzhou Station – Guangzhou East Station – Guangzhou Baiyun Station». The average daily passenger flow of auxiliary hubs (such as Guangzhou North Station and Nansha Station) is less than 50000 person-times, failing to give full play to the diversion role (Figure 2).

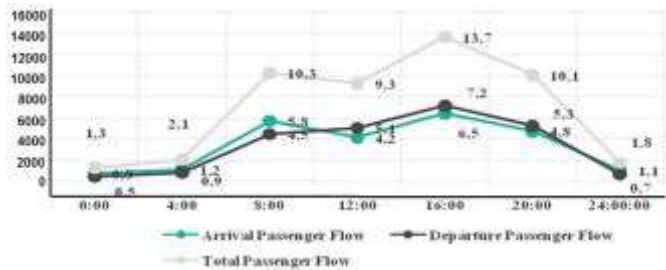


Figure 2 – Passenger Flow Time Distribution of Guangzhou South Station on August 1, 2025 (Peak Day of Summer Transportation)

Data Source: Realtime Passenger Flow Monitoring System of Guangzhou South Station (fusion of infrared camera and gate data).

It can be seen from Figure 2 that the Guangzhou Railway Hub has the following core characteristics in terms of time:

1 Three-peak Pattern: On that day, there were a morning peak (8:00–9:00, total passenger flow of 103 000 person-times / hour), a noon peak (12:00–13:00, 93 000 person-times / hour) and an evening peak (16:00–17:00, 137 000 person-times / hour). The evening peak was the peak passenger flow of the day, and 30 % additional transportation capacity needed to be allocated.

2 Trough Period: The total passenger flow from 0:00 to 4:00 remained below 21 000 person-times / hour, and this period can be used for facility maintenance and cleaning operations.

3 Arrival – Departure Peak Shifting: The departure passenger flow during the evening peak (72 000 person-times / hour) was significantly higher than the arrival passenger flow (65 000 person-times / hour), so it is necessary to focus on strengthening the guidance in the waiting area and the ticket checking organization.

To sum up, two conclusions are drawn:

1 Spatial Imbalance: The passenger flow density of Guangzhou South Station (502 000 person-times / km²) is 17,9 times that of Nansha Station (28 000 person-times / km²), and the problem of «single-core concentration» is still prominent.

2 Time Concentration: The passenger flow on peak days presents a «three-peak and three-trough» pattern. The total passenger flow during the evening peak (16:00–17:00) reaches 137 000 person-times / hour, which is 6,5 times that of the trough period (0:00–4:00).

2.3 Line and Transportation Capacity Matching

The lines connected to the hub group include three types: general speed, intercity and high-speed railways. The total operating mileage in 2025 will reach 1 280 km, but the transportation capacity matching degree of different hubs varies significantly, as shown in Table 2.

The transportation capacity utilization rates of various stations are in an unbalanced state. Some hubs have tight transportation capacity. For example, the utilization rates of the two core high-speed railway lines at Guangzhou South Station exceed 120 %, with a total transportation capacity gap of 124 000 person-times / day, which can be alleviated by double-decker trains and additional temporary trains. Some hubs have surplus transportation capacity. For example, the utilization rates of some lines at Foshan West Station and Guangzhou Station are less than 90 %, resulting in waste of transportation capacity. The utilization efficiency can be improved through passenger flow guidance and schedule optimization.

Table 2 – Transportation Capacity Utilization Rate of Major Lines of Guangzhou Railway Passenger Hub Group in 2025

Hub Name	Core Connected Lines	Designed Capacity (10,000 person-times / day)	Actual Capacity (10,000 person-times / day)	Utilization Rate (%)	Transportation Capacity Gap (10 000 person-times / day)
Guangzhou South Station	Beijing – Guangzhou High-speed Railway	35,0	42,1	120,3	7,1
	Guangzhou – Shenzhen – Hong Kong High-speed Railway	20,0	25,3	126,5	5,3
Guangzhou Station	Guangzhou – Shenzhen Intercity Railway	15,0	12,8	85,3	– 2,2
	Guangzhou – Maoming Railway (EMU)	8,0	6,8	85,0	– 1,2
Baiyun Station	Beijing – Guangzhou General Speed Railway	10,0	8,7	87,0	– 1,3
Foshan West Station	Guiyang – Guangzhou High-speed Railway	12,0	7,9	65,8	– 4,1
Data Source: 2025 Train Operation Diagram and Passenger Flow Statistics Report of China Railway Guangzhou Group. Transportation capacity utilization rate it is actual capacity divide on designed capacity multiply 100 %, negative value indicates surplus transportation capacity.					

3 Construction of Core Models and Data Foundation

3.1 Improved Passenger Flow Prediction Model

3.1.1 Model Construction

Based on the time-series model framework of Shan Xinghua and others, holiday weights and hub linkage coefficients are introduced to construct an *OD* passenger flow prediction model suitable for multi-core hub groups [3]:

$$X_t^{OD} = W_a \sum_{i=1}^n W_{at} X_{t-i}^{OD} + W_{y1} X_{ty1}^{OD} + W_{y2} X_{ty2}^{OD} + W_h \Delta H_t.$$

In the formula X_t^{OD} – passenger flow of a certain *OD* pair on the predicted day t ; X_{t-i}^{OD} – historical data of *OD* passenger flow in the same period of day $t - i$; $X_{ty1}^{OD}, X_{ty2}^{OD}$ – *OD* passenger flow data in the same period of last year and the year before last; W_a – total weight of recent data (0,6–0,8), W_{at} – weight of historical da-

ta in each period ($\sum W_{at} = 1$); W_{y1} , W_{y2} – weights of data in the same period (0,15–0,25 and 0,05–0,15 respectively); W_h – hub linkage coefficient (0,1–0,3 during the construction of Guangzhou – Nanning Interconnection Line); ΔH_t – change in the new transportation capacity of the hub group on day t .

3.1.2 Weight Calibration

The least square method is used to fit the data from January 2023 to December 2024, and the optimal weight combination is obtained: $W_a = 0,7$; $W_{y1} = 0,2$; $W_{y2} = 0,1$; $W_h = 0,25$. The model goodness of fit $R^2 = 0,92$, and the prediction error rate is less than 8 %.

3.2 Improved B–P–R Transfer Volume Prediction Model

3.2.1 Model Modification

With reference to the principle of traffic distribution prediction, the transfer mode adaptation coefficient is introduced to modify the B–P–R transfer volume model [7]:

$$H_{ij} = I_i \frac{D_j f(C_{ij}) K_{ij}}{\sum_{j=1}^n D_j f(C_{ij}) K_{ij}}.$$

Among them, the transfer impedance function:

$$f(C_{ij}) = \alpha e^{-\beta C_{ij}} + \gamma.$$

In the formula H_{ij} – transfer volume from transportation mode i to j ; I_i – passenger flow aggregation volume of mode i ; D_i – passenger flow evacuation volume of mode j ; C_{ij} – transfer impedance (minutes), including walking, queuing and other time-consuming; K_{ij} – transfer adaptation coefficient (1,0 – for high-speed railway – subway; 0,8 – for general speed railway – bus); α , β , γ – parameters (calibrated to 1,2; 0,15 and 0,05 respectively).

3.2.2 Parameter Verification

Based on the measured data of Guangzhou South Station in March 2025 (5 transfer modes, 100 000 samples), the average deviation between the predicted value and the actual value of the model is 6,3 %, which meets the accuracy requirements.

3.3 Data Sources and Preprocessing

The data in this paper covers three types of core data sources:

1 Railway Operation Data: Arrival and departure passenger flow, train operation diagram and pre-sold ticket data of the hub group from 2023 to 2025 of China Railway Guangzhou Group, including key indicators such as the average daily 500 000 person-times at Guangzhou South Station and 196 000 person-times at Guangzhou Station on the first day of the Spring Festival travel rush [12].

2 Transfer Monitoring Data: Passenger flow records of Metro Line 2 from 2023 to 2025 of Guangzhou Metro Group, including data such as 183 000 person-times / day of section passenger flow and 450,000 person-times / day of transfer station passenger flow [13].

3 Field Survey Data: 1 200 passenger questionnaires conducted at Guangzhou South Station and Guangzhou Station from April to May 2025, covering subjective evaluation data such as transfer time consumption and satisfaction.

For data preprocessing, Lagrange interpolation is used to fill in missing values, and outliers are eliminated through the 3σ criterion. Finally, the effective sample size is 98,7 %.

4 Passenger Flow Characteristics and Core Bottlenecks of Guangzhou Railway Hub

4.1 Passenger Flow Distribution Characteristics

1 Time Distribution: It presents the characteristic of «three-peak superposition». The passenger flow during the morning peak (7:30–9:00) on working days accounts for 22 %, a secondary peak is formed in the afternoon (14:00–16:00) on weekends, and the peak daily passenger flow during holidays (such as May Day) increases by 43,9 % compared with usual days (data of Guangzhou North Station). During special periods such as the Spring Festival travel rush and summer transportation, the average daily passenger flow of Guangzhou South Station exceeds 600 000 person-times, exceeding the designed capacity by 30 %.

2 Spatial Distribution: Guangzhou South Station undertakes 62 % of the high-speed railway passenger flow, showing a «single-core overload» situation; The cross-hub passenger flow is significant, with an average daily transfer of 74 000 person-times between Guangzhou Station and Guangzhou South Station, accounting for 17 % of the total passenger flow of Line 2. Foshan West Station radiates the west bank of the Pearl River, and the average daily passenger flow during the summer transportation in 2025 exceeded 80 000 person-times, an increase of 38 % year on year.

3 Transfer Characteristics: Subway is the core transfer mode, and 60–70 % of the arrival passenger flow at Guangzhou South Station is evacuated by subway; There are significant differences in the time consumption of cross-mode transfers. The average time for transferring from high-speed railway to subway is 12 minutes, which is 8 minutes more than that through the «mutual recognition of security checks» channel.

4.2 Bottleneck Diagnosis Based on Models

1 Imbalanced Transportation Capacity Matching: Calculated by the improved OD prediction model, the demand for the Guangzhou South – Shenzhen North OD pair during the National Day peak in 2025 will reach 82 000 person-times /

day. The passenger load factor of the existing 30 pairs / day trains continues to exceed 95 %, and the transportation capacity gap reaches 25 %. However, the passenger load factor of the Guangzhou East – Huizhou route during the off-peak period is only 62 %, resulting in unbalanced resource allocation.

2 Excessively High Transfer Impedance: Calculated by the B–P–R model, the average impedance of transferring from high-speed railway to subway at Guangzhou South Station is 14,2 minutes, among which the time spent on queuing for security check accounts for 58 %; Compared with the «integrated verification and security check» mode of Shenzhen North Station, the transfer impedance is 11,7 minutes higher, resulting in a transfer satisfaction of only 68 points (out of 100) [7].

3 Lack of Coordinated Dispatching: The passenger flow prediction of the hub group shows that after the high-speed railway transformation of Guangzhou Station, the general speed transfer demand with Baiyun Station has increased by 42 %. However, the existing train operation diagram has not realized the cross-station time connection, and an average of 12 000 person-times face the risk of insufficient transfer time of less than 20 minutes every day (Table 3).

Table 3 – Quantitative Table of Passenger Flow Bottlenecks of Major Railway Hubs in Guangzhou (Measured in 2025)

Hub Name	Average Daily Passenger Flow, 10,000 person-times	Over-capacity Rate, %	Average Transfer Time, minutes	Passenger Flow Prediction Error Rate, %	Satisfaction Score, points
Guangzhou South Station	50,2	30,5	14,2	7,8	68
Guangzhou Station	19,6	12,3	10,5	6,5	75
Baiyun Station	8,7	8,1	11,3	9,2	72
Guangzhou East Station	12,1	15,7	9,8	7,1	76

5. Passenger Flow Optimization Strategy of Guangzhou Railway Hub

5.1 Accurate Transportation Capacity Allocation: Optimization of Ticket Quota and Schedules Based on Intelligent Prediction

1 Dynamic Ticket Pre-allocation: Apply the improved OD prediction model and implement a «three-level pre-allocation mechanism»: Pre-allocate 60 % of the tickets according to the basic demand 15 days in advance. Adjust 25 % of the tickets 3 days in advance based on the waiting list ticket purchase data (weight 0,3). Allocate the remaining 15 % of the tickets according to the realtime passenger flow 24 hours before departure. Taking the Guangzhou South – Shenzhen North line as an example, after optimization, the passenger load factor during peak hours is maintained at 85–90 %, and the waiting list fulfillment rate is increased to 92 % [5].

2 Flexible Schedule Dispatching: Establish a «multiple operation diagrams per day» response mechanism, and trigger transportation capacity adjustments accord-

ing to the predicted passenger flow threshold: when the OD demand exceeds the baseline value by 20 %, add double-decker trains (each train increases 680 seats); when the demand is 30 % lower than the baseline value, implement the combined operation of «long and short routes». During the May Day holiday in 2025, 42 additional temporary trains were added through this mechanism, relieving 126 000 person-times of peak passenger flow [12].

5.2 Improvement of Transfer Efficiency: Facility Optimization and Process Reengineering

1 Upgrading of Three-dimensional Transfer Facilities: Build 2 new cross-floor transfer corridors at Guangzhou South Station to realize the vertical direct connection between the high-speed railway platform and Metro Line 2, shortening the walking distance from 350 meters to 80 meters; Referring to the mode of Shenzhen North Station, integrate the verification and security check channels into 28 multi-functional platforms, reducing the distance between channels from 67 meters to 2.5 meters [7].

2 Cross-departmental Process Collaboration: Expand the scope of «mutual recognition of security checks» to realize full-channel no-secondary security checks between Guangzhou South Station, Guangzhou Station and Metro Lines 2 and 7. Establish a transfer information sharing platform, and push the connection schedule of «high-speed railway arrival – subway departure» in real time through intelligent screens, increasing the matching degree from the existing 65–90 %.

3 Deployment of Intelligent Guidance System: Install 120 adaptive guidance screens at transfer nodes, which dynamically adjust the indication direction based on realtime passenger flow data from cameras (updated every 1 minute). The passenger flow balance between the east and west entrances is improved from 4:6 before optimization to 4,8:5,2.

5.3 Collaboration of Hub Group: Cross-station Linkage and Integrated Dispatching

1 Passenger Flow Diversion via Interconnection Lines: In view of the 2027 opening plan of the Guangzhou – Nanning Interconnection Line, formulate the «cross-station diversion plan» in advance: adjust 30 % of the high-speed railway services from Guangzhou South Station to western Guangdong to start from Guangzhou Station, and realize the passenger flow complementarity between the two stations through the 15-minute direct interconnection line. It is expected to reduce the overcapacity rate of Guangzhou South Station by 12 percentage points [6].

2 Cross-station Timing Coordination: Build a hub group dispatching center to realize the «synchronized preparation and dynamic adjustment» of the train operation diagram. For example, the connection interval between the high-speed railway arrival time at Guangzhou Station and the general speed train departure time at Baiyun Station is optimized from the existing 15–40 minutes to a golden transfer window of 25–30 minutes, reducing the transfer risk rate by 78 %.

3 Emergency Linkage Mechanism: Establish a passenger flow early warning hierarchical response system (Table 4). When the passenger flow of a hub reaches the early warning threshold, cross-station support is automatically triggered: in case of a blue warning, increase guidance staff and open all channels. In case of a yellow warning, start the intelligent guidance screens and contact the subway to increase the frequency of trains. In case of an orange warning, activate the standby waiting area and add temporary trains; In case of a red warning, implement cross-station diversion and start the ground bus connection plan.

6 Simulation Verification of Optimization Effect

An operational simulation model of Guangzhou South Station was built based on AnyLogic, and the peak passenger flow data of the May Day holiday in 2025 (average daily 580 000 person-times) was input to verify the effect of the optimization strategy[10].

Table 4 – Hierarchical Response Standards for Passenger Flow Early Warning of Guangzhou Railway Hub

Early Warning Level	Trigger Condition (Hub Passenger Flow)	Response Measures	Responsible Entity	Response Time Limit
Blue	Reaching 80 % of the designed capacity	Increase guidance staff and open all channels	In-station operation team	5 minutes
Yellow	Reaching 90 % of the designed capacity	Start intelligent guidance screens and contact the subway to increase train frequency	Hub Operation Center	3 minutes
Orange	Reaching 100 % of the designed capacity	Activate the standby waiting area and add temporary trains	China Railway Guangzhou Group + Transportation Bureau	10 minutes
Red	Exceeding the designed capacity by 10 %	Implement cross-station diversion and start the ground bus connection plan	Municipal Transportation Special Team + China Railway Guangzhou Group	15 minutes

6.1 Improvement of Key Indicators

The simulation results show that after the implementation of the three-dimensional optimization strategy, the operational efficiency of the hub is significantly improved.

1 Transportation Capacity Matching Degree: The standard deviation of train passenger load factor during peak hours decreased from 18,6 to 7,2 and the transportation capacity waste rate decreased by 22 %.

2 Transfer Efficiency: The average transfer time was shortened from 14,2 minutes to 9,2 minutes, and the time spent on security checks was reduced by 61 %.

3 Congestion Status: The congestion index of the waiting area decreased from 1,62 to 1,17, and the traffic capacity of the entrance channel increased by 35 %.

4 Passenger Satisfaction: The predicted score increased from 68 to 85 points, among which the satisfaction with transfer experience improved the most (+21 points) (Figure 3).

6.2 Sensitivity Analysis

A sensitivity test was conducted on the passenger flow changes after the opening of the Guangzhou – Nanning Interconnection Line. The results show that when the cross-hub transfer volume increases by 30 %, the optimized dispatching system can still keep the transfer time below 10 minutes. Even if there is a 20 % prediction deviation, the flexible transportation capacity mechanism can complete the response within 15 minutes, verifying the robustness of the strategy.

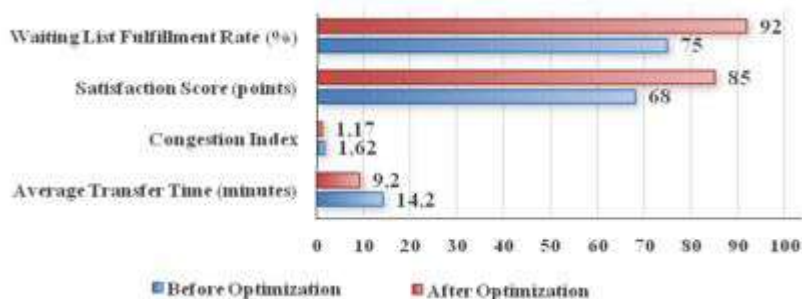


Figure 3 – Comparison of Operational Indicators of Guangzhou South Station Before and After Optimization

7 Conclusions and Prospects

7.1 Research Conclusions

1 The passenger flow of the Guangzhou Railway Hub presents the characteristics of «three-peak superposition in time, single-core concentration in space, and subway-dominated transfer». The core bottlenecks are reflected in the imbalance of transportation capacity matching, excessively high transfer impedance, and lack of coordinated dispatching. Among them, the overcapacity rate of Guangzhou South Station reaches 30,5 %, and the transfer time is 11,7 minutes higher than the optimal level [7].

2 The improved time-series OD prediction model $R^2 = 0,92$ and B–P–R transfer volume model (deviation rate 6,3 %) can accurately quantify the passenger

flow demand of the multi-core hub group, providing reliable technical support for optimization decisions.

3 After the implementation of the «three-dimensional optimization strategy» of «transportation capacity allocation-transfer improvement-intra-group collaboration», the peak transfer efficiency of the hub is increased by 35 %, the congestion index is decreased by 28 %, and the satisfaction score is increased by 17 points, verifying the effectiveness and feasibility of the strategy.

7.2 Research Prospects

This study does not cover the actual operation data after the opening of the Guangzhou – Nanning Interconnection Line. In the future, the parameters of the prediction model can be dynamically corrected based on the passenger flow monitoring results after the line is opened. The next step can deepen the research directions: first, construct a passenger flow allocation model for the multi-mode collaboration of «high-speed railway – subway – bus». Second, explore the full-process simulation optimization of the hub group based on digital twin technology to further improve the intelligence level of passenger flow management [8].

REFERENCES

- 1 Shan, X. H. Research on Intelligent Pre-allocation of Railway Passenger Train Tickets / X. H. Shan // China Railway Science. – 2022. – 43 (4). – P. 138–145.
- 2 Li, J. Prediction of Passenger Transfer Volume in Comprehensive Transportation Hubs Based on B–P–R Model / J. Li // Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2025, 25 (3). – P. 89–96.
- 3 Wang, Y. Y. Research on Passenger Flow Organization and Optimization Methods of Railway Passenger Stations / Y. Y. Wang // Railway Transport and Economy. – 2024. – 46 (3). – P. 78–85.
- 4 Southern Metropolis Daily. 2025 Summer Transportation Concludes, Guangzhou's Passenger Flow is «Hot». – URL: http://m.toutiao.com/group/754563167097423_5145/ (data of access: 09.03.2025).
- 5 Liu, M. Collaborative Optimization of Railway Ticket Pre-allocation Scheme and General Sales Strategy / M. Liu, C. Zhang // Journal of the China Railway Society. – 2024. – 46 (8). – P. 1–8.
- 6 Chen, F. Research on the Coordinated Development Mechanism of Railway Hub Groups in Megacities – A Case Study of Shanghai / F. Chen // Urban Transport of China. – 2023. – 21 (3). – P. 45–52.
- 7 Comparative Analysis of Transfer Convenience between Guangzhou South Station and Shenzhen North Station. – URL: https://www.sohu.com/a/687234519_121124363 (data of access: 04.09.2025).
- 8 Guangzhou Municipal Development and Reform Commission. 14-th Five-Year Plan for the Development of Urban Infrastructure in Guangzhou. – URL: <http://www.gz.gov.cn/gzdt/t1325106.shtml> (data of access: 04.09.2025).
- 9 Wang, J. E. Spatial Organization and Service Efficiency of China's High-speed Railway Network / J. E. Wang, J. J. Jiao // Acta Geographica Sinica. – 2020. – 75 (2). – P. 219–234.

10 Li, M. Simulation Optimization of Security Check System in Railway Passenger Stations Based on AnyLogic / M. Li, L. Zhao // Railway Standard Design. – 2024. – 68 (5). – P. 156–161.

11 Zhang, Q. Optimization of the Division Scheme of High-speed Railway Hub Passenger Stations Considering Passenger Travel Convenience / Q. Zhang // Journal of Railway Science and Engineering. – 2024. – 21 (2). – P. 489–497.

12 China Railway Guangzhou Group Co., Ltd. Operational Analysis Report of 2025 Summer Transportation. – Guangzhou : China Railway Guangzhou Group Co., Ltd., 2025. – P. 230–245.

13 Guangzhou Metro Group Co., Ltd. 2025 Summer Transportation Passenger Flow Statistics. – Guangzhou : Guangzhou Metro Group Co., Ltd., 2025. – P. 187–224.

14 Smith, M. J. Dynamic Passenger Flow Management in Urban Railway Hubs Using Real-time Data / M. J. Smith, A. B. Johnson. – Transportation Research Part A, 2023. – P. 172.

15 Liu, B. Collaborative Development Mechanism of Railway Hub Groups in Megacities: A Case Study of Shanghai / B. Liu, F. Chen // Journal of Transportation Engineering. – 2023. – P. 149.

ЛЮ КАННИ, ХЭ ХУН

**СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ
ПАССАЖИРОПОТОКАМИ ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПАССАЖИРСКОГО ХАБА ГУАНЧЖОУ
(Модели прогнозирования на основе статистических данных)**

Рассматривается возможность формирования в мегаполисе Гуанчжоу пассажирского пересадочного хаба, в который входят пять основных и четыре вспомогательные станции. На основе прогнозирования величины пассажиропотока производится анализ узких мест с оперативным перераспределением пассажиропотока с целью получения максимального значения критерия 1-часовой доступности в регионе Большого залива по направлениям Гуанчжоу – Гонконг и Гуанчжоу – Макао.

Получено 20.09.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК (355.455:357.3)"1941"

Д. В. ЛЯПОРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ОТМОБИЛИЗОВАНИЕ ВОИНСКИХ ЧАСТЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК
В ПЕРВЫЕ ДНИ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ**

Показана роль железнодорожных войск в первые дни Великой Отечественной войны.

Внезапное нападение гитлеровской Германии на Советский Союз застало части железнодорожных войск на выполнении работ по реконструкции и строительству железных дорог вдали от постоянной дислокации. Так как от мобилизование железнодорожных частей как комплекс мероприятий по переходу воинских частей и соединений на военное время планировалось провести в этих пунктах, а часть воинских частей не смогли вернуться в районы и пункты от мобилизации, то в первые дни войны сложилась ситуация, при которой сроки готовности частей по мобилизационному плану были сорваны, в связи с чем пункты и сроки от мобилизации большинству частей железнодорожных войск пришлось назначать новые [1, с.122–123].

Так, 11-я отдельная железнодорожная бригада (ОЖДБР) вместо 5 дней мобилизации смогла начать свои действия только с 15 июля 1941 года. На 9-е сутки укомплектованность ее частей командным составом составляла от 50 до 90 %, сержантами – от 24 до 71 %, рядовым составом – от 53 до 90 %, техническим имуществом – от 30 до 50 %, автотранспортом – 30 %, винтовками – 40 % [3, л. 1-31]). 19-я ОЖДБР приступила к выполнению задач на 25-е сутки, а 28-я бригада – на 34-е сутки.

В основном от мобилизации воинских частей железнодорожных войск было закончено к концу июля 1941 г. Но в то же время части 6-й ОЖДБР (командир – Терюхов Д. А. (рисунок 1) при получении телеграммы о мобилизации 22 июня, за исключением управления бригады и 3-й отдельной роты, в ночь с 22 на 23 июня 1941 г. и днем 23 июня своевременно и организованно, в полном составе были отправлены по железной дороге к месту своего оперативного предназначения. При этом следует отметить, что 6-я ОЖДБР представляла собой соединение железнодорожных войск с тяжелой техникой, требовавшее в тяжелых условиях начала войны умелого управления.

В результате оперативных действий командования 6-й ОЖДБР были от мобилизованы с 26-я ОЖДБР, 8-й запасной эксплуатационный железнодорожный полк, 10-й железнодорожный полк, 52-я, 53-я и 54-я отдельная эксплуатационные железнодорожные бригады. При этом 26-я ОЖДБР уже к 1 июля 1941 г. приступила к обеспечению функционирования железнодорожных участков Витебск – Полоцк – Смоленск, Смоленск – Орша и Орша – Лепель [4, л. 2].

Так, при выполнении задач по заграждению железных дорог в ночь на 13 июля были подорваны железнодорожные пути в Оршанском железнодорожном узле, 18 и 19 июля – на станциях Осиновка, Гусино и на примыкавшим к ним перегонам, 24 июля – на станции Катынь, 27 июля – Красный Бор, Смоленск, Духовская, Кардымово [5, л. 17, 47].



Рисунок 1 – Терюхов
Дмитрий Андреевич

Согласно мобилизационному плану и шифротелеграмме Штаба ЗапОВО управление бригады дислоцировалось с начала войны в г. Барановичи и оставалось фактически и юридически без частей, и только в ночь с 29 на 30 июня 1941 г. командиром бригады был получен приказ Начальника военных сообщений Западного фронта принять в состав бригады 8-ю и 14-ю ОВЖДБ, которые располагались на станции Свислочь [4, л. 2–3].

25 июня 1941 г. по приказанию Начальника военных сообщений Западного фронта Управление бригады было передислоцировано из г. Барановичи на ст. Столбцы с задачей руководить эксплуатацией железнодорожного участка Столбцы – Барановичи. Эту задачу Управление бригады выполняло в течение 26 июня 1941 г. В результате было отправлено в тыл несколько порожних составов и обеспечена погрузка воинских эшелонов. Вечером 26 июня были получены сведения о приближении танковых сил противника.

Для обороны станции командир бригады взял под свое руководство бронепоезд № 44, проходивший через Столбцы со ст. Молодечно и бронепоезд НКВД, дислоцировавшийся на ст. Столбцы, и вечером 26 июня по боевой тревоге был организован тренировочный выезд бронепоезда на наиболее вероятное направление движения танков.

Также была организована связь и установлено взаимодействие с начальником ПВО ст. Столбцы полковником Шафранским и находившейся в лесу юго-восточнее артиллерийской частью. По приказу командира бригады из района ст. Лида 26 июня 1941 г. прибыл на ст. Столбцы 5-й отдельный восстановительный железнодорожный батальон, направленный согласно приказанию Штаба Западного Особого военного округа в первый день войны. 26 июня на ст. Столбцы прибыла 3-я отдельная рота механизации железнодорожных работ из района г. Барановичи, оставленная по приказу Начальника ВОСО фронта и встретившая там к вечеру 25 июня танки противника.

В сопровождении небольшой команды бойцов и командиров к 26 июня на ст. Столбцы прибыл также эшелон 4-го отдельного железнодорожного батальона, который не смог пробиться по железной дороге в г. Полоцк.

Бронепоезда, занимавшие в это время позиции в укрытии за станционными зданиями, по приказанию командира 6-й ОЖДБР, полным ходом вышли по изученному накануне маршруту и открыли артиллерийский огонь по танковым силам противника [6, л. 3–4]. В результате два вражеских танка после первых же выстрелов бронепоездов загорелись [7, л. 468]. Огнем бронепоездов было разбито несколько замаскированных автомашин противника, сосредоточенных по обочинам шоссе.

Командир 6-й ОЖДБР, не имея приказа оставлять ст. Столбцы и рассчитывая на прибытие подкреплений для обороны района, поставил задачу 5-му отдельному восстановительному железнодорожному батальону и 3-й отдельной роте механизации железнодорожных работ, которые находилась до этого времени в укрытиях на восточной окраине, уничтожить противника, занявшего ст. Столбцы и выйти на западную окраину станции. Несмотря на то, что противник был отлично вооружен автоматическим оружием и под-

держивался батареей 3-го орудийного состава, подразделения стремительно ворвались в город и навязали противнику уличный бой, доходивший до рукопашных схваток. Не выдержав стремительного удара бойцов железнодорожных подразделений, которые были вооружены только одними винтовкам, через 30–40 минут упорного боя противник оставил город, оружие и снаряжение. Были захвачены трофеи: 2 ручных пулемета, 4 автомата, 3 пистолета и более сотни ручных гранат [6, л. 4–5].

К вечеру 27 июня 6-я ОЖДБР под ожесточенным огнем авиации противника сосредоточилась на ст. Негорелое. Командир бригады, не имея в районе ст. Негорелое никаких своих войск и связи со Штабом фронта, принимает решение о переезде в ночь с 27 на 28 июня на ст. Осиповичи тремя эшелонами, с двумя бронепоездами по маршруту Негорелое – Минск – Осиповичи. Маршрут пролегал через местность, уже покинутую нашими войсками и частично уже занятую авиадесантом противника. На ст. Осиповичи штабу железнодорожной бригады удастся установить связь со Штабом фронта, где имеющиеся бронепоезда были переданы бригадой представителю Начальника ВОСО фронта полковнику Буинову.

В течение 28 и 29 июня Управление 6-й ОЖДБР совместно с 5-м отдельным восстановительным железнодорожным батальоном и 3-й отдельной ротой механизации железнодорожных работ готовила команды для сопровождения железнодорожных транспортов, находящихся предположительно в районе Минска. 30 июня командиром бригады был получен приказ от Начальника ВОСО фронта об организации заграждений на ст. Осиповичи силами одного батальона.

При передислокации на ст. Могилев 6-я ОЖДБР попадает под ружейно-пулеметный огонь противника на станции Свислочь. Так как железная дорога на Могилев была перерезана, дальнейшее продвижение эшелонов было возможно только после уничтожения или оттеснения противника от железной дороги. Командир бригады принял решение силами 8-го и 14-го батальонов уничтожить противника и вывести части и эшелоны на восточный берег реки Березина, при этом 8-му батальону была поставлена задача захватить железнодорожный мост через реку, а 14-му батальону – выйти на западный берег реки Березина правее железной дороги. В результате боя 8-й отдельный восстановительный железнодорожный батальон, возглавляемый командиром батальона майором Коллеговым, прорвался почти к самому мосту, при этом захватив один станковый пулемет, артиллерийское орудие, несколько единиц автомобильной техники, оружие и боеприпасы. Дальнейшее продвижение батальона было остановлено сильным минометным огнем противника и танками, стоящими вблизи моста. Батальон залег и в течение 6 часов под минометным, пулеметным и орудийным огнем танков противника держал в напряжении все средства противника.

В результате этого боя и других активных противодействий продвижению противника командованием были сделаны выводы о возможности ве-

дения эффективных оборонительных сражений даже в условиях поддержки наступающих немецких пехотных частей артиллерией и авиацией врага. Благодаря таким мерам, принятым в первые дни войны, железнодорожные войска успешно выполняли боевые задачи по заграждению и восстановлению инфраструктуры железных дорог, максимально замедля наступательный ритм гитлеровских армий и нанося им большой урон в живой силе и технике.

Приведенные факты вопреки существующему мнению о массовом срыве мобилизационных планов войск СССР доказывают, что, несмотря на сложную обстановку на Западном фронте, 6-я ОЖДБР смогла своевременно и организовано отмотилизовать другие части железнодорожных войск, хотя сама при этом несколько дней находилась в составе только Управления бригады.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Железнодорожные войска в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. / под ред. Начальника железнодорожных войск Российской Федерации Г. И. Когатко. – М. : Альпари, 1995. – 360 с.

2 Тыл Советской Армии в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. – В 3 ч. Ч. 2 и 3. – Ленинград : БАТТ, 1963. – С. 150–165.

3 ЦАМО РФ. Ф. Упр. ж.-д. войск. Оп. 552594с. Л. 1–31.

4 Память Народа. Боевые действия 6-й ОЖДБР. – URL: https://pamyat-naroda.ru/documents/view/?id=454713261&backurl=q%5C6%20ождбр:use_main_string%5Ctrue:gro- up%5Call::types%5Copersvodki:rasporyajeniya:otcheti:peregovori:jbd:direktivi: pri- kazi:pos-natoleniya:dokladi:raporti:doneseniya:svedeniya:plani:plani_operaciy:karti:shemi: spravki:drugi&static_hash=8e59f17d0db925d8fede457f37641e32v1 (дата обращения: 09.08.2025).

5 ЦАМО РФ. Ф. 208. Оп. 2557. Д. 20. Л. 17, 47.

6 Память Народа. Боевые действия 6-й ОЖДБР. – URL: https://pamyat-naroda.ru/documents/view/?id=454713261&backurl=q%5C6%20ождбр:use_main_string%5Ctrue::group%5Call::types%5Copersvodki:rasporyajeniya:otcheti:peregovori:jbd:direktivi: prkazi:posnatovleniya:dokladi:raporti:doneseniya:svedeniya:plani:plani_operaciy:karti:shemi:spravki:drugie&static_hash=8e59f17d0db925d8fede457f37641e32v1 (дата обращения: 01.10.2025).

7 Память Народа. ЦАМО. Ф. 33. Оп. 682524. Д. 587. – URL: https://pamyat-naroda.ru/heroes/podvig-chelovek_predstavlenie150066901/ (дата обращения: 01.10.2025).

D. V. LIAPOROV

MOBILIZATION OF MILITARY UNITS AND FORMS RAILWAYTROPS IN THE EARLY DAYS OF THE GREAT PATRIOTIS WAR

The role of railway troops in the early days of the Great Patriotic War is shoun.

Получено 17.10.2025

УДК 656.2.025.4.078.8

Е. Е. МИЗГИРЕВА

*Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону*

КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ ГРУЗОВЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Исследуется вопрос снижения конкурентоспособности грузовых железнодорожных перевозок. Предлагается концепция «грузовой электрички», основные этапы реализации и особенности проекта.

Железнодорожный транспорт, исторически ставший основой логистических систем многих стран, сегодня сталкивается с беспрецедентными вызовами. Несмотря на свою традиционную роль в перевозке массовых и насыпных грузов на большие расстояния, отрасль переживает кризис, вызванный растущей конкуренцией со стороны автомобильного, морского и трубопроводного транспорта. Рост популярности контейнерных автоперевозок напрямую бьет по рентабельности железной дороги [1]. Кризис проявляется не только в падении объемов (рисунок 1), но и в снижении инвестиционной привлекательности отрасли.

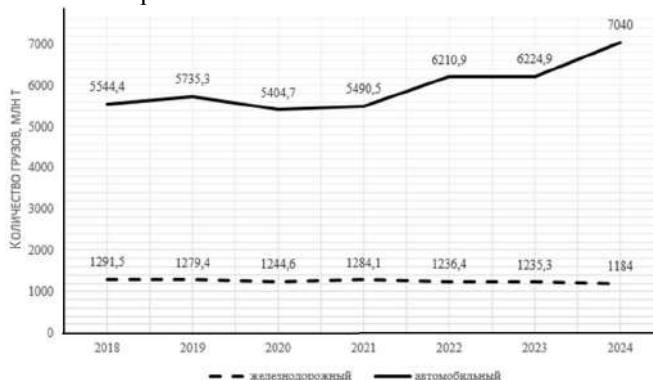


Рисунок 1 – Перевозка грузов автомобильным
и железнодорожным транспортом в 2018–2024 гг. [2]

Корни проблемы уходят глубоко и затрагивают все аспекты работы отрасли. Множество факторов, приведших к снижению конкурентоспособности, систематизированы на рисунке 2.

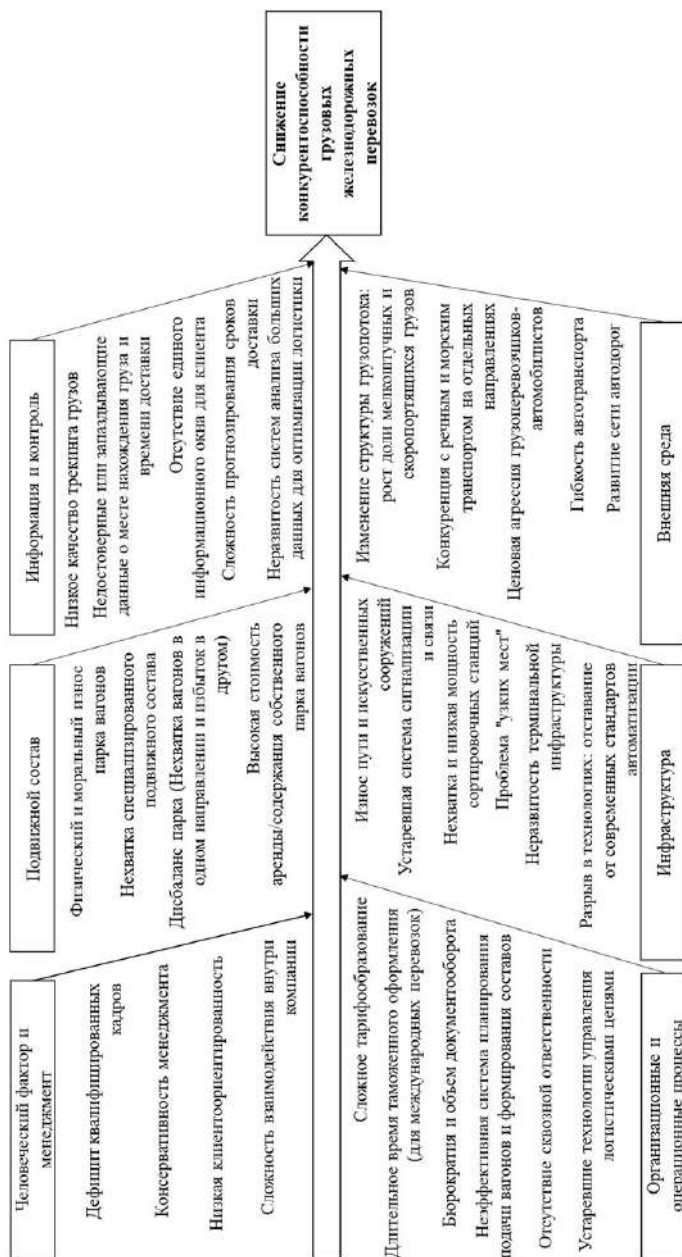


Рисунок 2 – Факторы снижения конкурентоспособности грузовых железнодорожных перевозок

Компанией ОАО «РЖД» предпринимаются всесторонние меры по стабилизации конкурентоспособности грузовых железнодорожных перевозок. В их числе строительство и модернизация путей (строительство Московского центрального кольца, развитие Восточного полигона – БАМ и Транссиб), развитие проекта «Цифровая железная дорога», платформ «Грузовая телеграмма», «Грузовой портал», создание логистических операторов в виде дочерних компаний («РЖД-Логистика»), внедрение контрактных тарифов, стимулирование перевозок в контейнерах и обновления вагонного парка через создание условий для частных операторов, интеграция в мультимодальные цепочки (порт Бронка в г. Санкт-Петербург), развитие международных коридоров и др. Однако кардинально в лучшую сторону ситуация не меняется в связи с низкой скоростью преобразований, стоимостью проектов (особенно инфраструктурных), которые требуют высоких капиталовложений с длительным сроком окупаемости, и сложностью координации преобразований.

На всех полигонах ОАО «РЖД» всё чаще применяется организация движения грузовых поездов по расписанию. Октябрьской железной дорогой, обладающей большими инфраструктурными возможностями и передовыми технологиями, реализуется ряд мер, способствующих развитию грузовых перевозок («Грузовой экспресс», «Модульный экспресс»).

«Грузовой экспресс» – услуга по перевозке груженых и порожних вагонов по выделенному расписанию с точной датой отправления со станции формирования экспресса и согласованным временем прибытия на станцию его расформирования. Эта услуга разработана и реализуется для клиентов, не имеющих объема груза, достаточного для формирования полновесного и полносоставного маршрута. В рамках оказания услуги «Грузовой экспресс» может оказываться услуга «Модульный экспресс». «Модульный экспресс» – перевозка по расписанию вагонов до или после расформирования «Грузового экспресса» [3].

На данном этапе необходима разработка принципиально нового универсального подхода к грузовым перевозкам, основанного на опыте Октябрьской железной дороги, с возможностью использования в любых инфраструктурных, географических, а также организационно-управленческих условиях. Предлагается проект с рабочим названием «Грузовая электричка», направленный на создание высокоскоростной, ритмичной и клиентоориентированной логистической сети на основе железнодорожного транспорта для контейнерных перевозок. Основная цель – формирование бесшовно интегрированной логистической системы «последней мили» на полигоне железной дороги, обеспечивающей скорость и предсказуемость доставки, которые сопоставимы с автомобильными перевозками.

Примерная инфраструктурно-технологическая схема представлена на рисунке 3.

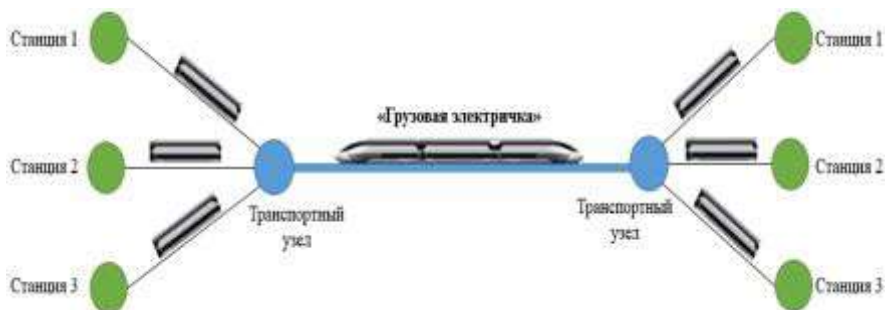


Рисунок 3 – Инфраструктурно-технологическая схема

Понятие «гладкая бесшовная транспортная система» впервые введено Б. М. Лapidусом и Л. В. Лapidусом и определено как «объединение транспортно-технологических элементов перевозки, оказываемых различными видами транспорта, в единую транспортную услугу, максимально обеспечивающую потребительские ожидания пассажиров [4]». Кроме того, в этой работе гладкую бесшовную транспортную систему рассматривают как совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых автономных элементов, которые находятся под единым внешним управлением и определяют ее целостность, действенность, управляемость и устойчивость:

$$S \equiv \langle Z, STR_{tec}, STR_{term}, STR_{agregator}, TECH, COND \rangle,$$

где $Z = \{z\}$ – совокупность целей («дерево целей»); $STR_{tec} = \{STR_{tec(1)}, STR_{tec(2)}, STR_{tec(3)}, \dots, STR_{tec(f)}\}$ – структура технологических звеньев (f), входящих в единую систему видов транспорта; $STR_{term} = \{STR_{term(1)}, STR_{term(2)}, \dots, STR_{term(d)}\}$ – структура терминальных элементов (d); $STR_{agregator}$ – структура агрегатора; $TECH = \{TECH_{(1)}, TECH_{(2)}, \dots, TECH_{(n)}, TECH_{term(1)}, TECH_{term(2)}, TECH_{term(d)}, TECH_{agregator}\}$ – совокупность технологий по видам транспорта, терминальным элементам и агрегатора; $COND = \{COND_{in}, COND_{out}\}$ – совокупность условий функционирования гладкой бесшовной транспортной системы ($COND_{in}$ – внутренние условия, $COND_{out}$ – внешние условия); n – число видов транспорта, вовлеченных в бесшовную транспортную услугу [4].

Волкова Е. М. исследует формирование и развитие бесшовной транспортной системы мегаполиса и акцентирует внимание на развитии ключевых элементов городской инфраструктуры, прежде всего транспортно-пересадочных узлов [5].

Основные функции бесшовной транспортной системы представлены на рисунке 4.

Для полномасштабного развития бесшовной транспортной системы необходимы модернизация и развитие транспортной инфраструктуры [6].



Рисунок 4 – Основные функции бесшовной транспортной системы

Инфраструктурная сторона проекта предполагает не точечную модернизацию, а поэтапное создание сети специализированных терминально-логистических центров (ТЛЦ) на ключевых узловых станциях.

1 Выделение и модернизация путевой инфраструктуры: создание выделенных путевых парков для обработки составов «грузовых электричек» путем нового строительства или реактивации и реконструкции законсервированных путей.

2 Оснащение высокопроизводительным перегрузочным оборудованием: интеграция козловых (консольных) кранов или мостовых перегружателей непосредственно к путям ТЛЦ.

3 Организация бесшовной автомобильной логистики: строительство и (или) реконструкция подъездных путей и организация зон погрузки-выгрузки в непосредственной близости от железнодорожных путей.

Техническая часть подразумевает внедрение цифровой платформы, разработку новой или адаптацию существующей EDI-совместимой (Electronic Data Interchange) IT-платформы, выполняющей функции единого интерфейса для клиента, системы сквозного трекинга, инструмента анализа и оптимизации, API-интеграции с системами клиентов и логистических операторов для обмена данными [7].

Особое внимание стоит уделить формированию сетевой модели для создания регулярного, челночного движения составов фиксированной составности между станциями по строгому расписанию аналогично работе пассажирских электричек, адаптации операционных процессов железной дороги под новый продукт (приоритетный пропуск, ускоренное оформление, выделенные локомотивные бригады). Кроме того, необходима гибкая тарифная политика, ориентированная на стоимость «от двери до двери» и включающая в себя все логистические услуги (перевозка, перегрузка, автомобильная доставка), что обеспечивает клиенту прозрачность и простоту расчета [8].

Таким образом, текущий кризис грузовых перевозок на железной дороге имеет глубокие системные причины. Его преодоление невозможно без коренной перестройки подходов к организации логистики. В качестве основного вектора развития предлагается концепция «Грузовой электрички», которая системно решает проблему скорости и «последней мили», повышает клиентоориентированность за счет сквозной цифровой платформы, а также создает новый рыночный стандарт – быстрые, регулярные и предсказуемые железнодорожные перевозки. Реализация данного проекта является насущной необходимостью для возвращения железной дороге статуса конкурентоспособного игрока на логистическом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Развитие узловой терминально-складской инфраструктуры: модификация методов исследования и прогнозы / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов [и др.] // Бюллетень результатов научных исследований. – 2023. – № 3. – С. 46–57.
- 2 Статистика // Министерство транспорта Российской Федерации. – URL: <https://mintrans.gov.ru/ministry/results/180/documents> (дата обращения: 21.09.2025).
- 3 Грузовые перевозки. Октябрьская железная дорога. – URL: <https://ozd.rzd.ru/ru/4102> (дата обращения: 21.09.2025).
- 4 Ланидус, Б. М. Гладкая бесшовная транспортная система – инновационная модель будущего: природа, сущность, детерминанты качества / Б. М. Ланидус, Л. В. Ланидус // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. – 2017. – № 2. – С. 45–64.
- 5 Волкова, Е. М. Проблемы развития смешанных пассажирских перевозок в городских транспортных системах / Е. М. Волкова // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 1 (84). – С. 59–65.
- 6 Перспективы формирования бесшовной транспортной системы в условиях цифровизации: системный подход / Е. В. Дробот, И. Н. Макаров, Т. А. Олейникова [и др.] // Экономика, предпринимательство и право. – 2023. – Т. 13, № 11. – С. 4943–4958.
- 7 Развитие методики цифрового аксиоматного моделирования объекта транспортной инфраструктуры / О. Н. Числов, Н. М. Луганченко, В. В. Хан, Н. М. Магомедова // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1 (68). – С. 22–32.
- 8 Чеботарева, Е. А. Оценка технологических и социально-экономических эффектов развития высокоскоростных магистралей с учетом создания резервов пропускной способности грузонапряженных железнодорожных направлений / Е. А. Чеботарева, С. М. Наурузбаев, С. А. Михеева // Логистика. – 2025. – № 6 (223). – С. 14–20.

E. E. MIZGIREVA

COMPETITIVENESS OF FREIGHT RAIL TRANSPORTATION

The article examines the issue of reducing the competitiveness of freight rail transportation. The concept of «freight suburban train», the main stages of implementation and features of the project are proposed.

Получено 22.10.2025

УДК (378.6:656.2)(476.2)"1941/..."

В. Я. НЕГРЕЙ, В. Н. КИРИК

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

УЧЕНЫЕ-ЭКСПЛУАТАЦИОННИКИ БЕЛИИЖТА – БЕЛГУТА – ТРУЖЕНИКИ ФРОНТОВОЙ НАУКИ И ТЫЛА ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ И ПОСЛЕВОЕННОГО ПЕРИОДА

Представляется историко-биографический материал жизни и творчества докторов технических наук, профессоров И. Г. Тихомирова и Г. А. Циркунова, выдающихся ученых-транспортников БИИЖТа – БелГУТа, талант которых приближал Великую Победу в годы Великой Отечественной войны и послевоенного строительства.

80 лет в благодарной памяти народа живет беспримерный подвиг наших прадедов и дедов в годы Великой Отечественной войны. На всех этапах священной всенародной борьбы с фашистским агрессором железнодорожный транспорт имел первостепенное значение не только для выполнения военных операций, но и для обеспечения снабжения Красной Армии всеми видами довольствия. Четкая и бесперебойная работа железнодорожного транспорта давала возможность быстро обеспечивать высокую маневренность и сосредоточение войск, своевременность снабжения фронтов всеми видами довольствия, а также удовлетворять потребности народного хозяйства и населения в перевозках, создавая единство фронта и тыла, где доблестно трудились советские железнодорожники, которые гордо несли звание «родного брата Красной Армии». В сложных условиях военного времени и с большим напряжением работали все стальные магистрали страны.

В грозное военное время железнодорожники проявили высокие моральные и патриотические качества. Каждый час и день рождал массовый трудовой героизм, мужество и доблесть. Железнодорожники показали себя верными сыновьями и дочерями своей Родины, какую бы должность и работу они ни выполняли.

О некоторых из них хотелось сегодня вспомнить, ведь это история Белорусского государственного университета транспорта и страны. Хотелось вспомнить всех, кто внес неоценимый вклад в Великую Победу, кто стоял у истоков нынешнего университета. Их очень много, но мы расскажем о некоторых.

Заслуженный деятель науки и техники БССР, доктор технических наук, профессор Тихомиров Иван Георгиевич (рисунок 1) – крупнейший ученый в области эксплуатации железнодорожного транспорта. Его научные труды в области эксплуатационной науки широко известны в инженерной, научной и педагогической среде стран СНГ, ближнего и дальнего зарубежья.



Рисунок 1 –
И. Г. Тихомиров

Иван Георгиевич Тихомиров родился 3 июля 1906 года в г. Киеве. В годы детства его привлекал железнодорожный транспорт, которому впоследствии он посвятил всю свою жизнь. После окончания трудовой школы поступает в Киевский техникум железнодорожного транспорта. Будущей специальностью молодой студент выбрал эксплуатацию железных дорог. В то время данная специальность была мало научно обоснованной и открывала широкое поле научной деятельности.

Свою трудовую деятельность начал в 1926 году сразу после окончания техникума, совмещая с учебой в группе техников МИИТа. В 1928 году он успешно защитил дипломный проект и получил звание инженера-эксплуатационника. После окончания учебы в МИИТе его деятельность связана с Ташкентской и Самаро-Златоустовской железными дорогами, где он работал пять лет дежурным по станции, техником инструкторской бригады НОТ службы движения, инженером и руководителем этой бригады, начальником группы организации движения Самарского отделения дороги.

В 1931 году был переведен старшим инженером сектора анализа работы сети Главного управления движения МПС СССР, а затем старшим научным сотрудником Центрального научно-исследовательского института по эксплуатации железных дорог ЦД НКПС.

В 1934 году решил продолжить учебу в аспирантуре МИИТа.

В 1936 году по заданию МПС Иван Георгиевич назначается начальником службы движения на подъездные пути Подмосковского угольного бассейна для совершенствования эксплуатационной работы бассейна.

В 1938 году новое назначение в Мостранспроект НКПС на проектную работу. Здесь он работал на должностях старшего инженера, бригадира, заместителя начальника отдела станций и узлов, начальника проектно-восстановительных экспедиций Мостранспроекта. Как отмечено в книге «Железнодорожники в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.», «... На наиболее важные стройки направлялись специальные экспедиции. Одной из них была Ташкентско-Джизакская экспедиция Мостранспроекта под руководством молодого инженера И. Г. Тихомирова (рисунок 2), которая разработала проекты усиления линии Красноводск – Самарканд – Ташкент – Джизак.

Повышение провозной способности этой линии было очень важно вследствие нарушения основных железнодорожных связей с Кавказом. В конце 1942 года экспедицию переименовали в Сталинградскую, в начале февраля 1943 года она приступила к восстановлению Сталинградского узла» [1].



Рисунок 2 – И. Г. Тихомиров с коллегами в экспедиции (1943 г.)

В 1943 году приказом Народного Комиссара путей сообщения – новое назначение начальником Всесоюзного института по проектированию и реконструкции станций и узлов – Трансузелпроекта НКПС. В этой должности проработал до объединения Трансузелпроекта с Мостранспроектом в 1945 году.

В 1945 году по приказу МПС И. Г. Тихомиров был откомандирован в МИИТ для продолжения обучения в аспирантуре. В 1947 году окончил аспирантуру и, успешно защитив кандидатскую диссертацию, был оставлен в МИИТе на педагогической работе. В 1948 году присвоено звание доцента, а в 1955 году – профессора.



Рисунок 3 – И. Г. Тихомиров с коллегами и практиками

В 1955 году – командировка за границу, в Чехословакию, где один год читал лекции по специальности в Пражской высшей школе транспорта, откуда по направлению МПС в 1956 году – новое назначение в Гомель, в Белорусский институт инженеров железнодорожного транспорта, который образован в 1953 году.

Предстояла большая работа по организации кафедры на эксплуатационном факультете (ныне факультет «Управление процессами перевозок»). На созданной кафедре работа растянулась на долгие годы (рисунок 3).

За время работы в Гомеле профессором И. Г. Тихомировым была создана научная школа эксплуатационников, которая успешно проводила научные и

практические изыскания в области эксплуатации железных дорог и транспортных коммуникаций. В этой школе сформировалось новое поколение ученых: профессора Грунтов П. С., Сыцко П. А., Буянов В. А., Тулупов Л. П., Ярошевич В. П., доценты Шульженко П. А., Ярмоленко В. Е., Невзоров А. В., Мухо П. Б., Гораев О. П., Юшкевич Е. П., Щенников Л. Н., Былинский Ю. В. и многие другие.

За свою многолетнюю научную деятельность профессор И. Г. Тихомиров внес значительный вклад в развитие транспортной науки и совершенствование эксплуатационной работы железных дорог. Его научная деятельность начиналась в далекие двадцатые годы прошлого столетия.

В 1929 году были впервые в СССР разработаны теория станционных интервалов как основных элементов графика движения поездов и методы его составления.

В 1930 году Иван Георгиевич был одним из организаторов внедрения в практику работы сортировочных станций диспетчерского руководства.

В 1929–1934 годах была разработана теория коэффициента съема пассажирских поездов.

В 1933–1935 годах была впервые разработана теория безостановочных скрещений поездов на однопутных линиях при удлиненных раздельных пунктах и двухпутных вставках при введении автоблокировки.

Многолетняя работа в области совершенствования технологии работы сортировочных станций и их проектирования привела к созданию (совместно с профессором А. И. Платоновым) теории взаимодействия в технологии работы сортировочных станций.

Под его руководством авторским коллективом БелИИЖТа было разработано учебное пособие «Организация движения на железнодорожном транспорте». Эта разработка стала основным учебным пособием не только для учебного процесса в БелИИЖТе, но и во многих институтах железнодорожного транспорта на просторах Советского Союза. Впервые было издано в 1962 году в Минске. В 1969 году пособие было дополнено и переработано, а затем утверждено ГУУЗом МПС СССР в качестве учебного пособия для всех вузов железнодорожного транспорта страны.

В 1966 году под руководством профессора И. Г. Тихомирова увидел свет труд «Технология работы участковых и сортировочных станций» (издательство «Транспорт»), который был переиздан в 1973 году.

Коллективом ученых института, по инициативе профессора И. Г. Тихомирова, с привлечением крупных специалистов Белорусской железной дороги, была подготовлена монография «Интенсификация использования подвижного состава и перевозочной мощности железных дорог» (издательство «Транспорт», 1968 год; переиздана в 1977 году).

За плодотворную производственную, педагогическую, научную деятельность и проектно-восстановительные проекты и работы на железнодорожном транспорте в период Великой Отечественной войны

профессор И. Г. Тихомиров был награжден орденом Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета» и семью медалями, в том числе и медалью «За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.»

Министерство путей сообщения СССР наградило ведомственными знаками «Почётному железнодорожнику», «Ударнику сталинского призыва» и «Отличному восстановителю». В 1963 году Президиум Верховного Совета БССР присвоил Ивану Георгиевичу почетное звание Заслуженного деятеля науки и техники БССР. Он награжден четырьмя Почётными грамотами Верховного Совета БССР, многими грамотами МПС СССР и ЦК профсоюза железнодорожного транспорта, Гомельского обкома КПБ, Гомельского городского Совета депутатов, горкома и райкома КПБ.

И. Г. Тихомиров в течение двенадцати лет избирался депутатом Гомельского городского Совета депутатов трудящихся. С 1960 по 1968 год являлся членом экспертной комиссии ВАК МВ и ССО СССР. Участник двух всесоюзных совещаний в Москве: в 1961 году – работников высшей школы и в 1962 году – работников железнодорожного транспорта.

В Белорусском государственном университете транспорта учреждена именная стипендия профессора И. Г. Тихомирова, которая присваивается Советом университета студентам факультета управления процессами перевозок. Именем И. Г. Тихомирова названа учебная лаборатория «Управление движением» факультета УПП.

Жизненный путь профессора Ивана Георгиевича Тихомирова – это прекрасная гармония труда и счастливого научного творчества выдающегося инженера и ученого (рисунки 4, 5).

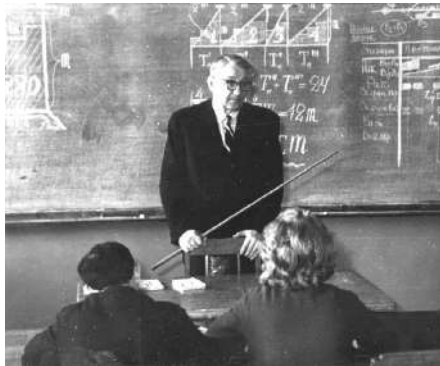


Рисунок 4 – Профессор
И. Г. Тихомиров на лекции (1970 г.)



Рисунок 5 – Руководство дипломными
проектами (1971 г.)

Сегодня студенты и профессорско-преподавательский состав транспортного университета, транспортники и ветераны транспортной отрасли

Республики Беларусь гордятся учителем и коллегой, талантливым ученым, заложившим основы эксплуатационной науки, которые актуальны по сей день.

Григорий Артемьевич Циркунов (рисунок 6) – доктор технических наук, профессор кафедры управления грузовой и коммерческой работой учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».



Рисунок 6 –
Г. А. Циркунов

В 1937 году парень из многодетной крестьянской семьи деревни Сова Могилевской области поступил в Оршанский техникум железнодорожного транспорта, который успешно закончил 26 июня 1941 г., на четвертый день после начала Великой Отечественной войны. Его, как и многих других выпускников, направили на работу в Оршанский кондукторский резерв Западной железной дороги. Свою трудовую деятельность начал с должности главного кондуктора грузовых поездов. Приходилось сопровождать воинские эшелоны на прифронтовые участки, а обратно – поезда с эвакуированным оборудованием. Но фронт неумолимо приближался к Орше. 30 июля он с одним из последних поездов выехал в сторону Смоленска, где их поезд в районе Вязьмы попал под бомбежку. Пешком, перекладными поездами добрался до Москвы и сразу в Наркомат.

Решением Наркомата путей сообщений был направлен в город Саратов Рязано-Уральской железной дороги. С 1 августа приступил к работе на станции Саратов-2 техническим конторщиком, затем диспетчером по воинским перевозкам, дежурным по станции Курдюм, диспетчером Саратовского отделения Рязано-Уральской железной дороги.

В феврале 1944 года по приказу Министерства путей сообщения был откомандирован в Управление Западной железной дороги, которое находилось в то время в Москве, а в сентябре этого года было переведено в город Смоленск. Работал в службе движения диспетчером по воинским перевозкам, старшим помощником начальника оперативно-распорядительного отдела и заместителем начальника отдела воинских перевозок (рисунок 6).

В мае 1945 года был направлен на учебу в Московский институт инженеров железнодорожного транспорта, на инженерный факультет, после окончания которого в ноябре 1947 года его направили в Западный округ железных дорог. Работал в Управлении движения в должностях инженера и старшего инженера по работе станций и узлов (рисунок 7).



Рисунок 7 – Г. А. Циркунов на оперативной работе Западной железной дороги

30 декабря 1953 года успешно защитил диссертацию. В марте 1954 года ВАКом СССР присуждена ученая степень кандидата технических наук, в марте 1956 года присвоено ученое звание доцента.

В январе 1954 года получает направление на работу в Хабаровский институт инженеров железнодорожного транспорта, где началась новая веха его жизни – преподавательская. Работал в должностях преподавателя, старшего преподавателя и доцента до 7 февраля 1957 года. 4 декабря 1956 года Ученый совет Белорусского института инженеров железнодорожного транспорта избирает его доцентом кафедры «Эксплуатация железных дорог» и Григорий Артемьевич переезжает в Гомель, в БелиИЖТ.

Одновременно с большой учебно-методической работой Г. А. Циркунов занимался и научными исследованиями. За 50 лет работы в БелиИЖТе – БелГУТе им опубликовано свыше 260 научных трудов и учебно-методических пособий, в том числе ряд монографий, среди которых «Организация работы станций перегруза», «Взаимодействие и механизация процессов на станциях перегруза» (рисунок 8), «Исследование режима работы и технической оснащенности пограничных перегрузочных станций» и другие.

Разработанные методики были включены в учебные материалы для слушателей Военной академии тыла и транспорта, Ленинградского училища военных сообщений и железнодорожных войск имени М. В. Фрунзе военных кафедр транспортных вузов СССР.

В 1994 году в совете Военной академии тыла и транспорта Российской Федерации Г. А. Циркунов успешно защищает докторскую диссертацию, которая явилась результатом многолетних исследований в области совершенствования технологий работы и технического оснащения пограничных перегрузочных станций.

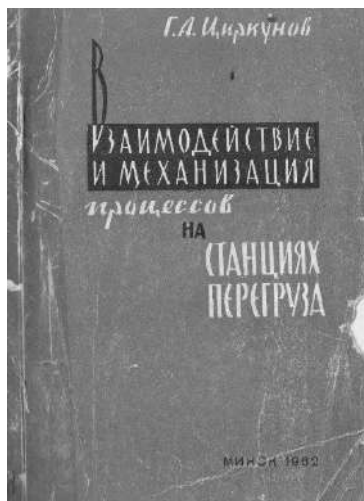


Рисунок 8 – Монографии Г. А. Циркунова

В мае 1994 решением Высшего аттестационного комитета Российской Федерации Григорию Артемьевичу присвоена ученая степень доктора технических наук. Решением Государственного высшего аттестационного комитета Республики Беларусь в декабре 1997 года присвоено ученое звание профессора по специальности «Транспорт».

Г. А. Циркуновым создано научное направление в области совершенствования технологии и технического оснащения пограничных и грузовых станций.

Научные труды Григория Артемьевича тесно связаны с производством. На основании его теоретических разработок внедрен ряд нормативных документов и технологических процессов, таких как Типовой технологический процесс работы пограничных станций железных дорог, эффективные схемы комплексной механизации перегрузки тарно-штучных, контейнерных, тяжеловесных и навалочных сыпучих грузов на пограничных станциях, способы перевозки фрезерного торфа в железнодорожном подвижном составе и рекомендации защиты его от потерь в результате выдувания в пути следования, комплексный технологический процесс работы Брестского железнодорожного узла Белорусской железной дороги, единый технологический процесс промышленного транспорта Гомельского химического завода и станции Центролит Белорусской железной дороги, комплексный технологический процесс по экспортно-импортным перевозкам Чопского железнодорожного узла Львовской железной дороги, единый технологический процесс работы станции Обловка Юго-Восточной железной дороги и Уваровского химического завода Тамбовской области, типовой

технологический процесс работы пограничной механизированной дистанции погрузочно-разгрузочных работ» и многие другие.

Заслуги ветерана войны и труда Г. А. Циркунова оценило и государство. За многолетний плодотворный труд он был награжден десятью медалями в том числе медалью «За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.», знаками «За отличные успехи в работе» в области высшего образования СССР, «Почетному железнодорожнику», «150 лет железным дорогам», Почетными грамотами ЦК КПСС, ЦК ВЛКСМ, ВЦСПС и Совета Министров СССР; Верховного Совета БССР, Министерства автомобильного транспорта и коммуникаций Беларуси, Белорусской железной дороги и многочисленными грамотами и ценными подарками руководства Белорусской железной дороги и Бело-русского государственного университета транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Железнодорожники в Великой Отечественной войне 1941–1945. – М. : Транспорт, 1985. – 448 с.

V. Ya. NEGREY, V. N. KIRIK

SCIENTIST MANAGEMENT UNIVERSITY THE WORKERS OF A FRONT SCIENCE AND REAR OF GREAT DOMESTIC WAR AND POSTWAR PERIOD

The history-biographic material of life and creativity of the doctors of engineering science, professors I. G. Tikhomirov and G. A. Cirkunov is represented, prominent of the scientists-Transport university, which talent approached a Great Victory within Great Patriotic war portwar of construction.

Получено 17.10.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.225.073.235

В. Г. ПИЩИК

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
uladzislau.pishchic@gmail.com*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА: АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

Рассматривается проблема повышения эффективности работы контейнерных терминалов в условиях растущей нестабильности грузопотоков. Выявлена ключевая проблема синхронизации работы всех подсистем терминала. В качестве решения пред-

лагается комплексная имитационная модель, реализующая последовательный план действий, включающий настройку цифрового двойника терминала, интеграцию с АСУ, формирование матрицы расстояний и алгоритмы оптимизации обработки контейнеров. Практическая значимость исследования подтверждается разработанными механизмами учета ограничений и рисков, а также возможностями сценарного анализа для принятия обоснованных управленческих решений.

Моделирование работы контейнерного терминала является критически важным инструментом в условиях растущих глобальных грузопотоков и повышенных требований к логистической эффективности. Контейнерные терминалы являются узловыми точками мировой торговли, требующие особого внимания и устойчивости к неравномерности грузопотока. Любые сбои или неграмотное распределение ресурсов могут привести к простоям по всей цепочке поставок и финансовым потерям. Внедрение автоматизированных технологий и введение в эксплуатацию современных транспортно-перегрузочных механизмов (тележки AGV, челночные контейнеровозы, рельсовые тележки), требуют точного прогнозирования их работы для максимальной эффективности значительных капитальных вложений.

Ключевой проблемой при обработке грузов на контейнерном терминале являются сложности в синхронизации работы всех терминальных подсистем в условиях случайности внешних и внутренних процессов. Эта проблема проявляется в следующих факторах:

- несогласованность в работе транспортно-перегрузочных механизмов. Например, краны могут разгружать поезда быстрее, чем тележки AGV успевают отвозить контейнеры, вызывая простой дорогостоящей крановой техники (или наоборот);

- ограниченная складская площадь. Неоптимальное планирование размещения контейнеров приводит к появлению «блокирующих» контейнеров, для доступа к которым требуются излишние перестановки, что снижает производительность терминала;

- влияние случайных факторов: неравномерный грузопоток, варьирование продолжительности выполнения операций из-за человеческого фактора, погодные условия, сбои в работе технических устройств и программного обеспечения.

Решением, которое позволяет синхронизировать большую часть терминальных подсистем, является моделирование работы терминала. Оно позволяет проводить виртуальные эксперименты, оценивать пропускную способность, загруженность площадей и транспортно-перегрузочных механизмов, тестировать алгоритмы управления и оптимизировать использование дорогостоящих ресурсов. Таким образом, моделирование работы контейнерного терминала является ключевым элементом для повышения его конкурентоспособности, обеспечения устойчивости логистики и принятия обоснованных решений в условиях нестабильного грузопотока.

В качестве методологической основы для комплексного моделирования

часто выступает процессный подход. В исследовании Кузнецова А. Л. и соавторов [1] предложен метод, основанный на изучении бизнес-процессов. Этот метод позволяет не только оценить потребность в технологических и человеческих ресурсах, но и проанализировать влияние их состава и количества на ключевые показатели эффективности работы всего терминала. Развитием этого подхода является диссертационное исследование А. Д. Семенова [2], где разработана имитационная модель, основанная на детальном описании технологических операций и ресурсов. Данная модель позволяет оценить потребность в ресурсах с учетом сложной структуры грузопотока и взаимосвязи всех операций между собой.

Другим важным направлением является применение имитационного моделирования для решения конкретных прикладных задач, выходящих за рамки собственно терминала. В работе И. В. Серёгина [3] моделирование используется для повышения эффективности эксплуатационной работы железнодорожных станций, взаимодействующих с терминалами. Этот подход позволяет корректировать планы погрузки, исключать появление «узких мест» на смежных станциях, демонстрируя интеграционный потенциал имитационных моделей в логистических цепях.

На операционном уровне глубокой детализации требуют технологические процессы складской обработки. Иллюстрацией этому служит исследование Т. Е. Маликовой и Е. Е. Петровой [4], где предложена цифровая имитационная модель операций селективной выемки контейнеров. Модель фактически создает «цифрового двойника» для конкретного процесса, выполняемого водителем мобильной перегрузочной техники, что позволяет обрабатывать и оптимизировать его действия в виртуальной среде.

Перспективным направлением является интеграция моделирования с задачами обучения и автоматизации. В статье [5] моделирование погрузочно-разгрузочных работ реализовано в виде тренажера, который служит не только для обучения персонала, но и для проведения статистических исследований. Более того, в работе [6] имитационная модель тылового терминала основана на принципах роботизации всего терминально-складского комплекса, что указывает на переход от моделирования существующих процессов к проектированию принципиально новых, высокоавтоматизированных систем.

В рамках предыдущих исследований [7] был систематизирован комплекс критериев и исходных данных, необходимых для построения модели оптимальной обработки контейнеров. К числу таких данных отнесены характеристики контейнеропотока, терминала, транспортно-перегрузочных механизмов и технологического процесса обработки. Полнота данного набора данных, а также возможность задания расчетных параметров в альтернативных единицах измерения, обеспечивают адаптивность модели для решения разнородных задач и применения различных критериев оптимальности.

Несмотря на то, что моделированию работы контейнерного терминала посвящено достаточное большое количество научных работ современных авторов, в них не прослеживается единства подхода к решению данной научной задачи. Существующие методы часто сосредоточены на оптимизации отдельных бизнес-процессов, не обеспечивая комплексного рассмотрения работы терминала как единой системы, где согласованно функционируют разнотипные транспортно-перегрузочные механизмы и обрабатываются контейнеры разных типоразмеров.

Для моделирования работы контейнерного терминала предлагается последовательный план действий, состоящий из следующих взаимосвязанных этапов:

1 Настройка исходной модели терминала.

1.1 Топология терминала. Терминал разделен на зоны в зависимости от степени прогнозирования технологической цепочки (по прибытии, по отправлению, в регулировку [8]). Каждая зона содержит стаки (элементарные наборы контейнеров со штабельной системой хранения) с трехмерной размерностью (a , b , c), где a – длина, b – ширина, c – высота (количество ярусов). Позиционирование стаков внутри зон задается координатной сеткой для точного планирования логистики перемещения контейнеров по территории терминала.

Для каждой зоны устанавливаются правила доступа и приоритетности обработки контейнеров в зависимости от их категории. Спецификация зон включает не только геометрические параметры, но и специализацию: в зонах для рефрижераторных контейнеров предусматриваются точки подключения к энергоснабжению, а в зонах для опасных грузов – буферные участки и специальные ограждения и маршруты перемещения. Параметры штабельных систем дополнительно включают максимальную нагрузку на ярус, допустимую высоту штабелирования для различных типов контейнеров, а также коэффициенты заполнения, учитывающие технологические проходы и разворотные площадки.

Координатная сетка реализуется с привязкой к реальной системе координат терминала с шагом, соответствующим габаритам типового контейнера, что обеспечивает точное позиционирование и планирование перемещений.

1.2 Транспортно-перегрузочные механизмы, которые будут выполнять работу на терминале. На старте моделирования определяется набор транспортно-перегрузочных механизмов (краны, ричстакеры, автопогрузчики) и их начальное расположение с использованием GPS-датчиков.

Каждому механизму присваиваются характеристики: грузоподъемность, скорость перемещения, тип выполняемых операций, возможность взаимодействия между собой (напрямую, с постановкой на землю).

Особое внимание уделяется моделированию циклов работы: учитываются время на захват и отпускание контейнера, разгон и торможение, манев-

рирование в стесненных условиях. Система также включает параметры технического обслуживания: периодичность профилактических работ, среднее время восстановления после сбоев, графики плановых ремонтов. Все механизмы связаны единой системой управления, позволяющей перераспределять задания между ними в реальном времени с учетом текущей загрузки и приоритетов операций.

2 Интеграция данных из АСУ перед прибытием состава.

2.1 Обработка данных о вагонах:

- из номера вагона автоматически определяется его длина по осям автоцепок;

- вагоны привязываются к системе координат терминала. Точка «0» на железнодорожном пути соответствует месту прибытия первого вагона (с головы/хвоста состава).

2.2 Сбор данных о контейнерах:

- каждый контейнер имеет уникальный номер, по которому определяются его типоразмер (20/40 футов и т. д.) и специальные признаки (опасный груз, рефрижератор, открытый);

- система определяет месторасположение центра каждого контейнера и расположение его на пути. Полученная информация поступает в модель и трансформируется в данные о позиционировании контейнеров на пути (с координатами на пути $(x; y)$).

Для работы модели каждый контейнер на терминале должен иметь следующие характеристики: месторасположение $(x; y)$, номер контейнера, фувовость контейнера, специальные признаки. Эти данные помогут определить зону, за которой необходимо закрепить контейнер, маршрут следования к этой зоне, порядок выполнения операций на терминале по работе на фронте.

Интеграцию данных из АСУ перед прибытием состава можно представить в виде BPMN диаграммы (рисунок 1).

3 Формирование шахматки расстояний Система автоматически генерирует матрицу расстояний между:

- стаками в зонах;
- физическими центрами контейнеров на путях и стаками;
- площадками перегрузки с железнодорожных путей и выдачи автотранспорту, точками передачи контейнеров между механизмами (при наличии).

Шахматка используется для расчета оптимальных маршрутов перемещения контейнеров и механизмов.

4 Алгоритм обработки контейнеров по прибытии.

4.1 Моделирование прибытия состава. Расчет сценариев обработки, основываясь на данных АСУ. Создается виртуальная модель всего подвижного состава с точным расположением каждого вагона и контейнера в трехмерном пространстве.

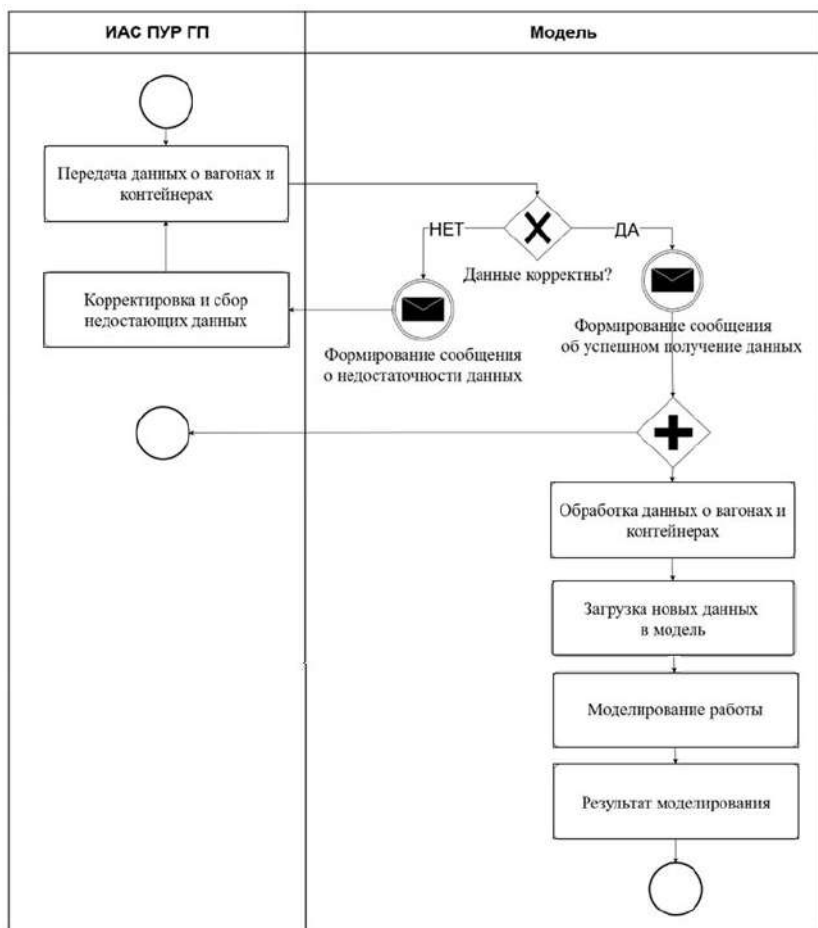


Рисунок 1 – Описание бизнес-процесса интеграции данных из АСУ перед прибытием состава

4.2 Свободность мест. Модель анализирует текущую загрузку стakov и выбирает варианты с минимальным временем доступа и исключением (уменьшением вероятности) варианта появления блокирующих контейнеров.

4.3 Выбор зоны и стака. Критерием выбора могут стать футовость контейнера, специальные признаки. Контейнеры с опасными грузами направляются в специально выделенные зоны, а рефрижераторные контейнеры – в зоны с подключением к электросети (исключение – контейнеры-термосы или порошковые, которые не требуют подключения к электросети).

4.4 Построение маршрута. Определяются оптимальные последовательности выполнения разгрузочно-погрузочных работ с учетом расположения контейнеров в составе и их конечного назначения на терминале. Маршрут рассчитывается с учетом ближайшего оптимального расстояния от механизма до контейнера (по данным шахматки расстояний), загруженности зон (при перегрузке зоны контейнер перенаправляется в альтернативную зону, даже с увеличением расстояния), наличие других механизмов на пути и избегание коллизий («пробки» механизмов).

Если контейнер требует перегрузки между несколькими механизмами (например, с крана на ричстакер), модель рассчитывает промежуточные точки передачи и время, необходимое для выполнения операции.

4.5 Генерация задания на обработку. На основе проанализированных данных формируется комплексное задание, включающее: маршруты перемещения транспортно-перегрузочных механизмов, последовательность операций для каждого контейнера, расчетное время выполнения работ, распределение человеческих ресурсов по операциям (при наличии).

4.6 Автоматическая передача заданий в систему управления терминалом и на устройства операторов техники. Система отслеживает выполнение плана отправки, при необходимости внося корректировки в случае задержек или изменения обстоятельств.

5 Алгоритм обработки контейнеров по отправлению.

5.1 Формирование плана отправления. На основе данных АСУ формируется перечень контейнеров, планируемых к отправке, с указанием их текущего местоположения на контейнерной площадке, характеристик и приоритета погрузки. Создается виртуальная модель целевого подвижного состава с оптимальным планом размещения контейнеров на вагонах.

5.2 Определение последовательности извлечения контейнеров. Модель анализирует текущее месторасположение каждого контейнера, включенного в план отправки, и определяет оптимальную последовательность их извлечения из стakov. Критерием выбора является минимизация количества операций по перестановке «блокирующих» контейнеров и общего времени доступа.

5.3 Построение маршрута к железнодорожному фронту. Для каждого извлекаемого контейнера рассчитывается маршрут от стака до места погрузки в вагон. Маршрут строится с учетом данных шахматки расстояний, текущей загруженности зон проезда и необходимости избегать коллизий с другой техникой. При необходимости планируются промежуточные точки передачи контейнера между механизмами.

5.4 Подтверждение доступности и приоритезация. Система проверяет доступность назначенных транспортно-перегрузочных механизмов и вагонов. Контейнеры распределяются по очередности погрузки с учетом их ти-

па: рефрижераторные контейнеры подаются в последнюю очередь перед отправкой для минимизации времени работы без энергосети, контейнеры с опасными грузами размещаются в вагонах в соответствии с правилами перевозки.

5.5 Генерация задания на отправку. Формируется комплексное задание, включающее: точное местоположение контейнера в зоне хранения, маршрут и доставки к вагону, последовательность погрузки в подвижной состав, назначенные механизмы и расчетное время выполнения операций.

5.6 Передача заданий и мониторинг исполнения. Сгенерированные задания в реальном времени передаются в систему управления терминалом и на устройства операторов. Система отслеживает выполнение плана отправки, при необходимости внося корректировки в случае задержек.

Алгоритм обработки контейнеров по прибытии и отправлении можно представить в виде блок-схемы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма обработки контейнеров по прибытии и отправлении

6 Учет ограничения и рисков:

- ограниченная пропускная способность зон. Например, если зона уже перегружена, модель может перенаправить контейнер в другую зону, даже если это увеличит расстояние перемещения. При штабельном хранении контейнеров перегрузка зоны может вызывать увеличение количества блокирующих контейнеров, что существенно повысит затраты и время на обработку контейнеров;

- технические сбои механизмов. Если один из механизмов выходит из строя, модель перераспределяет задачи между оставшимися механизмами, минимизируя простои;

- изменения в контейнеропотоке. Если в процессе обработки поступают новые данные о прибытии дополнительных контейнеров, модель динамически корректирует планы обработки.

7 Обновление данных и анализ эффективности.

После завершения обработки контейнера модель обновляет данные о состоянии терминала:

- обновляется информация о свободных местах в стаках;
- фиксируется время обработки контейнера и простоя механизмов;
- если контейнер готов к выдаче автотранспорту, модель определяет оптимальную площадку для выдачи и маршрут доставки контейнера на эту площадку.

Модель также может быть использована для анализа эффективности работы терминала с выполнением:

- оценки времени обработки контейнеров. Модель позволяет определить, какие операции занимают больше всего времени, и предложить меры по их оптимизации;

- анализа загрузки механизмов. Модель может выявить, какие механизмы перегружены, а какие используются неэффективно, что позволит перераспределить ресурсы;

- прогнозирования загрузки терминала. На основе данных о контейнеропотоке модель может предсказать, какие зоны и механизмы будут перегружены в будущем, и предложить меры по предотвращению простоев.

8 Интеграция дополнительных данных

Для повышения точности модели можно интегрировать дополнительные данные:

- погодные условия. Например, в случае дождя или снега модель может учитывать снижение скорости работы механизмов и увеличивать время на обработку контейнеров (невозможность работы кранов при ветре более 15 м/с);

- техническое состояние механизмов. Если механизм требует технического обслуживания, модель может исключить его из работы на определенный период;

– информация о начале и окончании смен работников, их болезни. При окончании смены или болезни работников (которых невозможно заменить в данный момент), модель может исключить его из работы на определенный период.

9 Сценарное моделирование

Модель позволяет не только оптимизировать текущие процессы на терминале, но и проводить анализ для различных сценариев:

– увеличение контейнеропотока. Модель может оценить, как это повлияет на загруженность терминала и предложить меры по увеличению пропускной способности;

– выход механизмов из строя. Модель покажет, как перераспределить задачи между оставшимися механизмами;

– изменение структуры контейнеропотока. Модель может адаптироваться к новым условиям и предложить оптимальные решения для обработки контейнеров.

10 Внедрение нейросетевых технологий

Модель использует нейросети:

– для прогнозирования контейнеропотока на основе исторических данных;

– динамической оптимизации маршрутов с учетом меняющихся условий;

– автоматического обучения на основе анализа ошибок и успешных сценариев.

Предложенная модель является комплексным инструментом для управления контейнерным терминалом, сочетающим точность алгоритмических расчетов, гибкость адаптации к внешним условиям и возможности прогнозирования. Внедрение нейросетевых методов повышает ее устойчивость к нештатным ситуациям и позволяет минимизировать издержки при максимальной загрузке мощностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузнецов, А. Л. Подход к моделированию контейнерных терминалов на основе бизнес-процессов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2020. – № 6. – С. 1039–1050.

2 Семенов, А. Д. Планирование использования технологических ресурсов морского контейнерного терминала на основе имитационного моделирования: специальность 2.9.7 «Эксплуатация водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография» : дис. ... канд. техн. наук / Семенов А. Д.; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова». – СПб., 2023. – 128 с.

3 Серёгин, И. В. Повышение показателей эксплуатационной работы станций, взаимодействующих с контейнерными терминалами, на основе метода моделирования их работы / И. В. Серёгин // Системы управления, информационные технологии и математическое моделирование. – 2022. – С. 249–254.

4 Маликова, Т. Е. Имитационная модель престакинга на контейнерном терминале морского порта / Т. Е. Маликова, Е. Е. Петрова // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2024. – № 3. – С. 379–390.

5 Кузнецов, А. Л. Моделирование погрузоразгрузочных работ на контейнерном терминале / А. Л. Кузнецов, Е. А. Давыденко // Транспортное дело России. – 2022. – № 2. – С. 205–207.

6 Малышев, Н. В. К вопросу роботизации тыловых контейнерных терминалов / Н. В. Малышев, Е. К. Коровяковский // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – № 1. – С. 15–25.

7 Кекиш, Н. А. Согласование критериев и наборов исходных данных при создании модели оптимальной обработки контейнеров на терминале / Н. А. Кекиш, В. Г. Пищик // Известия Трансиба. – 2025. – № 1. – С. 68–77.

8 Пищик, В. Г. Теоретическое обоснование зонирования контейнерного терминала по степени надежности прогнозирования технологической цепочки обработки / В. Г. Пищик // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2023. – № 1. – С. 157–165.

V. G. PISHCHIC

MODELING OF CONTAINER TERMINAL OPERATION: OPTIMIZATION ALGORITHMS AND PROCESS MANAGEMENT

The article addresses the relevant problem of improving the efficiency of container terminals amidst growing cargo flow volatility. The study identifies the key challenge of synchronizing the work all terminal subsystems. As a solution, a comprehensive simulation model is proposed, implementing a sequential action plan that includes configuring a terminal digital twin, integrating with control systems, forming a distance matrix, and developing container handling optimization algorithms. The practical significance of the research is confirmed by the developed mechanisms for accounting for constraints and risks, as well as the capabilities for scenario analysis to support well-founded managerial decision-making.

Получено 29.10.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.222.6

В. В. ПОЛЪЯНОВ, С. А. БЕССОНЕНКО

*Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск
polyanovvv@mail.ru, bessonenko@stu.ru*

СНИЖЕНИЕ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ РАДИОСВЯЗИ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ НА ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Исследуются особенности технологии обращения длинносоставных контейнерных поездов, приводящей к возникновению инфраструктурных ограничений и значитель-

ным изменениям в технологических процессах железнодорожных станций. Одним из ключевых среди них является ограничение дальности станционной радиосвязи при выполнении маневровых работ с составами длиной до 130 условных вагонов, что создает риски в оперативности и безопасности операций, поскольку традиционные системы связи не справляются с увеличенной протяженностью поездов. Предложенные меры позволяют не только устранить текущие ограничения, но и обеспечить масштабируемость системы для будущих увеличений длины поездов, способствуя повышению общей эффективности контейнерных перевозок на международных транспортных коридорах.

В условиях логистических вызовов организация перевозок длинносоставными поездами выходит на уровень стратегического приоритета: она радикально усиливает рациональность эксплуатации инфраструктуры, повышает провозную способность и обеспечивает повышение эффективности по объемам перевозки грузов. Как свидетельствуют отраслевые аналитические отчеты, сектор контейнерных перевозок переживает бурный рост, при этом составы удлиняются до 130 условных вагонов, что эквивалентно 2 км в длину. Данные факторы кардинально меняют парадигму станционной работы [1]. Поезда, предназначенные для массовой транспортировки грузов в контейнерах, требуют специальных подходов к их обращению на станциях: от приемоотправочных до сложных маневровых операций, включая объединение и деление составов, перестановку вагонов и закрепление. Тип маневровых устройств (локомотивы, тормозные площадки, стрелочные переводы) в сочетании с местными условиями станции (рельеф местности, длина путей, наличие инженерных сооружений) определяют уникальность технологии производства работ на отдельно взятой станции при обязательном обеспечении безопасности поездной и маневровой работы.

При прогнозируемом росте средней длины поездов (по планам РЖД, к 2030 году доля длинносоставных контейнерных поездов достигнет 30–40 % от общего трафика) актуальным направлением является адаптация станционной радиосвязи, учитывающая специфику технологического процесса и особенности построения сетей. В соответствии с Правилами технической эксплуатации железных дорог [2] передача всех указаний и команд при маневровой работе осуществляется с использованием станционной радиосвязи. Эта система обеспечивает голосовую связь в УКВ-диапазоне (160 МГц) между участниками маневровых передвижений: составителями поездов, машинистами и дежурными по станции.

Следует отметить, что существующие решения в построении сетей радиосвязи разрабатывались для поездов нормативной длины участка (как правило, 58–75 условных вагонов) и учитывают изменения, вызванные внедрением длинносоставных формирований. Это приводит к ограничениям в качестве и оперативности маневровых операций: задержки в передаче команд, потеря сигнала из-за экранирования вагонами и металлическими конструкциями.

Проведен анализ соответствия станционной сети радиосвязи к обработке длинносоставных поездов и предложены практические рекомендации для внедрения на железнодорожных станциях. В результате было выявлено, что построение и оптимизация сетей радиосвязи на железнодорожных станциях всегда осуществляется с учетом трех ключевых аспектов:

- особенностей технологического процесса (интенсивность маневров, зоны покрытия);
- технических характеристик используемых устройств (мощность передатчиков, чувствительность приемников, тип антенн);
- электромагнитной обстановки (помехи от оборудования, экранирование сигнала).

Для определения дальности радиосвязи в условиях, типичных для сложной среды распространения волн на станциях, в работе [3] рекомендовано использовать квадратичную формулу для расчета действующего значения напряженности электрического поля в приёмной точке, известную как формула Введенского. Эта модель, основанная на уравнениях Максвелла и приближениях, применимых в ближней зоне распространения радиоволн, выражается следующим образом:

$$E_{\Pi} = \frac{173\sqrt{P_1 D_1 h_1 h_2}}{r^2 \lambda}, \quad (1)$$

где E_{Π} – значение напряженности электромагнитного поля в точке приема, мВ/м; P_1 – мощность передатчика, Вт; D_1 – коэффициент усиления передающей антенны; h_1, h_2 – высота подъема антенны передающей, приемной радиостанции соответственно, м; r – протяженность линии радиосвязи (дальность), км; λ – длина волны, м.

Формула (1) отражает зависимость дальности радиосвязи от основных параметров передатчика, таких как геометрия радиотрассы, тип и характеристики антенн, а также мощность передатчика. Тем не менее в условиях железнодорожной инфраструктуры она требует доработки, поскольку не учитывает влияние факторов электромагнитной обстановки: отражения от металлических конструкций, поглощение сигнала атмосферой и динамическое экранирование подвижным составом.

В таблице 1 приведены эмпирические коэффициенты ослабления, подробно описанные в методических указаниях [4].

Таблица 1 – Значения ослабляющих коэффициентов

Коэффициент	Значение, дБ
Коэффициент ослабления сигнала контактной сетью, B_{kc}	1–3
Коэффициент ослабления сигнала корпусом локомотива, B_k	5–10
Коэффициент ослабления сигнала низким расположением антенн, B_h	2–4
Коэффициент ослабления в каналах с носимыми радиостанциями, B_{pn}	6–15

Последний коэффициент наиболее точно отражает отсутствие прямой радиовидимости между приемником и передатчиком. На рисунке 1 представлены результаты численного моделирования дальности радиосвязи между носимой радиостанцией составителя поездов (РН) и локомотивной радиостанцией машиниста (РВ) в условных вагонах.

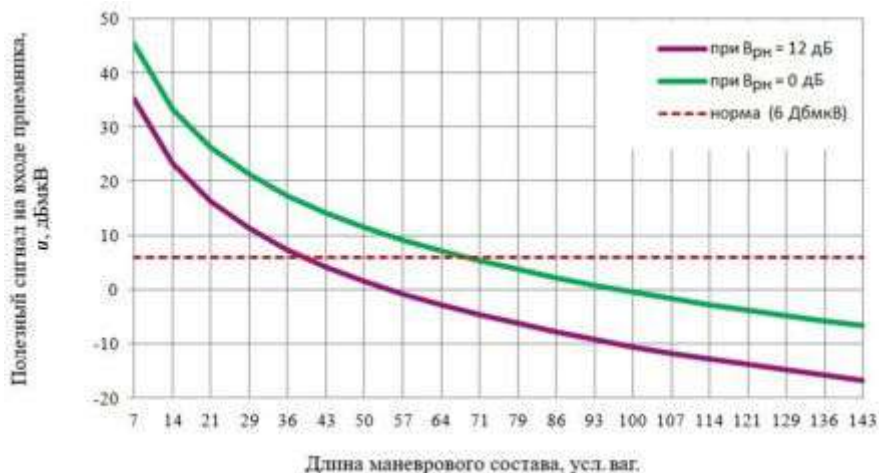


Рисунок 1 – Зависимость уровня полезного сигнала от дальности связи

Расчет выполнен с использованием формулы (1), при этом сигнал на входе приемника приведен к минимально необходимому уровню полезного сигнала в 0,5 мкВ для обеспечения устойчивой связи, с учетом ослабляющих коэффициентов из работы [4]. Параметры модели: $P_t = 5$ Вт, $G_t = 2,15$, $h_t = h_r = 2$ м, $f = 150$ МГц ($\lambda \approx 2$ м), общие потери 10–15 дБ.

В соответствии с расчетной зависимостью, построенной без учета экранирующего влияния подвижного состава ($V_{рн} = 0$ дБ, обеспечивающей идеальные условия прямой видимости), предел дальности радиосвязи между носимой и локомотивной радиостанцией достигает дальности порядка 70 условных вагонов, что эквивалентно 980 метрам. Данное значение соответствует максимальным дистанционным показателям, характерным для стандартных железнодорожных составов. Тем не менее в маневровых ситуациях, при которых линия прямой видимости радиосигнала подвергается пересечению подвижным составом или фиксированных инфраструктурных элементов (характеризуемых коэффициентом ослабления $V_{рн} = 12$ дБ), наблюдается существенное сокращение зоны устойчивой связи, уменьшающейся до дальности в 38–39 вагонов (530–546 м соответственно). Полученный результат свидетельствует о значительном влиянии локального экранирующего эффекта на качество и протяжённость станционной радиосвязи, что требует внедрения корректирующих коэффициентов в модели прогнозирования. Физически это оз-

начает наличие «мертвых зон» радиопокрытия на концах длинных составов, где составитель теряет связь с машинистом, что критично для координации торможения, наката на башмаки или расцепа. Аналогичные ограничения наблюдаются на станциях с высокой занятостью путей, где смежные составы усиливают взаимное экранирование. Таким образом, без модернизации текущие системы радиосвязи становятся ограничением для внедрения длинносоставных поездов, требуя мер по расширению покрытия.

Анализ надежности радиоканала в рамках технологического процесса железнодорожной станции требует учета внутренней стохастической динамики функционирования объекта. Деятельность составителя поездов характеризуется непрерывным перемещением внутри маневровых зон – от приемоотправочных путей до сортировочных горок – при этом его позиция в конкретной расчетной точке (например, у торца подвижного состава) является случайной величиной, описываемой вероятностными распределениями. Такая стохастическая природа движения вносит существенную неопределенность в обеспечение устойчивой радиосвязи, выражающуюся через коэффициент готовности системы (K_r). Данный параметр количественно характеризует вероятность доступности канала связи в произвольный момент времени и его способность к стабильной работе на заданной позиции.

Исследования, посвященные оценке надежности радиосетей в подобных условиях [5, 6], показывают, что простое повышение мощности передающих устройств не обеспечивает существенного улучшения качества связи. Вместо этого более эффективным подходом является интеграция дополнительных, параллельно функционирующих компонентов и построение резервных коммутационных путей, что способствует повышению устойчивости и надежности канала посредством создания избыточных маршрутов передачи сигнала. В теории сетей коэффициент готовности для такой конфигурации определяется формулой полного охвата отказов [7]:

$$K_r = \prod_{i=1}^n K_{r_i}. \quad (2)$$

В случае параллельного соединения компонентов, формирующих резервные каналы коэффициент готовности системы рассчитывается по формуле

$$K_r = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - K_{r_i}).$$

Иными словами, общая готовность системы равна вероятности того, что хотя бы один из резервных каналов функционирует корректно. Математически это выражается через дополнение до единицы произведения вероятностей отказов всех каналов [2].

В общем случае канал радиосвязи между составителем и машинистом может быть представлен в виде блочно-графовой модели, схема которой приведена на рисунке 2.

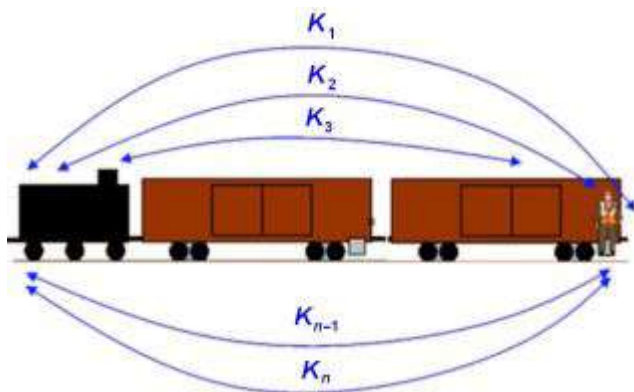


Рисунок 2 – Схема замещения канала радиосвязи

В таблице 2 представлены результаты поэтапного итеративного вычисления коэффициента готовности сети «составитель-машинист» с учетом варьирования числа внедряемых резервных (обходных) связей.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициента готовности

Количество связей	K_0	$K_{0,1}$	$K_{0,1,2}$	$K_{0,1,2,3}$	$K_{0,1,2,3,4}$
K_r сети радиосвязи	0,95	0,9975	0,999875	0,999994	0,99999969

Результаты проведенного численного моделирования показывают целесообразность введения дополнительных связей: уже с одним обходным каналом K_r возрастает до 99,75 %, а с тремя – превышает 99,999 %, что соответствует требованиям для критически важных систем (например, по ГОСТ Р 27.002–2009).

Технически такая схема реализуется установкой ретранслятора – стационарной радиостанции промежуточного типа, которая принимает ослабленный радиосигнал от РН, усиливает его до 20–30 дБ без искажений и транслирует в эфир. Ретранслятор размещается на возвышенностях или мачтах с высотой 10–15 м для минимизации экранирования, с питанием от основной сети станции и резервным аккумулятором. Внедрение такого устройства не только повышает покрытие на 30–50 % по длине состава, но и снижает зависимость от таких погодных факторов, как дождь или снег, интегрируясь в существующую инфраструктуру без полной замены оборудования.

Дополнительно стоит отметить, что оценка надежности должна включать симуляцию сценариев, например, с помощью программного обеспечения MATLAB или специализированных пакетов для моделирования распространения волн (Wireless InSite), где учитываются многолучевое распространение и доплеровские сдвиги от движения поезда (скорость до 10–15 км/ч в маневрах). Такие модели подтверждают, что ретрансляторы эффективны на станциях с длиной путей более 1000 м, где базовое покрытие падает ниже 80 %.

Таким образом, процесс выбора и внедрения технических мер по модернизации радиосетей железнодорожных станций должен базироваться на детальных расчетах радиуса действия канала связи, а также на комплексном анализе факторов, влияющих на качество передачи сигнала. При этом необходимо учитывать как статические параметры среды топографические особенности, стационарные инженерные конструкции), так и динамические события (перемещение подвижного состава, мобильность персонала), которые существенно влияют на устойчивость и надежность радиоканала. Результаты проведенных в работе оценочных расчетов однозначно показывают, что наиболее эффективными способами преодоления ограничений является создание зон прямой видимости радиосигнала путем оптимизации размещения антенн (например, перенос на крыши зданий) и увеличение высоты установки антенн. Введение дополнительных узлов в радиосеть для формирования резервированных каналов позволит существенно расширить рабочую дальность РН-РВ до 100 вагонов и более при минимальных потерях сигнала.

Обеспечение покрытия радиосвязью всей территории станции, включая тупиковые участки и сортировочные горки, сопряжено с существенными экономическими и организационно-техническими затратами. Эти расходы охватывают приобретение необходимого оборудования, его установку, а также последующий ввод в эксплуатацию. Кроме того, добавление дополнительных узлов связи приводит к увеличению числа передатчиков на объекте, что повлечет за собой повышение общего энергопотребления и риск возникновения электромагнитных помех на сопредельные системы безопасности и сигнализации. Поэтому для практического применения таких систем необходимо проводить дальнейшие исследования по разработке интегрированных моделей на основе искусственного интеллекта для предиктивного анализа покрытия, а также полевые испытания ретрансляторов на пилотных станциях с экономической оценкой их окупаемости. Комплексный подход позволит инфраструктуре станции адаптироваться к технологии работы с длинносоставными поездами, обеспечивая ее безопасность и эффективность в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Оленцевич, В. А. Анализ влияния пропуска длинносоставных поездов на участке железнодорожного пути на качественные показатели графика движения поездов и безопасность перевозочного процесса / В. А. Оленцевич, Н. В. Власова, Е. В. Каимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2022. – № 3 (75). – С. 149–158.
- 2 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. – URL: <https://www.tdesant.ru/info/item/316> (дата обращения: 20.09.2025).
- 3 Долуханов, М. П. Распространение радиоволн : учеб. / М. П. Долуханов. – 4-е изд. – М. : Связь, 1972. – 336 с.

4 Художитков, П. И. Расчет дальности станционной радиосвязи / П. И. Художитков. – Екатеринбург : УрГУПС, 2006. – 15 с. – URL: https://scbist.com/scb/uploaded/36366_1682796762.pdf (дата обращения: 20.09.2025).

5 Роевков, Д. Н. Способ оценки надежности сети поездной радиосвязи / Д. Н. Роевков, П. А. Плеханов, Н. В. Яронова // Современные технологии – транспорту. – 2017. – № 3. – С. 461–470.

6 Полянов, В. В. Снижение инфраструктурных ограничений радиосвязи на участках обращения длинносоставных поездов / В. В. Полянов // Железная дорога: путь в будущее : Сб. материалов II Междунар. науч. конф. аспирантов и молодых ученых к 80-летию аспирантуры и научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразования» АО «ВНИИЖТ», Москва, 18 апреля 2024 года. – М. : Инфра-М, 2024. – С. 400–405.

7 Рогинский, В. Н. Теория сетей связи : учеб. для вузов связи / В. Н. Рогинский, А. Д. Харкевич, М. А. Шнепс [и др.]. – М. : Радио и связь, 1981. – 192 с.

8 Polyakov, V. V. Stochastic timetable disturbances in heavy haul and extra-long train traffic / V. V. Polyakov, V. V. Atuchin, S. A. Bessonenko // T-Comm. – 2025. – Vol. 19, № 2. – P. 53–60.

V. V. POLYANOV, S. A. BESSONENKO

MITIGATING INFRASTRUCTURE LIMITATIONS OF RADIO COMMUNICATION FOR CONTAINER TRAIN OPERATIONS AT CLASSIFICATION YARDS

The features of technology of the reference for handling long container trains resulting in occurrence of infrastuctural restrictions and significant changes in technological processes of railway stations are investigated. One of key among them is the restriction of range a station radio communication at performance shunting of works with structures length up to 130 conditional cars, that creates risks in efficiency and safety of operations, as the traditional systems of communication do not consult with the increased extent of trains. The offered measures allow not only to remove the current restrictions, but also to ensure scalability of system for the future increases length of trains, promoting increase of a general efficiency container transportations on the international transport corridors.

Получено 21.10.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.212.5:625.1

Е. Н. ПОТЫЛКИН

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

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ПЕРИОДА ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ПОДАЧАМИ ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Представлена методика расчета среднего периода времени между подачами вагонов на железнодорожный путь необщего пользования в условиях использования

подвижного состава грузоотправителей, грузополучателей. Решение задачи выполнено на основании недетерминированной модели, что позволяет учесть случайную составляющую во взаимодействии железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Решение задачи взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования со станциями примыкания через расчетный интервал времени, а не через число подач-уборок характеризуется наличием следующих преимуществ:

- возможность определить числа вагонов в составе конкретной подачи-уборки, что особенно актуально в условиях использования системы тарификации услуг по подаче, уборке подвижного состава, основанной на взимании платы за конкретное число поданных или убранных вагонов;

- учитываются современные условия работы железнодорожного транспорта, которые характеризуются ростом числа вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке, возможностью привлечения новых перевозчиков на железнодорожную сеть. В условиях, когда подачи-уборки в одни сутки могут выполняться разными перевозчиками, издержки грузовладельца, связанные с этими операциями, будут разными в течение суток. Это обосновывает построение целевой функции, учитывающей издержки на одну конкретную подачу-уборку, а не за сутки;

- исходя из положений теории запасов возможна синхронизация отправления (прибытия) составов с мест необщего пользования через равный интервал времени. Это позволит учесть многономенклатурность прибывающих и отправляемых грузов с мест необщего пользования и интенсивность спроса на них.

При этом решение задачи исходя из первого условия возможно:

- с разделением на технологические операции, выполняемые в каждом элементе системы путей общего и необщего пользования. В таком случае издержки грузовладельца будут рассчитаны для различных вариантов системы путей общего и необщего пользования с учетом всех возможных операций. Пытаясь достигнуть цели повышения точности расчетов за счет учета всех возможных операций в системе, следует иметь в виду, что теоретически исследование выполняется в расчетной усредненной модели. Поэтому рассматриваемый подход будет наиболее эффективен для реальных железнодорожных путей необщего пользования;

- с обобщением технологических операций в системе путей общего и необщего пользования без разделения по модулям и внутри них. Такой способ наиболее целесообразен для расчетной усредненной модели. Кроме того, результаты, полученные согласно рассматриваемому подходу, незначительно отличаются от предыдущего способа.

При выполнении подачи-уборки вагонов на фронты погрузки-выгрузки в качестве обслуживающего устройства выступает маневровый локомотив, а в качестве требования – подача-уборка вагонов. Имея в виду случайный характер работы маневровых средств, необходимо учитывать вероятностный характер возникновения простоев и их стоимость. Следовательно загрузка локомотивов должна быть экономически оправдана и обеспечивать минимум суммарных затрат на непроизводительные простои:

$$F = [\rho^2 \lambda_p N_{\phi} T (c_{вч} + c_{фч}) / (1 - \rho) + \rho^2 \lambda_{в} T c_{вч} / (1 - \rho) + (1 - \rho) c_{лч}] t \rightarrow \min, \quad (1)$$

где ρ – относительная загрузка обслуживающего устройства,

$$\rho = t_{об} / TM, \quad (2)$$

$t_{об}$ – средняя продолжительность обслуживания требования, ч/требование;
 T – средний интервал времени между поступлениями требований, ч/требование;
 M – число маневровых локомотивов, обслуживающих железнодорожный путь необщего пользования λ_p – расчетная средневзвешенная интенсивность потока вагонов на фронты погрузки-выгрузки грузового района, ваг./ч,

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^{N_{\phi}} \lambda_i \frac{\lambda_i}{\lambda_{в}}, \quad (3)$$

N_{ϕ} – количество фронтов погрузки-выгрузки, задействованных в перезарядке; λ_i – интенсивность потока вагонов на i -й фронт погрузки-выгрузки, ваг./ч; $\lambda_{в}$ – общая интенсивность потока вагонов на железнодорожный путь необщего пользования, ваг./ч,

$$\lambda_{в} = \sum_{i=1}^{N_{\phi}} \lambda_i; \quad (4)$$

$c_{вч}$, $c_{фч}$, $c_{лч}$ – удельная расходная ставка, отнесенная соответственно на один вагоно-час, фронто-час, локомотиво-час; t – период времени, для которого определяются затраты, ч.

В формуле (1) принято, что поток требований подчиняется закону Пуассона, а продолжительность обслуживания на фронте распределена по показательному закону.

При поступлении вагонов на железнодорожный путь необщего пользования они могут попадать под двоякие операции. Вагоны инвентарного парка под двоякую операцию направляются по регулировочному заданию, а грузоотправителей, грузополучателей – в соответствии с заявкой (инструкцией) оператора (собственника) подвижного состава. Вагоны, на которые отсутствует инструкция на движение в порожнем состоянии и не произведена оплата за порожний рейс, направляются в отстой. Как известно, коэффициент двояких операций определяется по формуле

$$K_{\text{сдв}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{в}}}{U_{\text{в}} + U_{\text{нед}}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{п}}$, $U_{\text{в}}$ – соответственно суточная погрузка и выгрузка, вагонов; $U_{\text{нед}}$ – недостаток порожних вагонов.

Коэффициент сдвоенных операций принято рассчитывать для станции, но эта величина также может быть определена и для железнодорожного пути необщего пользования. При расчете $K_{\text{сдв}}$ для станции учитываются вагоны, которые могут быть поданы из-под выгрузки на месте общего либо необщего пользования, примыкающем к станции, на это же или другое место общего либо необщего пользования станции. При расчете $K_{\text{сдв}}$ для железнодорожного пути необщего пользования рассматривается перестановка подвижного состава из-под выгрузки под погрузку в его пределах.

В формуле (5) знаменатель ($U_{\text{в}} + U_{\text{нед}}$) соответствует числу поданных на путь необщего пользования вагонов за сутки, ваг./сут,

$$U_{\text{в}} + U_{\text{нед}} = 24\lambda_{\text{в}}. \quad (6)$$

Подставив уравнение (6) в формулу (5), получим

$$K_{\text{сдв}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{в}}}{24\lambda_{\text{в}}}, \quad (7)$$

Откуда

$$K_{\text{сдв}} = \frac{U_{\text{п}} + U_{\text{в}}}{24K_{\text{сдв}}}, \text{ ваг./ч.} \quad (8)$$

Коэффициент сдвоенных операций для маневровых районов нецелесообразно рассматривать ввиду того, что в большинстве случаев они проектируются для обслуживания конкретных цехов предприятий, на которых, как правило, осуществляется либо погрузка, либо выгрузка. Исключительными являются случаи, когда в пределах одного маневрового района выполняется перестановка вагонов из-под выгрузки под погрузку. Такой вариант может быть характерен для фронтов, где выполняется погрузка и выгрузка в одинаковый тип подвижного состава. Например, крытые вагоны подаются к складу, где осуществляется выгрузка одного вида тарно-штучных грузов, затем в этот же подвижной состав грузится другой вид тарно-штучных грузов.

Влияние коэффициента сдвоенных операций на продолжительность маневровой работы на железнодорожном пути необщего пользования может быть отражено через общую интенсивность потока вагонов, от которой зависит количество вагонов в составе подачи-уборки со станции. При обработке подвижного состава в маневровых районах, то есть выполнении перезарядки фронтов, следует использовать не $\lambda_{\text{в}}$, а конкретные интенсивности потоков вагонов на i -е фронты, либо средневзвешенную интенсивность потока, умноженную на количество фронтов, задействованных в перезарядке. Таким обра-

зом, $\lambda_{\text{в}}$ используется в пределах элементов «станция примыкания – станция заводская» системы путей общего и необщего пользования, а $\lambda_{\text{р}}$ – в пределах «станция заводская – маневровые районы – фронты погрузки-выгрузки». Указанное положение учтено в целевой функции (1). В ней второе слагаемое представляет собой затраты, связанные с простоем вагонов в составе подачи-уборки по причине загруженности локомотива. Здесь $\rho^2 / (1 - \rho)$ – средняя величина очереди из подач-уборок; $\lambda_{\text{в}}T$ – средний размер подачи-уборки.

В случае возникновения задержки подачи вагонов на фронты соответственно такое же время будут простаивать перевозочные средства на местах погрузки-выгрузки, что учитывается в целевой функции F первым слагаемым, где $\lambda_{\text{р}}T$ – расчетное средневзвешенное значение величины группы вагонов на фронте грузового района, $\rho^2 / (1 - \rho)$ – средняя величина очереди, а поскольку в модели рассматривается весь железнодорожный путь необщего пользования, то учтено еще и количество фронтов в нем $N_{\text{ф}}$.

Третье слагаемое целевой функции отражает затраты, связанные с непроизводительными простоями локомотивов $(1 - \rho)c_{\text{лч}}t$.

При этом суммарная продолжительность обслуживания требования (подачи-уборки) определяется не числом локомотивов, работающих на железнодорожном пути необщего пользования, а распределением подвижного состава по грузовым (маневровым) районам и фронтам погрузки-выгрузки. Продолжительность обслуживания требования (подачи-уборки вагонов) в общем виде включает в себя: подачу вагонов со станции примыкания на железнодорожный путь необщего пользования, расформирование прибывшего состава, подборку вагонов, подачу подвижного состава на фронты погрузки-выгрузки, перезарядку фронтов, уборку перевозочных средств на пути накопления, окончание формирования, уборку вагонов на станцию примыкания, ч:

$$t_{\text{об}} = t_{\text{п}}^{\text{с}} + t_{\text{с}} + t_{\text{сб}} + t_{\text{п}} + t_{\text{пз}} + t_{\text{yb}} + t_{\text{оф}} + t_{\text{yb}}^{\text{с}}, \quad (9)$$

где $t_{\text{п}}^{\text{с}}$, $t_{\text{yb}}^{\text{с}}$ – продолжительность соответственно подачи и уборки вагонов со (на) станции примыкания, ч,

$$t_{\text{п}}^{\text{с}} = [(\alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}} m_{\text{пу}}) v_{\text{с}} / 2 + 0,06 l_{\text{пу}}^{\text{с}} / v_{\text{с}}] / 60, \quad (10)$$

$\alpha_{\text{рт}}$, $\beta_{\text{рт}}$ – нормативные коэффициенты; $m_{\text{пу}}$ – количество вагонов в составе подачи-уборки,

$$m_{\text{пу}} = \lambda_{\text{в}}T; \quad (11)$$

$v_{\text{с}}$ – скорость движения маневрового состава между станцией и железнодорожным путем необщего пользования, км/ч; $l_{\text{пу}}^{\text{с}}$ – длина полурейса при подаче либо уборке вагонов со (на) станции примыкания, м; $t_{\text{с}}$ – продолжительность сортировки вагонов, ч,

$$t_{\text{с}} = (Ag + B\lambda_{\text{в}}T) / 60, \quad (12)$$

А, Б – нормативные коэффициенты; g – количество групп формирования; $t_{сб}$ – продолжительность сборки вагонов, ч,

$$t_{сб} = (1,8p_{сб} + 0,3\lambda_{в}T) / 60, \quad (13)$$

$p_{сб}$ – количество путей, с которых переставляются вагоны; $t_{п}$, $t_{уб}$ – продолжительность соответственно подачи и уборки вагонов в грузовые (маневровые) районы, ч;

$$t_{п} = m \left[\left(\alpha_{пр} + \beta_{пр} \frac{\lambda_{п} T N_{\phi}}{m} \right) v / 2 + 0,06 l_{пу} / v \right] / 60, \quad (14)$$

m – число грузовых районов на железнодорожном пути необщего пользования; v – скорость движения маневрового состава в грузовом районе, км/ч; $l_{пу}$ – длина полурейса при подаче либо уборке вагонов в грузовой район, м; $t_{пз}$ – продолжительность перезарядки фронтов погрузки-выгрузки, ч. На практике в m грузовых районах возможны случаи, когда выставочный путь у фронтов может быть либо занят временно размещенными вагонами, либо не занят.

Продолжительность перезарядки фронтов погрузки-выгрузки, ч, рассчитывается следующим образом:
для первого случая

$$t_{пз}^{впз} = \left\{ 3,6 + A p_p + 1,8 g_{ср} + 1,3 \left[\frac{m_{пу}}{m} (0,3 + Б) + \lambda_p \frac{T}{g_{ср}} \left(\frac{3}{5} + Б \right) \right] (0,03 p_p - \right. \\ \left. - 0,135) \left(1,41 - 0,17 \frac{N_{\phi}}{m} \right) + \left(0,087 \frac{L_{п}}{p_p} + 10,2 \right) \left(0,16 \frac{N_{\phi}}{m} + 0,44 \right) \right\} / 60; \quad (15)$$

для второго случая

$$t_{пз}^{впз} = \left\{ 1,8(p_p + 1) + A(g_{ср} + 1) + \left[\frac{m_{пу}}{m} (0,3 + Б) + \lambda_p T g_{ср} (0,6 + Б) \right] (0,013 p_p + \right. \\ \left. + 0,037) \left(0,075 \frac{N_{\phi}}{m} + 0,76 \right) + 1,3 \frac{m p_p}{N_{\phi}} \left(0,055 \frac{L_{п}}{p + 1} + 7,62 \right) \left(0,31 \frac{N_{\phi}}{m} + 0,078 \right) \right\} / 60, \quad (16)$$

где $g_{ср}$ – среднее число групп вагонов, которые задействованы в расстановке, сборке вагонов у фронтов погрузки, выгрузки в грузовом районе, групп/ман. район; p_p – число путей, на которые поступают вагоны в процессе их расстановки, сборки у фронтов погрузки, выгрузки; $L_{п}$ – суммарная длина путей у фронтов погрузки-выгрузки, задействованных в перезарядке, м.

Пусть доля грузовых районов, где выставочный путь у фронтов занят (отсутствует), равна α_3 . В таком случае продолжительность перезарядки фронтов погрузки-выгрузки железнодорожного пути необщего пользования

$$t_{пз} = m \alpha_3 t_{пз}^{впз} + m(1 - \alpha_3) t_{пз}^{впз}. \quad (17)$$

На любом элементе системы путей общего и необщего пользования возможно направление вагонов грузоотправителей, грузополучателей во временное размещение (отстой). По этой причине в формулах расчета продол-

жительности маневровых операций следует учесть долю таких вагонов в общем потоке α_0 и вероятность направления такого подвижного состава в отстой p_0 . Следовательно, количество отцепов увеличится на $g\alpha_0 p_0$, а количество сортируемых вагонов – на $\lambda_n T \alpha_0 p_0$.

Приняв, что продолжительность подачи равна продолжительности уборки вагонов $t_{пз} = t_{уб} = t_{пз}$, $t_{п}^c = t_{уб}^c = t_{пз}^c$, подставив выражения (10)–(16) в целевую функцию (1) и продифференцировав его, следует разрешить уравнение dF/dT относительно T . В результате получено выражение четвертой степени. С помощью метода Феррари, а также формулы Кардано найдено оптимальное значение среднего периода времени между подачи вагонов на железнодорожный путь необщего пользования, ч/подачу,

$$T = -\frac{a}{4} + \frac{1}{2} \cdot \left[2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right)} + \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}} + \right. \\ \left. + 2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right)} - \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}} \right]^{\frac{1}{2}} \pm \\ \pm \frac{1}{2} \cdot \left[2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right)} + \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}} + \right. \\ \left. + 2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right)} - \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}} - \right. \\ \left. - 4 \cdot \left\{ q \cdot \left[4\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right)} + \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}} + \right. \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& + 4 \sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right) - \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}^{-1} + \\
& + \sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right) + \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}} + \\
& + \sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6} - \frac{q^2}{16} - \frac{p}{54}\right) - \sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3} - \frac{q^2}{8} - \frac{p}{27}\right)^2}{4} - \frac{\left(r + \frac{p^2}{12}\right)^3}{27}} + \frac{p}{2}}^{\frac{1}{2}}, \quad (18)
\end{aligned}$$

где

$$p = b - \frac{3a^2}{8}; \quad (19)$$

$$q = \frac{a^3}{8} - \frac{ab}{2} + c; \quad (20)$$

$$r = -\frac{3a^4}{256} + \frac{a^2b}{16} - \frac{ca}{4} + d; \quad (21)$$

$$a = \frac{2X}{Z - M}; \quad (22)$$

$$b = \frac{X^2MH + ZX^2H + 2MZX_{\text{лч}} - M^2Xc_{\text{лч}} - Z^2Xc_{\text{лч}}}{Z^3H - Z^2HM}; \quad (23)$$

$$c = \frac{2MX^2c_{\text{лч}}}{Z^3H - Z^2HM}; \quad (24)$$

$$d = -\frac{X^3c_{\text{лч}}}{Z^3H - Z^2HM}; \quad (25)$$

$$\begin{aligned}
X = & \frac{1}{60} \left\{ \alpha_{\text{пр}} v_c + 0,12 \frac{l_{\text{ny}}^c}{v_c} + 2Ag(1 + \alpha_o p_o) + 3,6 p_{\text{сб}} + 2m \left(\alpha_{\text{пр}} v + 0,12 \frac{l_{\text{ny}}}{v} \right) + m(1 - \alpha_3) \times \right. \\
& \times \left[1,8(p_p + 1) + A(g_{\text{сп}} + 1) + 1,3 \frac{m}{N_{\Phi}} \left(0,055 \frac{L_{\text{n}}}{p_p + 1} + 7,62 \right) \cdot \left(0,31 \frac{N_{\Phi}}{m} + 0,078 \right) \right] +
\end{aligned}$$

$$+ m\alpha_3 \left[3,6 + Ap_p + 1,8g_{cp} + \left(0,087 \frac{L_n}{p_p} + 10,2 \right) \cdot \left(0,16 \frac{N_\Phi}{m} + 0,44 \right) \right] \Bigg\}; \quad (26)$$

$$Z = \frac{1}{60} \{ \beta_{pt} \lambda_b v_c + \lambda_b (0,6 + 2B) \cdot (1 + \alpha_o p_o) + \beta_{pt} \lambda_p N_\Phi v + \\ + m(1 - \alpha_3) \left[\frac{\lambda_b}{m} (0,3 + B) + \lambda_p (0,6 + B) \right] \cdot (0,0013 p_p + 0,037) \cdot \left(0,075 \frac{N_\Phi}{m} + 0,76 \right) + \\ + 1,3m\alpha_3 \left[\frac{\lambda_b}{m} (0,3 + B) + \lambda_p (0,6 + B) \right] \cdot (0,03 p_p + 0,135) \cdot \left(1,41 - 0,17 \frac{N_\Phi}{m} \right) \Bigg\}; \quad (27)$$

$$H = \lambda_p N_\Phi (c_{фр} + c_{вч}) + \lambda_b c_{вч}. \quad (28)$$

При этом должно выполняться условие

$$M \neq \frac{X}{T} + Z. \quad (29)$$

Обобщая представленный материал, следует сделать следующие выводы:

1 Одним из главных параметров, характеризующих взаимодействие станций примыкания с железнодорожными путями необщего пользования, является средний интервал времени между подачами-уборками вагонов.

2 Решение задач взаимодействия через средний временной интервал, а не через число подач-уборок имеет ряд преимуществ, позволяющих учесть современные условия работы железнодорожного транспорта, которые характеризуются наличием вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке, возможностью привлечения новых перевозчиков на железнодорожную сеть.

3 Исходя из условия обеспечения минимума суммарных затрат на непроводительные простои вагонов, локомотива, фронтов погрузки-выгрузки получена формула расчета оптимального среднего периода времени между подачами вагонов со станции примыкания на железнодорожный путь необщего пользования.

4 Отличительными особенностями полученной зависимости является отражение влияния в явном виде доли вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке α_o и вероятности направления такого подвижного состава во временное размещение p_o .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Еловой, И. А. Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : монография / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.

CALCULATION OF THE AVERAGE TIME PERIOD BETWEEN INNINGS WAGONS ON THE INDUSTRIAL SIDINGS

The method of calculating the average time period between the supply of wagons to a industrial sidings in the conditions of using a moving train of shippers and consignees is presented. The solution of the problem was performed on the basis of a non-deterministic model, which allows us to take into account the random component in the interaction of railway transport of general and non-general use.

Получено 11.05.2025

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025**

УДК 656.08:004.056.5

Н. А. РЕПЕШКО, Н. Р. ОСИПОВА, Е. В. ДАРАСЕЛИЯ, А. И. СТЕПОВАЯ
Ростовский государственный университет путей сообщения,
г. Ростов-на-Дону

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Представлен отечественный и зарубежный опыт по использованию биометрических систем для обеспечения перевозок на железнодорожном транспорте.

Оптимизировать качество обслуживания пассажиров, повысить скорость, автоматизировать процессы, сократить время на регистрацию и посадку пассажиров возможно за счет внедрения биометрической системы. Каждый пассажир при посадке в поезд выбирает способы его идентификации: использование биометрических данных или персонализированных данных. За счет цифровизации и оптимизации предоставляемых услуг пассажирам, применение биометрии на транспорте представляет собой тенденцию развития транспортной инфраструктуры на всех видах транспорта.

Биометрия в сфере транспорта впервые была внедрена в метро в 2001 г. в Москве. Ее достоинствами являлись более быстрый проход в метро и сравнительно низкая стоимость проезда по сравнению с оплатой банковской картой. Данный сервис внедрен в Казани, Нижнем Новгороде, Самаре и Екатеринбурге, в 2025 году предполагается внедрить его в Санкт-Петербурге и Новосибирске.

На рисунке 1 представлены показатели внедрения системы оплаты по биометрии в метро по городам России.

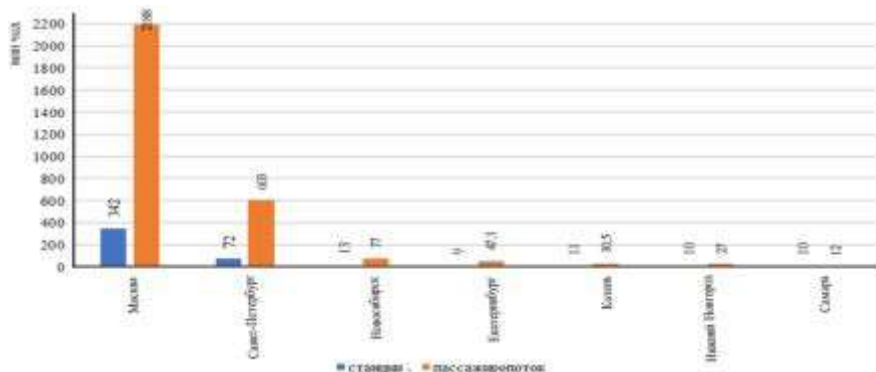


Рисунок 1 – Показатели внедрения системы оплаты по биометрии

В перспективе на железнодорожном транспорте по верификации пассажиров пропуск в пассажирские вагоны, оплата проезда, удаленный медицинский осмотр машинистов, водителей, аренда автомобилей визуализация в начале и по окончании поездки, прохождение досмотров в аэропорту и на вокзале.

Биометрия необходима для идентификации личности с использованием дактилоскопических признаков и аутентификации человека: отпечатки пальцев, лицо, радужная оболочка глаза, геометрия руки, узор вен в ладони, волос и многое другое.

Таблица 1 – Общие свойства биометрической идентификации

Достоинства	Недостатки	Вероятностный характер работы биометрии
Идентификатор невозможно забыть или потерять	Высокая цена	Невозможность достижения 100%-й достоверности результата
Затруднена передача идентификатора другому лицу	Низкая вандалостойкость, сложность защиты	Вероятность возникновения ошибки зависит от конкретной системы
—	Низкая скорость работы	—

При исследовании биометрических данных идентификаторы дают очень высокие показатели (вероятность несанкционированного доступа – 0,1–0,0001 %, вероятность ложного задержания – доли процентов, время идентификации – единицы секунд) и имеют более высокую финансовую ставку по сравнению со средствами атрибутивной идентификации.

В настоящее время биометрия является значимым фактором на всех видах транспорта, она укрепляется и становится более устойчивой и защищенной, имеет повышенную надежность, поэтому необходимо разрабатывать стандарты по биометрическим данным.

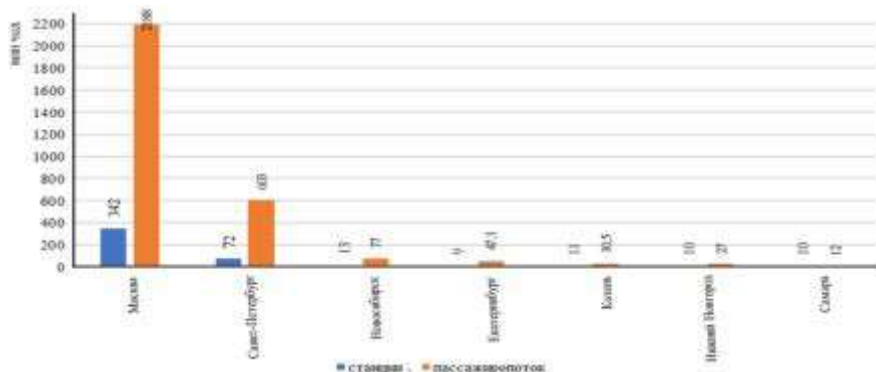


Рисунок 1 – Показатели внедрения системы оплаты по биометрии

В перспективе на железнодорожном транспорте по верификации пассажиров пропуск в пассажирские вагоны, оплата проезда, удаленный медицинский осмотр машинистов, водителей, аренда автомобилей визуализация в начале и по окончании поездки, прохождение досмотров в аэропорту и на вокзале.

Биометрия необходима для идентификации личности с использованием дактилоскопических признаков и аутентификации человека: отпечатки пальцев, лицо, радужная оболочка глаза, геометрия руки, узор вен в ладони, волос и многое другое.

Таблица 1 – Общие свойства биометрической идентификации

Достоинства	Недостатки	Вероятностный характер работы биометрии
Идентификатор невозможно забыть или потерять	Высокая цена	Невозможность достижения 100%-й достоверности результата
Затруднена передача идентификатора другому лицу	Низкая вандалостойкость, сложность защиты	Вероятность возникновения ошибки зависит от конкретной системы
—	Низкая скорость работы	—

При исследовании биометрических данных идентификаторы дают очень высокие показатели (вероятность несанкционированного доступа – 0,1–0,0001 %, вероятность ложного задержания – доли процентов, время идентификации – единицы секунд) и имеют более высокую финансовую ставку по сравнению со средствами атрибутной идентификации.

В настоящее время биометрия является значимым фактором на всех видах транспорта, она укрепляется и становится более устойчивой и защищенной, имеет повышенную надежность, поэтому необходимо разрабатывать стандарты по биометрическим данным.

Различают следующие параметры биометрии, которые определяют качество работы системы:

- ошибка 1-го рода – FAR (False Acceptance Rate);
- ошибка 2-го рода – FRR (False Rejection Rate).

Предполагается, что FAR указывает на вероятность того, что система примет «чужого» за «своего», FRR – на вероятность того, что система не распознает «своего». Например, показатель 1:1000 FRR означает, что только одному человеку из 1000 авторизованных пользователей будет ошибочно отказано в доступе. Показатель 1:1000 FAR определяет такую работу системы, при которой из 1000 неавторизованных посетителей будет ошибочно пропущен только один человек.

Для того, чтобы снизить ошибки в биометрических системах применяются следующие методы.

1 Определение предельных величин, которые влияют на факторы возникновения ошибок, которые должны уравниваться ошибками 1-го и 2-го рода (FAR и FRR) и обеспечивать беспрепятственный доступ, не допуская несанкционированный вход в систему.

2 Определение вероятности отказа в доступе ошибки 2-го рода (FRR), внедрение режима подтверждения (вместо идентификации использовать режим, при котором происходит сравнение «один к одному», а не «один к нескольким», то можно снизить вероятность отказа в доступе).

3 Установка, подключение и техническое обслуживание биометрических сканеров согласно эксплуатационной документации.

4 Использование персонализированных индивидуальных порогов обнаружения (выборочно для определенных людей или задаваться администратором, либо варьироваться автоматически для всего персонала в зависимости от индивидуальной ошибки 2-го рода).

5 Использование шлюзовых (блокирующих) технологий. Они обеспечивают автоматическое задержание несанкционированного лица.

6 Совмещение процедур биометрического контроля с использованием дактилоскопических признаков и аутентификации человека (коды, пароли).

Высокое количество ошибок 1-го и 2-го рода может возникнуть, если произойдет изменение базовых настроек считывателя, а при большом количестве ошибок FRR возникают отказы в доступе пользователю, имеющему на это право.

Для массового использования биометрической верификации и идентификации на железнодорожном транспорте необходимо оборудование для обработки биометрических данных. Применение биометрической верификации и идентификации на железнодорожном транспорте может стать вариантом замены по предъявлению традиционных документов, при этом стандартные способы посадки также останутся доступными для пассажиров.

Система биометрической верификации и идентификации будет работать через Единую биометрическую систему (ЕБС), которая использует фото-

графии лиц и голос. Это необходимо на упрощение процесса регистрации, посадки и высадки; улучшение пользовательского опыта для пассажиров, это может значительно ускорить процесс идентификации на вокзалах и аэропортах.

При использовании биометрических данных на железнодорожном транспорте может быть достигнута более высокая степень безопасности за счет следующих факторов.

1 Редукция идентификации пассажиров. Биометрические технологии позволяют быстро и точно идентифицировать пассажиров, снижая вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

2 Предотвращение несанкционированного доступа к поездам и вокзалам, что делает транспортную систему более защищенной от потенциальных угроз.

3 Прохождение контроля пассажирами без необходимости предъявления бумажных билетов или паспортов. Это не только упрощает процесс, но и уменьшает риск подделки документов.

4 Создание более эффективной системы управления безопасностью, которая будет учитывать различные аспекты, включая мониторинг и анализ данных.

5 Принятие мер и реагирование на событие. Биометрические системы могут помочь в быстром реагировании на инциденты. Например, в случае подозрительной активности или угрозы безопасности системы могут мгновенно идентифицировать и отслеживать людей, что позволяет службам безопасности принимать меры быстрее и более эффективно.

Таким образом, внедрение биометрических технологий в железнодорожный транспорт повышает не только удобство для пассажиров, но и уровень безопасности, что является значимым аспектом в современных условиях.

Применение верификации пассажира сталкивается с рядом сложностей, одной из которых является освещенность. В пунктах пропуска, где используется сканирование лица, может присутствовать как постоянное, так и адаптивное освещение. В то же время устройства биометрической идентификации по лицу могут быть чувствительны к прямым солнечным лучам, резким контрастными теням или, напротив, недостаточно яркому освещению.

Круглосуточная работа вокзалов и аэропортов ставит перед сообществом перевозчиков сложную задачу обеспечения проверки и идентификации пассажиров во всех точках прохода без снижения качества и эффективности работы. Исследования, проведенные разработчиками терминалов лицевой биометрии, выявили, что эффективность адаптивных систем идентификации непосредственно связана с качеством оборудования, используемого для захвата изображений и последующей верификации цифровых биометрических слепков лица. В качестве примера можно привести компанию «Quasar-7», которая является российским разработчиком одноименных биометрических устройств и программного обеспечения.

«Quasar-7» – это специально разработанное мультимодальное устройство для идентификации биометрии по лицу, а также по рисунку сосудистого русла вен ладоней на любых досмотровых устройствах вокзалов и аэропортов. Регистрация на рейс производится с помощью биометрических киосков самообслуживания при сдаче багажа, посещения зала ожидания и посадке на поезд или борт. Терминал со встроенным программным обеспечением, основанный на алгоритме распознавания лиц, быстро и легко «захватывает», выделяет и обрабатывает изображение лица человека в движении, сверяет его с базой зарегистрированных данных пассажиров. В результате полученное изображение лица пассажира немедленно передается во внутреннюю систему аэропорта или вокзала, которые связаны с биометрической системой цифровых слепков, и далее после верификации либо подтверждает разрешение на доступ, либо выдает предупреждение о запрете, если пользователь не прошел процедуру верификации или аутентификации.

Также ключевыми достоинствами биометрического терминала являются повышенная информационная безопасность аппаратно-программного решения устройств, где пользовательские учетные данные надежно защищены от утечек и подмены. Существенно улучшена адаптивная автоматическая подсветка к различным условиям освещения. При ухудшении освещения или при яркой солнечной засветке камер терминала происходит автоматическая подстройка яркости подсветки для надежной работы биометрических технологий без участия пользователей и обслуживающего персонала.

На рисунке 2 приведены данные по сбору биометрических показателей по миру.



Рисунок 2 – Балльная оценка сбора биометрических данных по странам мира

Чем выше балл, тем обширнее и интенсивнее ведется сбор данных. Наиболее активно сбор биометрических данных ведется в Китае.

Процедура регистрации с биометрией стала быстрее и удобнее, чем при использовании традиционных методов, так как не нужно предъявлять проездные документы или выполнять какие-либо специальные действия. В системе можно поддерживать несколько «белых списков»: для пассажиров, сотрудни-

ков, VIP-персон. Благодаря встроенной защите от спуфинга биометрические терминалы могут использоваться в качестве устройства контроля входа в специальные помещения с ограниченным доступом.

В работе биометрических систем идентификации «ложные совпадения и отклонения» могут нарушить безопасность и бесперебойное обслуживание пассажиров в аэропортах и вокзалах.

На рисунке 3 представлен прогнозируемый рынок доходов по биометрическим данным.

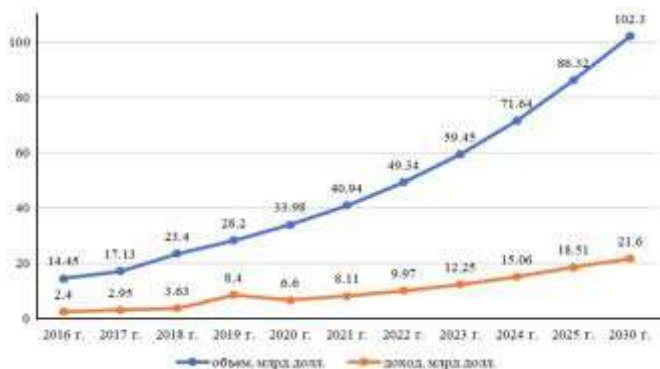


Рисунок 3 – Прогноз рынка биометрии по объему и прибыли

Наиболее активно используются системы, идентифицирующие личность по лицевым параметрам, рисунку вен и ладоней рук и по голосу. В настоящее время используются следующие типы биометрических данных:

- по отпечаткам пальцев как самый распространенный и надежный способ;
- по лицам как самый удобный для бесконтактной идентификации, но требующий хорошего освещения и менее надежный в сложных условиях;
- по радужной оболочке глаза, обладающий высокой точностью, но требующий специального оборудования и сложной процедуры сканирования;
- по цифровому шаблону вен руки – менее распространенный, но надежный метод;
- по голосу для идентификации по телефону или через голосовые команды (рисунок 4).

Сбои в идентификации пассажиров могут привести к эффекту «домино»: непредвиденные задержки на стойках регистрации, длинные очереди на контрольно-пропускных пунктах (КПП), сбои в процессе посадки на борт. Биометрические технологии позволяют обеспечивать высокий и неснижаемый уровень точности идентификации пассажиров независимо от влияния окружающей среды, тогда потенциал безопасного и беспрепятственного обслуживания пассажиров может быть реализован.



Рисунок 4 – Прогноз выручки по биометрическим технологиям

Биометрические технологии на железнодорожном транспорте могут применяться в различных областях, повышая безопасность, эффективность и удобство пассажиров и сотрудников (рисунок 5).

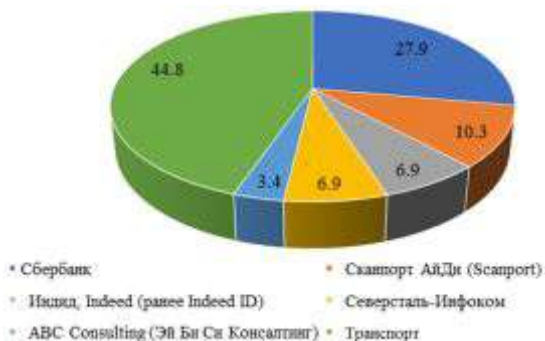


Рисунок 5 – Подрядчики по количеству проектов внедрений биометрической идентификации, %

Вот несколько примеров.

1 Безопасность и охрана: контроль доступа в служебные помещения. Биометрическая идентификация (сканирование отпечатков пальцев, распознавание лиц) позволяет ограничить доступ в депо, диспетчерские пункты, серверные комнаты и другие важные объекты. Это снижает риск несанкционированного проникновения и потенциальных диверсий:

– идентификация персонала: проверка биометрических данных машинистов, диспетчеров и других сотрудников перед началом смены подтверждает их личность и соответствие требованиям. Это может помочь предотвра-

тить работу персонала в состоянии алкогольного или наркотического опьянения (в сочетании с другими методами контроля);

- видеонаблюдение с распознаванием лиц: анализ видеопотока с камер наблюдения для выявления разыскиваемых, подозрительного поведения или скопления людей в потенциально опасных местах (например, на путях) позволяет оперативно реагировать на угрозы;

- контроль доступа к подвижному составу: биометрическое сканирование машинистов для идентификации и запуска подвижного состава.

2 Удобство для пассажиров: бесконтрольный проход через турникеты: Распознавание лиц или сканирование отпечатков пальцев позволяет пассажирам быстро и удобно проходить через турникеты, не используя билеты или проездные карты. Это особенно актуально в часы пик и на станциях с большим пассажиропотоком:

- персонализированные услуги с биометрической идентификацией, которая может использоваться для предоставления пассажирам персонализированных услуг, таких как автоматическое отображение информации о предпочитаемых маршрутах, уведомления о задержках и т. д.;

- безопасная аутентификация при онлайн-покупках билетов: использование биометрических данных для подтверждения личности при покупке билетов онлайн снижает риск мошенничества и обеспечивает безопасность транзакций;

- идентификация пассажиров с ограниченными возможностями: упрощение процедуры получения необходимой помощи.

3 Повышение эффективности с учетом рабочего времени персонала по биометрической идентификации при входе и выходе с работы, что позволяет точно учитывать рабочее время персонала, автоматизировать начисление заработной платы и отслеживать соблюдение графика;

- контроль доступа к данным с ограничением доступа к конфиденциальной информации (например, расписанию движения поездов, технической документации) с помощью биометрической аутентификации предотвращает утечку данных и несанкционированное использование;

- оптимизация обслуживания пассажиров при анализе данных о пассажиропотоке, полученных с помощью систем распознавания лиц, позволяет оптимизировать расписание движения поездов, распределение персонала и другие аспекты работы железной дороги.

Преимущества использования биометрии:

- повышенная безопасность (снижение риска несанкционированного доступа, террористических угроз и других опасностей);

- удобство для пассажиров (упрощение процедур посадки, прохода через турникеты и получения информации);

- повышение эффективности (автоматизация процессов, оптимизация использования ресурсов и улучшение управления персоналом);

- снижение затрат (сокращение мошенничества, автоматизации процессов и оптимизации работы персонала).

Недостатки и проблемы применения:

- конфиденциальность данных (необходимо обеспечить надежную защиту биометрических данных от несанкционированного доступа);
- ошибки идентификации (существует риск ложных срабатываний и отказов в идентификации, особенно в сложных условиях);
- стоимость внедрения (внедрение биометрических систем требует значительных затрат на оборудование, обучение персонала и обслуживание);
- общественное восприятие (некоторые люди могут негативно относиться к сбору и хранению биометрических данных, опасаясь нарушения приватности).

Биометрические технологии имеют большой потенциал для применения на железнодорожном транспорте. Однако необходимо тщательно взвешивать все преимущества и недостатки, учитывать этические и правовые аспекты, а также обеспечивать надежную защиту биометрических данных. Только при комплексном подходе можно реализовать потенциал биометрии и обеспечить ее эффективное и безопасное использование.

Для успешного внедрения биометрических технологий на железнодорожном транспорте необходимо разработать четкую нормативно-правовую базу, определяющую порядок сбора, хранения, обработки и использования биометрических данных. Важно обеспечить прозрачность действий и информированность пассажиров и сотрудников о целях и методах применения биометрии. Также необходимо предусмотреть механизмы контроля и аудита для предотвращения злоупотреблений и нарушений прав граждан.

Одним из важных аспектов является выбор оптимальных биометрических технологий для конкретных задач. Необходимо учитывать такие факторы, как точность, надежность, стоимость, удобство использования и общественное восприятие. Например, для контроля доступа в служебные помещения может быть достаточно сканирования отпечатков пальцев, а для бесконтрольного прохода через турникеты более предпочтительным может быть распознавание лиц.

Интеграция биометрических систем с существующей инфраструктурой железнодорожного транспорта также требует тщательного планирования и реализации. Необходимо обеспечить совместимость с другими системами (например, системами продажи билетов, видеонаблюдения, контроля доступа), а также предусмотреть возможность масштабирования и модернизации.

Важным фактором является обучение персонала, который будет использовать и обслуживать биометрические системы. Сотрудники должны быть обучены правилам эксплуатации оборудования, методикам обработки данных и способам реагирования на возможные сбои и ошибки. Также необходимо проводить регулярное повышение квалификации персонала для поддержания знаний и навыков на высоком уровне.

Применение биометрии может распространяться и на сферу обслуживания пассажиров с ограниченными возможностями. Биометрическая идентификация может помочь персоналу железнодорожного транспорта быстрее и

точнее определять потребности таких пассажиров и оказывать им необходимую помощь. Это позволит создать более инклюзивную и комфортную среду для всех пользователей.

Внедрение биометрических систем может способствовать повышению уровня безопасности на железнодорожных переездах. Системы распознавания лиц и других биометрических данных могут использоваться для идентификации водителей, пытающихся нарушить правила дорожного движения на переездах. Это позволит снизить количество аварий и травм, связанных с нарушением правил переезда.

Однако необходимо помнить о важности обеспечения кибербезопасности биометрических систем. Защита от несанкционированного доступа к биометрическим данным, предотвращение подмены данных и обеспечение надежной работы системы должны быть приоритетными задачами при внедрении этих технологий. Поэтому необходимо проводить регулярные аудиты и обновления систем безопасности для защиты от новых угроз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Белов, В. Н. Биометрия в России / В. Н. Белов, М. О. Акимкин // *Advanced Science*. – 2020. – № 4 (19). – С. 36–41.

2 Федеральный закон от 27 июля 2006 года № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/?ysclid=lod8t6ozf7112058513 (дата обращения: 18.10.2023).

3 Чурилин, Г. Н. Биометрия в информационной безопасности / Г. Н. Чурилин, Е. А. Максимова // *НБИ технологии*. – 2019. – Т. 13, № 4. – С. 30–36.

4 Лакин, Г. Ф. Биометрия / Г. Ф. Лакин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.

5 Konovalova, V. P. Biometrics security systems: General overview. Languages in professional communication / V. P. Konovalova // *Сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов и студентов*. – 2020. – С. 544–549.

6 Panchal, G. A Novel Approach to Fingerprint Biometric-Based Cryptographic Key Generation and its Applications to Storage Security, Computers and Electrical Engineering / G. Panchal, D. Samanta. – 2018. – P. 461–478.

7 Ваховская, М. Ю. Опыт внедрения автоматизированной системы оплаты проезда в общественном транспорте в регионах Российской Федерации / М. Ю. Ваховская // *Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации : сб. тр. XXII Всерос. науч.-практ. конф.; Симферополь, 19–20 ноября 2020 года / под науч. ред. В. М. Ячменевой*. – Симферополь : Ариал, 2020. – С. 38–42.

8 Кухарев, Г. А. Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека / Г. А. Кухарев. – СПб. : Политехника, 2001. – 240 с.

N. A. REPESHKO, N. R. OSIPOVA, E. V. DARASELIA, A. I. STEPОВАJA

SAFETY TRANSPORTATIONS WITH USE OF SYSTEM OF BIOMETRIC

The domestic and foreign experience on use of biometric systems for maintenance of transportations on a railway transportation is submitted.

Получено 17.10.2025

УДК 355.691.2

С. Н. ТИМАШКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НА ПЕРЕВОЗКУ ВОИНСКОЙ ЧАСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ В СОСТАВЕ ВОИНСКОГО ЭШЕЛОНА (ВОИНСКОГО ТРАНСПОРТА)

Представлена методика расчета потребности в железнодорожном подвижном составе при перевозке воинской части железнодорожным транспортом. Исследуются особенности выполняемых расчетов с целью более точного определения композиции воинского эшелона (воинского транспорта) и рационального использования железнодорожного подвижного состава.

Железнодорожный транспорт играет ключевую стратегическую роль в перевозке войск и военных грузов и остается самым эффективным видом сухопутного транспорта, используемым для обеспечения воинских перевозок в интересах Вооруженных Сил Республики Беларусь и Региональной группировки войск (сил), обеспечивая быструю и массовую передислокацию личного состава, вооружения и специальной техники (далее – ВВСТ) и военного имущества.

Для осуществления воинских перевозок в составе воинского эшелона или воинского транспорта Белорусская железная дорога предоставляет пассажирские, грузовые универсальные (платформы, крытые, полувагоны, фитинговые платформы), специализированные вагоны (цистерны, транспортеры), а также крытые вагоны, оборудованные съемным воинским оборудованием для перевозки личного состава и (или) караула, сопровождающего воинский груз.

Для определения потребности в железнодорожном подвижном составе воинского эшелона (воинского транспорта), материалов и приспособлений для закрепления ВВСТ, а также распределения подразделений по поездам с целью рационального использования грузоподъемности и вместимости вагонов производится расчет воинской части на перевозку.

Перевозку воинской части (подразделения) организует командир во взаимодействии с органами военных сообщений. Для сокращения времени на организацию перевозки штаб воинской части должен постоянно иметь установленные варианты расчетов на перевозку различными видами транспорта, а также на комбинированное передвижение, которые уточняются по мере изменения боевого и численного состава подразделений, способов размещения и крепления ВВСТ на транспортных средствах.

Исходными данными для расчета воинской части на перевозку железнодорожным транспортом являются:

- численность личного состава воинской части (подразделения), количество, масса, габаритные размеры ВВСТ и других материальных средств;
- нормы размещения личного состава в пассажирских вагонах, крытых вагонах, оборудованных под перевозку личного состава съемным воинским оборудованием;
- масса и длина поезда по нормам, установленным графиком движения поездов по ограничивающему участку маршрута перевозки;
- технические характеристики железнодорожного подвижного состава, используемого для перевозки воинских грузов;
- наличие сил и средств для всестороннего обеспечения на всём пути следования в составе каждого поезда (воинского эшелона);
- расстояния, условия и особенности воинской перевозки.

Расчет воинской части на перевозку железнодорожным транспортом включает в себя три этапа (рисунок 1).



Рисунок 1 – Этапы расчета воинской части на перевозку железнодорожным транспортом

На первом этапе стоит задача по расчету каждого подразделения и воинской части в целом в объеме потребного количества физических и условных вагонов, массы поезда с воинским эшелоном (воинским транспортом).

Второй этап заключается в определении потребного количества поездов для перевозки воинской части.

В ходе проведения заключительного третьего этапа осуществляется распределение подразделений по воинским эшелонам и определение в окончательном виде состава каждого поезда, его длины в условных вагонах и массы, которые не должны превышать норм, установленных графиком движения поездов по ограничивающему участку маршрута перевозки.

Потребное количество физических вагонов для перевозки подразделения m_i определяется как сумма потребного количества пассажирских, людских,

вагонов-кухонь, крытых вагонов под материальные средства, платформ и других видов железнодорожного подвижного состава:

$$m_i = m_{пасi} + m_{лди} + m_{кхи} + m_{кри} + m_{пли} + \dots + m_{ни}, \quad (1)$$

где $m_{пасi}$, $m_{лди}$, $m_{кхи}$, $m_{кри}$, $m_{пли}$, $m_{ни}$ – соответственно потребности для перевозки i -го подразделения в пассажирских, людских вагонах, вагонах-кухнях, в крытых вагонах под материальные средства, в платформах для перевозки ВВСТ, в других типах железнодорожного подвижного состава.

Потребность в физических вагонах определяется с точностью до сотых без округления.

Потребность в пассажирских и людских вагонах, вагонах-кухнях, крытых вагонах под материальные средства, в платформах и другого вида железнодорожном подвижном составе для перевозки подразделения определяется соответственно по формулам (2)–(7).

$$m_{пасi} = \frac{n_{офи}}{P_{оф}}, \quad (2)$$

где $n_{офи}$ – численность офицерского состава i -го подразделения; $P_{оф}$ – норма размещения офицерского состава в пассажирском вагоне.

$$m_{лди} = \frac{n_{сси}}{P_{сс}}, \quad (3)$$

где $n_{сси}$ – численность солдат и сержантов в i -м подразделении; $P_{сс}$ – норма размещения в людском вагоне солдат и сержантов.

На военное время и в ходе проверок боевой готовности соединений и воинских частей перевозка офицеров и прапорщиков допускается в четырехосных крытых оборудованных вагонах (людских), также перевозка солдат и сержантов допускается в пассажирских (жестких не купейных со спальными местами, жестких купейных) вагонах. В этих случаях потребность в пассажирских и людских вагонах также определяется формулами (2) и (3) с учетом норм размещения, установленных требованиями руководящих документов.

$$m_{кхи} = \frac{n_{лси}}{P_{кх}}, \quad (4)$$

где $n_{лси}$ – наличие личного состава в i -м подразделении; $P_{кх}$ – нормы приготовления пищи в одном вагоне-кухне (300 человек на один вагон-кухню).

$$m_{кри} = \frac{n_{виi}}{P_{ви}}, \quad (5)$$

где $n_{виi}$ – количество военного имущества в i -м подразделении; $P_{ви}$ – нормы размещения военного имущества в крытом вагоне с учетом его рабочего объема или грузоподъемности.

$$m_{\text{пл}i} = \frac{n_{\text{ВВСТ}i}}{P_{\text{ВВСТ}}}, \quad (6)$$

где $n_{\text{ВВСТ}i}$ – количество единиц ВВСТ соответствующего вида в i -м подразделении; $P_{\text{ВВСТ}}$ – нормы размещения ВВСТ соответствующего вида на платформе.

$$m_{\text{м}i} = \frac{n_{\text{м}i}}{P_{\text{м}}}, \quad (7)$$

где $n_{\text{м}i}$ – количество других материальных средств в i -м подразделении; $P_{\text{м}}$ – нормы размещения других материальных средств в соответствующего вида подвижном составе.

Потребное количество физических вагонов для перевозки воинской части m определяется как сумма вагонов, потребных для перевозки входящих в ее состав подразделений, и определяется по формуле

$$m = \sum m_i. \quad (8)$$

Длина в условных вагонах $m_{\text{усл}i}$ определяется по формуле

$$m_{\text{усл}i} = m_{\text{пас}i}l_{\text{услпас}} + (m_{\text{л}di} + m_{\text{к}ki} + m_{\text{кр}i})l_{\text{услкр}} + m_{\text{пл}i}l_{\text{услпл}}, \quad (9)$$

$l_{\text{услпас}}$, $l_{\text{услкр}}$, $l_{\text{услпл}}$ – условные длины пассажирского, крытого вагонов и платформ.

Потребность в условных вагонах для перевозки воинской части $m_{\text{усл}}$ определяется как сумма длин входящих в ее состав подразделений по формуле

$$m_{\text{усл}} = \sum m_{\text{усл}i}, \quad (10)$$

Масса подразделения $q_{\text{бр}i}$ определяется как сумма массы тары подвижного состава, массы ВВСТ, материальных средств, личного состава подразделения и определяется по формуле

$$q_{\text{бр}i} = q_{\text{т}i} + q_{\text{н}i}, \quad (11)$$

где $q_{\text{т}i}$ – масса тары вагонов, потребных для перевозки i -го подразделения; $q_{\text{н}i}$ – масса ВВСТ, материальных средств и личного состава i -го подразделения.

Масса тары вагонов и масса ВВСТ, материальных средств и личного состава определяются по формулам (12) и (13) соответственно:

$$q_{\text{т}i} = m_{\text{пас}i}q_{\text{тпас}} + \sum m_{\text{кр}i}q_{\text{ткр}} + m_{\text{пл}i}q_{\text{тпл}}, \quad (12)$$

где $q_{\text{тпас}}$ – масса тары пассажирского вагона; $q_{\text{ткр}}$, $q_{\text{тпл}}$ – масса нетто крытого вагона и платформы;

$$q_{\text{н}i} = 6m_{\text{пас}i} + 33(m_{\text{л}di} + m_{\text{к}ki}) + q_{\text{м}ci} + q_{\text{ВВСТ}i}, \quad (13)$$

где $q_{\text{м}ci}$, $q_{\text{ВВСТ}i}$ – масса материальных средств и ВВСТ i -го подразделения.

Масса воинской части $q_{\text{бр}}$ определяется как сумма масс входящих в ее состав подразделений согласно формуле

$$q_{\text{бр}} = \sum q_{\text{бр}i}. \quad (14)$$

Потребное количество поездов с воинскими эшелонами N определяется, исходя из состава каждого поезда, его длины в условных вагонах и массы, которые не должны превышать норм, установленных графиком движения поездов по ограничивающему участку маршрута перевозки:

$$N_1 = \frac{m_{\text{усл}}}{m_{\text{усл}\varepsilon\text{ш}}}; \quad (15)$$

$$N_2 = \frac{q_{\text{бр}}}{q_{\text{бр}\varepsilon\text{ш}}}, \quad (16)$$

где $m_{\text{усл}\varepsilon\text{ш}}$ – норма установленной длины поезда с воинским эшелоном в условных вагонах; $q_{\text{бр}\varepsilon\text{ш}}$ – норма установленной массы поезда с эшелоном.

Полученные значения N_1 и N_2 округляются в большую сторону до целого числа. Наибольшее из них будет определять потребное количество поездов (воинских эшелонов) для перевозки воинской части железнодорожным транспортом.

При распределении подразделений по воинским эшелонам вначале определяется ядро каждого воинского эшелона. В качестве ядра выбираются наиболее крупные подразделения. Затем более мелкие подразделения добавляются к ядру в пределах допустимых норм условной длины и массы. После этого определяется состав каждого поезда и производится проверка его длины в условных вагонах и по допускаемой массе поезда.

Расчет воинской части на перевозку должен удовлетворять требованиям приказа Министра обороны Республики Беларусь от 14 июня 2004 года № 20 «Об утверждении Инструкции о порядке размещения и закрепления вооружения и военной техники на железнодорожном подвижном составе для перевозки в составе воинских эшелонов и транспортов». В случае расчета на перевозку ВВСТ, материальных средств и имущества воинских частей, требования к размещению и закреплению номенклатурной группы которых не предусмотрены настоящим приказом, расчет осуществляется на основании Технических условий размещения и крепления грузов (Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гордюк, А. Г. Военные сообщения : учеб. пособие / А. Г. Гордюк, М. Г. Козлов; М-во образования Респ. Беларусь; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 265 с.

S. N. TIMASHKOV

FEATURES OF ACCOUNT ON TRANSPORTATION A MILITARY PART BY RAIL IN STRUCTURE A MILITARY ECHELON OR TRANSPORT

The technique account of requirement in railway mobile structure by transportation of military part by rail is submitted. The features of carried out accounts with the purpose ex-

acter definition a composition of military echelon (military transport) and rational use of the railway rolling-stock are investigated.

Получено 02.10.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.21.078

Е. А. ФИЛАТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

filatoff.ea@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ПАССАЖИРСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Приводятся результаты исследований в области обеспечения безопасной и эффективной маневровой работы с подвижным составом различных типов, которые позволили уточнить влияние конструкций вагонов на параметры стрелочных горловин пассажирских комплексов железнодорожных станций и пунктов технического обслуживания пассажирских составов. Отличительной особенностью конструкций пассажирских вагонов является их значительная длина (до 27 м) и наличие буферов. Такие характеристики требуют повышенного внимания при маневрах в кривых и на стрелочных переводах, особенно при сцеплении между собой и тяговым подвижным составом.

Эксплуатация пассажирских вагонов на магистральных железных дорогах осуществляется с определенными технологическими ограничениями. Пассажирское движение сконцентрировано на главных путях, в пассажирских комплексах станций, пунктах (станциях) технического обслуживания, локомотивных и вагонных предприятиях, осуществляющих ремонт, обслуживание или экипировку пассажирского подвижного состава.

Маневровая работа осуществляется в основном при формировании (расформировании) на станциях приписки, прицепках (отцепках) локомотивов, работе с прицепными или беспересадочными вагонами.

На Белорусской железной дороге в 2024 году перевезено почти 62 млн пассажиров [1]. Минск-Пассажирский является пассажирской станцией Белорусской железной дороги с самым большим пассажиропотоком, которая ежедневно обслуживает порядка 120 поездов и более 25 тыс. пассажиров [2]. На крупных станциях Белорусской железной дороги имеются развитые пассажирские устройства, в том числе и технические. В составе Минского отделения Белорусской железной дороги имеется пассажирская техническая станция Богатырёво, осуществляющая техническое обслуживание составов пассажирских поездов.

Важной особенностью пассажирских вагонов является значительная длина, которая находится в пределах 19–27 м по осям автосцепки. С точки зрения условий выполнения маневровой работы такой подвижной состав относится к вагонам увеличенных размеров и соизмерим с широко распространенными фитинговыми платформами большой длины. На Белорусской железной дороге эксплуатируются современные пассажирские вагоны, имеющие длину более 26 м. Поэтому требования к параметрам конструкций горловин пассажирских комплексов станций, пунктов технического обслуживания должны постоянно актуализироваться с учетом новых конструктивных особенностей пассажирских вагонов.

В таблице 1 представлены результаты моделирования сцепления пассажирских вагонов различных моделей (автосцепка СА-3) при маневровой работе на расчетных элементах стрелочных горловин, [3]: одиночных стрелочных переводах марок 1/9 и 1/11; схемах попутного разностороннего размещения переводов марок 1/9 и 1/11 без вставки; круговой кривой радиуса 200 м ($\alpha = 5^\circ$).

Таблица 1 – Оценка технической совместимости пассажирских вагонов различных типов на расчетных элементах

Параметры платформ, количество осей / модель (длина по осям / база / консоль / внутренняя колесная база)	Обеспечение технической совместимости ($\Delta = B_3 - b_{\text{см}}$), мм [4]		
	стрелочный перевод	схема № 3[5] 1/9 – 1/9 / 1/11 – 1/11	Кривая $R = 200$ м
1 4 / МК и модиф. (19180 / 12500 / 3340 / 8440)	+39 / +79	–18 / –8	+36
2 4 / МК и модиф. (21190 / 13770 / 3710 / 8970)	+15 / +62	–78 / –42	+10
3 4 / ДС МК, ДС ЖК, ДС ЖНК, ПСЖ и модиф. (21390 / 13970 / 3710 / 9270(9170))	+13 / +60 (+14 / +60)	–82 / –45 (–82 / –44)	+8 (+9)
4 4 / 47Д/к, К/к, БК/ки, СК/к, 61-4178, 61-4449, 61-4456, 61-4193, 61-536, 61-4199, 61-505, 61-517, 61-516, 61-533, 61-531, 61-905, 61-827 и модиф. (24537 / 17000 / 3768,5 / 14500(14600))	–24 / +32 (–25 / +31)	–145 / –101	–31
5 4 / 61-425, 61-504, 61-532, 61-817, 61-820, 61-821, 61-826, 61-827, 61-828, 61-836, 61-4174, 61-4177, 61-4179, 61-4186, 61-9941 и модиф. (24537 / 17000 / 3768,5 / 14300)	–25 / +31	–144 / –100	–31
6 4 / РИЦ 1131.1.00.00 (24580 / 17200 / 3690 / 14800)	–22 / +33	–139 / –97	–28
7 4 / 61-4170, 61-4188, 61-4460, 61-4464, 61-4447 и модиф. (25500 / 17000 / 4250 / 14500(14600))	–52 / +11 (–53 / +11)	–211 / –141 (–212 / –141)	–59 (–60)
8 4 / 2-эт. 61-4465 (26232 / 19000 / 3616 / 16500)	–31 / +25	–160 / –112	–34
9 4 / РИЦ ВЛАБ-200 3.572-00.00.00, 61-4466 и модиф. (26400 / 18306 / 4047 / 15906(15706))	–51 / +11	–210 / –142 (–209 / –141)	–56 (–55)
10 4 / РИЦ 61-4476 и модиф. (26400 / 19000 / 3700 / 16500)	–36 / +22	–170 / –120	–39
11 4 / РИЦ 1109.100.00 (26480 / 19000 / 3740 / 16600)	–39 / +20	–175 / –124	–42
12 4 / 61-4447 и модиф. (26696 / 19000 / 3848 / 2560 / 16440)	–45 / +15	–188 / –133	–47
<i>Примечание</i> – МК – мягкий купированный, ДС – дальнего следования, ЖК – жесткий купированный, ЖНК – жесткий некупированный, ПС – пригородного сообщения.			

На основании данных таблицы 1 можно отметить, что включение в состав новых вагонов, длина которых заметно превышает 25 м, может вызывать потребность переустройства платформ на участках обращения, так как при сохранении составности поездов крайние вагоны могут не размещаться полностью в пределах пассажирских платформ. Это может вызвать обратный эффект по отношению к вместимости пассажирского поезда и привести к сокращению количества вагонов в составе и неполному использованию вместимости путей (по крайней мере до момента удлинения пассажирских платформ на участке обращения).

На технических станциях при реформировании составов с новыми вагонами могут возникать ситуации с предельным использованием полезных длин, сопровождающиеся сцеплением вагонов на закрестовинных кривых и стрелочных переводах.

Следует отметить, что с 2013 года на некоторые пассажирские вагоны (61-4492 и др.) производства ОАО «ТВЗ» устанавливается автосцепка типа БСУ-3 [6], которая также имеет эксплуатационные ограничения. Область захвата автосцепки по сравнению с СА-3 (± 175 мм) уменьшилась на 65 мм и составляет ± 110 мм. Это пропорционально снижает возможности сцепления вагонов в кривых. Гибкость автосцепки при движении в сцепе определяется максимальным угловым отклонением в горизонтальной плоскости, равным 17° (для пассажирских вагонов с СА-3 – $14,5\text{--}16^\circ$ [7]).

Как видно из таблицы 1, практически все (с учетом старых моделей) типы пассажирских вагонов (в том числе РИЦ), относятся к группе вагонов увеличенных размеров (21 м и более [7]). Моделирование взаимодействия выявило несоблюдение условий автоматического сцепления на схеме взаимного размещения № 3 [5] с вагонами всех рассмотренных типов (см. таблицу 1). Высокая вероятность возникновения нарушений при маневрах со сцеплением в стрелочных горловинах наблюдается начиная от вагона модели 47Д и других модификаций длиной 24,54 м (строка 4 таблицы 1), а также большей длины. Стоит отметить, что все типы вагонов эффективно сцепляются на переводной кривой стрелочного перевода марки 1/11, которые следует применять в конструкциях пассажирских комплексов и пунктах технического обслуживания пассажирских составов. Наиболее сложные условия взаимодействия создаются при маневрах с вагонами моделей 61-4170, 61-4188, 61-4460, 61-4464 длиной 25,5 м (строка 7). Эта группа пассажирских вагонов увеличенных размеров не гарантирует сцепление в кривых самых простых конструкций (круговая кривая, радиус 200 м, угол кривой 5°). Наихудшие условия для данной группы моделей объясняются большой длиной консольной части вагона, равной 4,25 м (принят в качестве расчетного вагона увеличенных размеров – ВУР). Поэтому вагоны даже большей длины, но с меньшей длиной консоли (строки 8–12 таблицы 1) обеспечива-

ют лучшее взаимодействие в кривых участках путей. В представленном исследовании в качестве расчетного пассажирского вагона массовых типов (ВМТ) принят мягкий купированный вагон длиной 19,18 м как не относящийся к вагонам с ограничениями по длине.

Моделирование процесса взаимодействия расчетных пассажирских вагонов выявило наличие дополнительных ограничений по обеспечению безопасности маневровой работы на железнодорожных станциях [8]. Для пассажирских вагонов увеличенных размеров неблагоприятные условия складываются практически на всех расчетных элементах нормативной конструкции. Проверка существующих требований к проектированию на обеспечение безопасности маневровой работы с пассажирскими вагонами расчетных типов и эффективные параметры элементов путевого развития приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Анализ обеспечения безопасности и эффективности маневров с пассажирскими вагонами на расчетных элементах путевого развития железнодорожных станций

Номер схемы	Оценка требований для ВМТ / ВУР на станциях [8]	
	существующие отклонения, мм	ограничения, м
1 Криволинейные участки пути		
1.1 круговые	$\Delta_{R180-200} = +22 / +36;$ $\Delta_{R180-200} = -60 / -74$	<u>нет огранич.;</u> $R_{\min} = 280$
1.2 s-образные без встав- ки, ($\alpha_s = 3^\circ + 3^\circ$)	$\Delta_{SR200/250} = -33 / -51;$ $\Delta_{SR200/250} = -137 / -147$	$R_{\min} = 270 / 480;$ $l_{\max R200} = 7,7 / 5,9;$ $l_{\max R250} = 9,6 / 7,0$
1.3 s-образные с прямой вставкой, $\alpha_s = 3^\circ + 3^\circ$	$\Delta_{SR200d15} = +50 / -58;$ $\Delta_{SR250d15} = +65 / -28$	нет огранич. / $R_{\min} = 270;$ $d_{SR200} = 7,7 /$ не обеспеч.; $d_{SR250} = 6,4 / 19,0;$ нет огранич. / $l_{\max R200} = 6,25;$ нет огранич. / $l_{\max R250} = 8,7$
2 Расположение стрелочных переводов ($R_{\text{закр}} \geq R_{\text{пер}}$)		
2.1 одиночный перевод: 1/9, 1/11; схема № 4	$\Delta = +79 / +39;$ $\Delta = +11 / -52$	<u>нет огранич.;</u> 1/9 не обеспеч.
2.2 Схема № 1 (1/9, 1/11)	$\Delta_{d0} = +51 / +11;$ $\Delta_{d0} = -70 / -148$	<u>нет огранич.;</u> 1/9 не обеспеч.; $d_{\min 1/11} = 7,5$
2.3 Схема № 2 (1/9, 1/11)	$\Delta_{d0} = +79 / +37;$ $\Delta_{d0} = +13 / -52$	<u>нет огранич.;</u> 1/9 не обеспеч.
2.4 Схема № 3 (1/9, 1/11)	$\Delta_{d0} = -8 / -19;$ $\Delta_{d0} = -141 / -211$	1/9 не обеспеч.; $d_{\min 1/11} = 2,5;$ 1/9 не обеспеч.; $d_{\min 1/11} = 15,5$
3 S-образное расположение стрелочных переводов и кривых ($R_{\text{закр}} = R_{\text{пер}}$)		
3.1 Переводы 1/9; 1/11	$\Delta_{d0} = +21 / -71;$ $\Delta_{d0} = -113 / -266$	<u>1/9 не обеспеч.;</u> 1/9 не обеспеч. $d_{\min 1/11} = 10,4$

Наиболее значительные отклонения автосцепок возможны на s-образных кривых без прямой вставки. Требуемый радиус в таких кривых может быть обеспечен, только с существенным ограничением общей длины кривой до

11,8–15,4 м, что на практике фактически не реализуется. Поэтому маневры с автоматическим сцеплением пассажирских вагонов на s-образных кривых без прямой вставки должны выполняться только с визуальным контролем процесса сцепления ответственным работником. Наличие вставки длиной 20 м обеспечивает автоматическое сцепление вагонов в большинстве случаев.

Проблемы при взаимодействии вагонов могут наблюдаться на всём протяжении стрелочных горловин т. к. на всех схемах взаимной укладки переводов марки 1/9 и 1/11 имеются заметные отклонения по условию обеспечения автоматического сцепления. Даже на одиночных стрелочных переводах марки 1/9 безопасность маневровой работы с пассажирскими вагонами не гарантирована.

Практически все современные пассажирские вагоны имеют увеличенные размеры и пропорциональные им эксплуатационные ограничения. Однако переформирование пассажирских составов не сравнимо по интенсивности с аналогичными процессами в грузовом движении. Более частым событием при оценке технической совместимости вагона и путевого развития железных дорог является движение вагонов в сцепе.

Следует отметить, что при маневровой работе стандартная автосцепка в зависимости от условий движения и параметров пути может занимать четыре основных положения: с перекосом или без перекоса тягового хомута, в нормальном или заглубленном положениях автосцепки [9]. Согласно исследованиям [10] для оценки эффективного и безопасного прохода кривых целесообразно определять возможность поворота корпуса автосцепки до совмещения центра его зацепления с осью пути без силового взаимодействия в конструкции автосцепного механизма.

При проектировании ударно-тяговых устройств нормируется в первую очередь возможный угол отклонения корпуса автосцепки α , который зависит от кривизны участка пути и типа выполняемых маневров (для стандартной автосцепки СА-3 угол α изменяется в пределах от $5^{\circ}20'$ до $12^{\circ}17'$ [9]), в соответствии с нормами проектирования для пассажирских вагонов угол должен достигать $14,5\text{--}16^{\circ}$. Условие определения допустимой величины радиуса кривой имеет следующий вид [3, 4]:

$$R_{\text{дс}} \geq \frac{n(2l + n) - l_{\text{т}}^2}{2a \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

где n – длина консоли от пятникового сечения вагона до оси автосцепки, мм; $2l$ – длина базы вагона, мм; $2l_{\text{т}}$ – длина базы тележки, мм; a – расстояние от оси поворота до центра зацепления, мм.

Произведем расчет минимальной величины радиуса кривой, обеспечивающий отсутствие силового взаимодействия узлов автосцепки при движении группы сцепленных пассажирских вагонов модели 61-470 при нормальном положении автосцепки с перекосом и выполнении маневров локомотивом вперед ($\alpha_{\text{н}} = 14,5^{\circ}$ [7]).

$$R_{\text{дс}} = (4250(17000+4250) - 1200^2) / (2 \cdot 870 \text{tg} 14,5) = 197497 \text{ мм} = 198 \text{ м.}$$

Полученный результат соответствует величине 200 м, допускаемой при проектировании в пассажирских комплексах железнодорожных станций.

Однако согласно [9] подвижность автосцепки при осаживании вагонами вперед снижается более чем на 20 %, тогда допустимый радиус кривой соответствует величине 250 м, которая заявлена в нормах проектирования вагонов увеличенных размеров как минимально необходимая [7]. Это говорит о нежелательности маневров осаживанием на кривых меньшего радиуса. При этом возникает силовое взаимодействие элементов автосцепки, которое сопровождается износом основных элементов конструкции, а некомпенсированные механизмом ударно-тягового устройства боковые силы передаются на кузов вагона, стремясь изменить его положение, что в свою очередь вызывает пропорциональные нагрузки в зоне контакта «колесо – рельс».

Произведенные расчеты подтверждают, что движение пассажирских вагонов ряда моделей в сцепе по кривым с радиусами 200 м может быть обеспечено только в нормальном положении автосцепки с предельным перекосом хвостовика. Учитывая, что существующие пассажирские комплексы железнодорожных станций имеют в своей конструкции такие кривые, то выполнение маневров с осаживанием на данные пути должно быть ограничено.

На основе экспертных и аналитических оценок можно оценить уровень риска возникновения нарушений безопасности при обслуживании пассажирских вагонов. Выполненные исследования позволили выделить следующие элементы риска при работе с вагонами: большие размеры вагона (не соответствующие параметрам путевого развития по условию сцепления), применение в зоне маневров s-образных кривых, ошибки персонала. Вероятность обслуживания пассажирских вагонов увеличенных размеров приближается к 100 %. Влияние неисправностей вагонного оборудования и наличие неблагоприятных элементов плана пассажирских комплексов оценивается на уровне 0,25 %. Вероятность ошибок при выполнении маневров можно оценить на уровне 1 %. С учетом выполненных оценок с использованием метода анализа дерева событий (ЕТА) [11, 12] общая вероятность нарушения условий взаимодействия имеет достаточно низкий уровень и может достигать $0,25 \cdot 10^{-4} \%$. При низкой интенсивности маневровой работы с вагонами такое событие может происходить крайне редко.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Будущее за цифровизацией и автоматизацией процессов. – URL: www.sb.by/articles/budushchee-za-tsifrovizatsiey-i-avtomati-zatsiey-pro-tsessov.html (дата обращения: 22.10.2025).

2 Станция Минск-Пассажирский Белорусской железной дороги удостоена премии правительства республики. – URL: www.rw.by/corporate/press_center/corporate_news/

2022/06/stantsiya-minsk-passazhirskiy-belorusskoy-zheleznoy-doro-gi-udostoena-premii-pravitelstva-respubliki-/ (дата обращения: 22.09.2024).

3 *Филатов, Е. А.* Безопасность взаимодействия путевой инфраструктуры железнодорожных станций и подвижного состава / Е. А. Филатов // Интеллектуальные транспортные системы: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – М. : Перо, 2023. – С. 644–654.

4 *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.

5 *Филатов, Е. А.* Безопасность маневровой работы в стрелочных зонах железнодорожных станций / Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. статей / Е. А. Филатов / М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т – Минск : БНТУ, 2024. – С. 45–52.

6 Беззасорное сцепное устройство БСУ-3. Руководство по эксплуатации 10185.61.00.000РЭ. – URL: [www.3uch.ru/textbooks/ quit/ampfowofform/ducilam.html](http://www.3uch.ru/textbooks/quit/ampfowofform/ducilam.html) / (дата обращения: 22.09.2025).

7 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ, ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.

8 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.

9 *Виноградов, Г. П.* Выбор параметров и конструктивных схем грузовых вагонов / Г. П. Виноградов, Л. А. Коган, И. М. Трещалин // Труды ВНИИЖТ. – М. : Трансжелдориздат, 1960. – Вып. 189. – 191 с.

10 Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / А. П. Азовский, Е. В. Александров, В. В. Кобищанов [и др.] ; под ред. В. Н. Котуранова. – М. : Маршрут, 2005. – 490 с.

11 ГОСТ Р 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. – М. : Стандартинформ, 2016. – 34 с.

12 ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Менеджмент риска. Анализ дерева событий. – М. : Стандартинформ, 2015. – 30 с.

Е. А. FILATOV

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF TRACK DEVELOPMENT OF RAILWAY PASSENGER COMPLEXES

The results of research in the field of ensuring safe and effective shunting work with rolling stock of various types made it possible to clarify the effect of car designs on the parameters of the switch necks of passenger complexes of railway stations and passenger train maintenance points. A distinctive feature of the designs of the passenger rolling stock is their significant length (up to 27 m) and the presence of buffers. Such characteristics require increased attention when maneuvering in curves and on turnouts, especially when engaging with each other and traction rolling stock.

Получено 21.10.2025

УДК 656.224

ХЭ ХУН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
18802069165@163.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В СРЕДЕ ANYLOGIC НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВОКЗАЛА ГУАНЧЖОУ

Установлено, что проверка личности и контроль безопасности являются основными процессами, на выполнение которых уходит больше всего времени при входе на станцию. В качестве примера для моделирования взят первый этаж Южного вокзала Гуанчжоу. Построена модель очереди Пуассона по принципу «первым пришел – первым обслужен» для расчета числа пассажиров в очереди. Предложены мероприятия по оптимизации обслуживания пассажиров, включая увеличение количества оборудования для контроля безопасности и повышение эффективности работы оборудования. Процесс входа пассажиров моделируется с использованием программного комплекса AnyLogic. Предложены меры по сокращению времени входа и повышению качества обслуживания в периоды пикового пассажиропотока.

Гуанчжоуский Южный вокзал – это крупная современная пассажирская железнодорожная станция особого класса, расположенная на стыке высокоскоростной железной дороги Пекин – Гуанчжоу (Пекин-Западный – Гуанчжоу-Южный), скоростной железной дороги Гуанчжоу – Шэньчжэнь – Гонконг (Гуанчжоу-Южный – Шэньчжэнь-Северный – Гонконг-Восток-Каулун).

Кроме того Южный вокзал Гуанчжоу выходит на высокоскоростную железную дорогу Гуйян – Гуанчжоу (Гуйян-Северный – Гуанчжоу-Южный), железную дорогу Наньнин – Гуанчжоу (Наньнин – Гуанчжоу-Южный) и междугородную железную дорогу Гуанчжоу – Чжухай (Гуанчжоу-Южный – Чжухай), а также на соединения с междугородными железными дорогами Гуанчжоу – Хуэйчжоу и Гуанчжоу – Чжаоцин [1].

Объекты Гуанчжоуского Южного вокзала разделены на два независимых железнодорожных комплекса: комплекс Пекин – Гуанчжоу и комплекс Гуанчжоу – Чжухай, с 4 основными линиями, 24 линиями отправки и прибытия и 15 платформами.

Моделирование обслуживания пассажиров на Гуанчжоуском Южном вокзале выполнено в пакете программ AnyLogic – инструмента, широко используемого для моделирования дискретных динамических систем, мультиагентных и гибридных систем, с широким применением в симуляции транспортного потока, построении рыночных моделей и в других областях.

Построение модели Гуанчжоуского Южного вокзала выполняется, чтобы исследовать следующие три вопроса.

1 Удовлетворяют ли текущие объекты первого этажа терминала между-городней линии Гуанчжоу – Чжухай Гуанчжоуского Южного вокзала спрос пассажиропотока (в периоды непикового и пикового спроса)?

2 Какое минимальное количество дополнительных объектов необходимо для удовлетворения спроса пассажиров в периоды пикового спроса, и какова граница обслуживания после добавления этих объектов?

3 Какая стратегия улучшения в условиях пикового пассажиропотока является оптимальной, если сравнивать добавление объектов с повышением эффективности обслуживания существующих объектов?

Процесс построения модели в AnyLogic включает:

- построение карты моделирования на основе планировки объектов в зале междорожного сообщения Гуанчжоуского Южного вокзала;

- настройку агентов пассажиропотока;

- создание блок-схемы логики моделирования;

- ввод параметров пассажиропотока и объектов обслуживания;

- имитационное моделирование и анализ результатов.

Зал ожидания первого этажа Гуанчжоуского Южного вокзала имеет четыре входа. Каждый вход оснащен двумя устройствами для досмотра безопасности, четырьмя автоматическими терминалами для идентификации пассажиров и одним окном ручной проверки документов. Схема моделирования приведена на рисунке 1.

Services 1, Services 2, Services 3 и Services 4 соответствуют автоматическим терминалам для проверки по реальному имени на четырех входах, а Services 11, Services 22, Services 33 и Services 44 – устройствам для досмотра безопасности на четырех входах. Маршруты движения пассажиров приведены на рисунке 2.

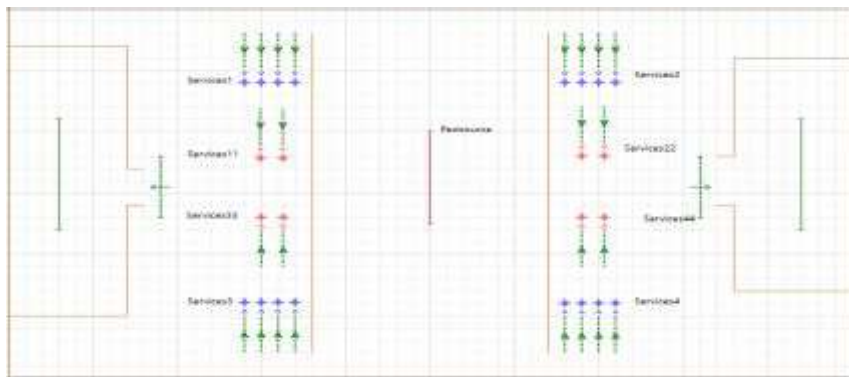


Рисунок 1 – Схема моделирования движения пассажиров на первом этаже Южного вокзала Гуанчжоу



Рисунок 2 – Блок-схема логики моделирования входа пассажира на первом этаже Южного вокзала Гуанчжоу

Междугородняя железная дорога Гуанчжоу – Чжухай соединяет Гуанчжоу и Чжухай в провинции Гуандун, общая длина составляет 142 км, а количество станций – 22. Она является частью южного участка коридора Пекин – Харбин – Пекин – Гонконг – Макао в рамках национальной сети высокоскоростных железных дорог Китая «восемь вертикалей и восемь горизонталей», а также одной из основных линий системы междугороднего высокоскоростного транспорта дельты реки Чжулынь. Согласно данным опросов Гуанчжоуского южного вокзала на междугородней линии Гуанчжоу – Чжухай, в периоды непикового спроса средняя интенсивность прибытия пассажиров составляет 900 человек в час (15 человек в минуту); в периоды пикового спроса (например, часы пик, праздники или сезон перед Новым годом по лунному календарю) средняя интенсивность прибытия пассажиров – 1500 человек в час (25 человек в минуту). Время обслуживания автоматических терминалов для идентификации соответствует равномерному распределению; время обслуживания оборудования для досмотра безопасности зависит от количества багажа пассажиров и следует треугольному распределению. Конкретные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение времени обслуживания пассажиров

Вид обслуживания пассажиров	Распределение	Единица измерения	Примечание
Автоматическая идентификация	Uniform (4,10)	с/чел.	—
Правила прибытия пассажиров	Poisson (15)	чел./мин	Непиковый период
	Poisson (25)		Пиковый период
Проверка безопасности	Треугольный (20, 29, 25)	с/чел.	Нормальная эффективность проверки безопасности
	Треугольный (10, 19, 15)	с/чел.	Повышенная эффективность проверки безопасности

Указанные параметры модели были введены отдельно для непиковых и пиковых периодов. Результаты моделирования показаны на рисунках 3–6.

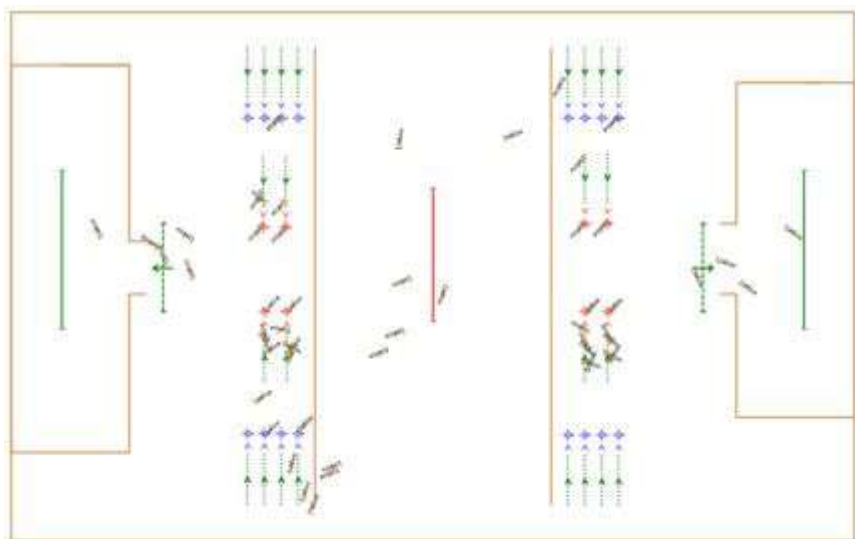


Рисунок 3 – Схема моделирования движения пассажиров в непииковые часы

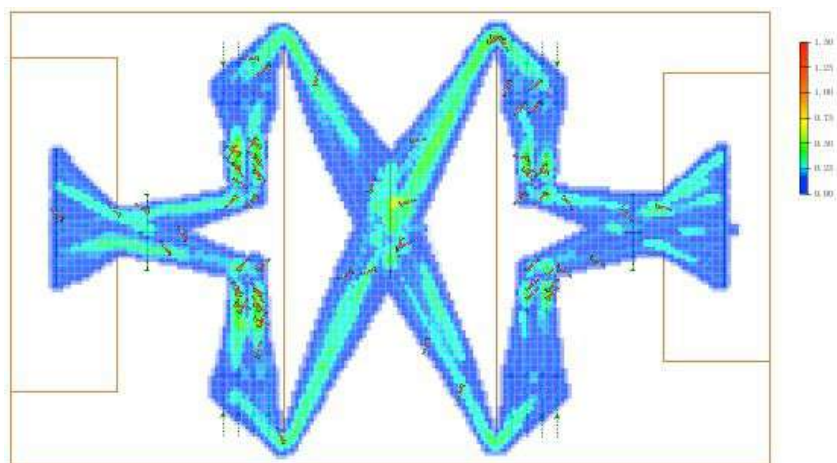


Рисунок 4 – Результаты моделирования плотности очередей пассажиров в непииковые часы

Как показано на рисунке 3, в непииковые периоды количество пассажиров, стоящих в очереди, как на этапе идентификации, так и на этапе досмотра безопасности относительно невелико. Это указывает на то, что текущее количество устройств может удовлетворить потребность пассажиров

в «доступе без ожидания». Однако, как показано на рисунках 5, 6, хотя количество пассажиров, стоящих в очереди на этапе идентификации, всё еще невелико, на этапе досмотра безопасности наблюдаются серьезные заторы.

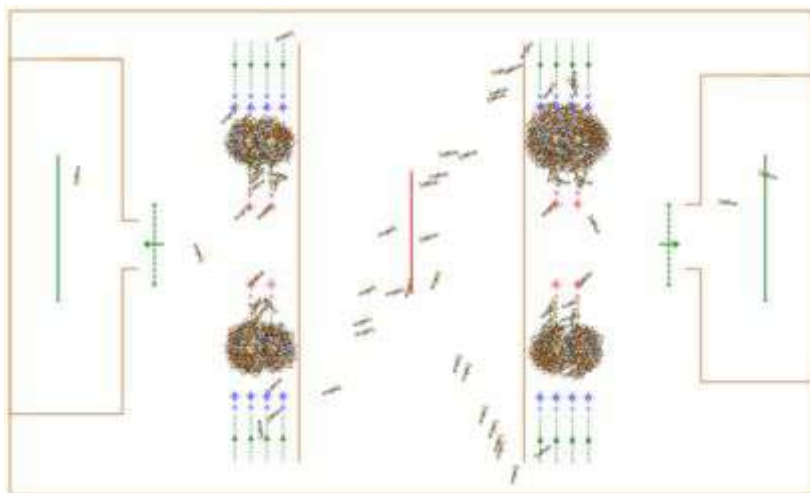


Рисунок 5 – Схема моделирования движения пассажиров в часы пик

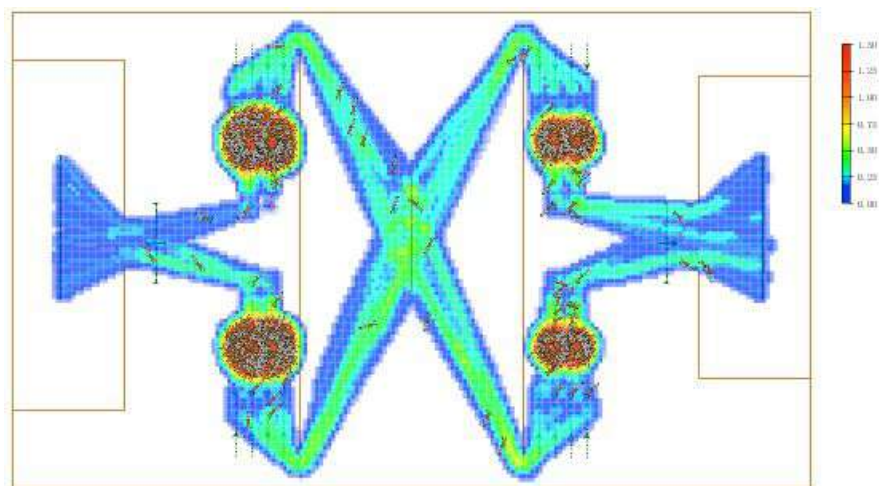


Рисунок 6 – Результаты моделирования плотности очереди пассажиров в часы пик

Пассажирам приходится ожидать в длинных очередях на досмотр, теряя значительное время на ожидание перед входом в зал ожидания станции. В то же время на основе результатов моделирования установлено, что в пи-

ковые периоды количество людей в очереди достигало 13, что делает невозможным удовлетворение потребности в «доступе без ожидания».

Чтобы удовлетворить требование пассажиров к «доступу без ожидания» и улучшить исходную ситуацию, на одном из входов (предположительно на Service11) был установлен дополнительный контрольно-пропускной прибор, увеличивший количество устройств с 2 до 3. Результаты моделирования показывают, что скопление пассажиров перед этим устройством было значительно уменьшено, но очереди на Service22, Service33 и Service44 пока не уменьшились (рисунки 7, 8).

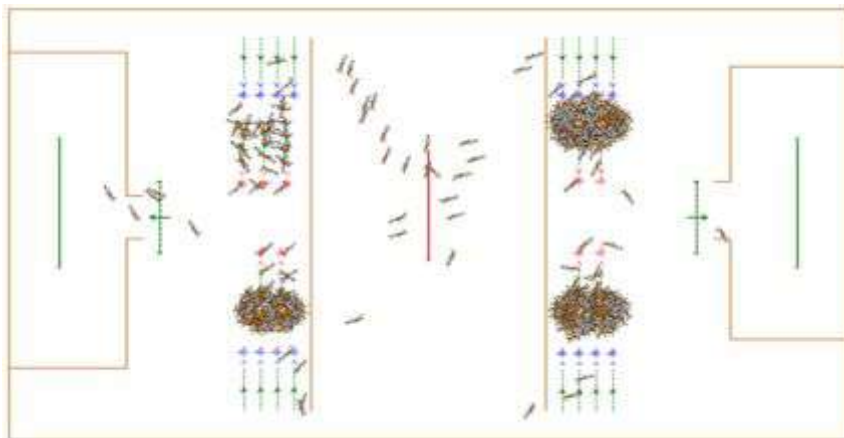


Рисунок 7 – Схема моделирования движения пассажиров в часы пик (после добавления одного пункта досмотра)

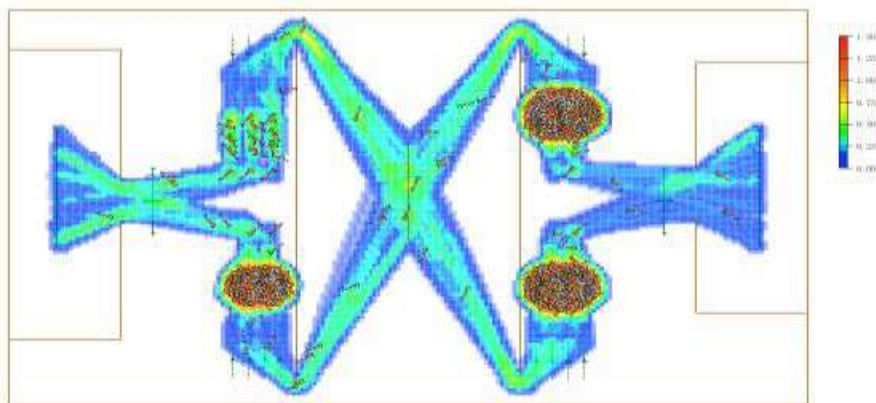


Рисунок 8 – Результаты моделирования плотности очереди пассажиров в часы пик (после добавления одного пункта досмотра)

В результате на оставшихся трех пунктах безопасности количество средств безопасности было увеличено с 2 до 3. Результаты моделирования показывают, что требование «прохождения без очередей» в пиковые периоды может быть выполнено только после добавления одного средства безопасности на каждом из четырех пунктов (рисунок 9).

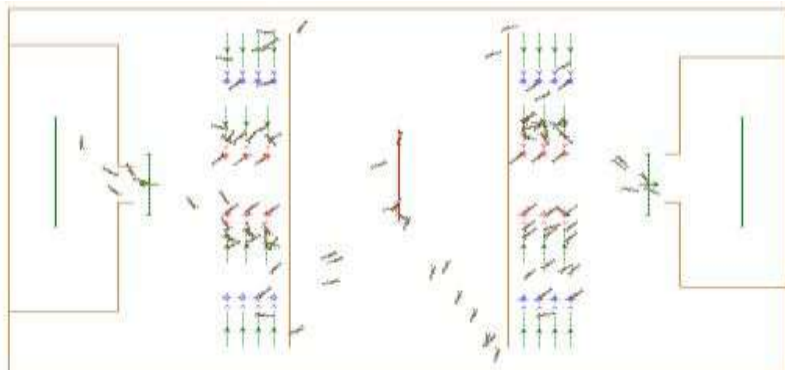


Рисунок 9 – Результаты моделирования плотности пассажирской очереди в часы пик (после добавления 4 устройств досмотра)

Необходимо дальнейшее исследование, чтобы определить, возможно ли после добавления еще четырех устройств обслуживать большой пассажиропоток, при этом сохраняя требование «доступ без очередей». Если можно обслуживать большой пассажиропоток, каков его максимальный предел? Изменяя входные данные о скорости прибытия пассажиров в модели и предполагая, что пассажиропоток увеличивается на 100 пассажиров в час каждый раз, начиная с 1500 пас./ч до 1600, 1700 и 1800 пас./ч, результаты моделирования показывают, что при пассажиропотоке в 1800 пас./ч формируется значительная очередь (одна очередь превышает 10 человек) (рисунок 10).

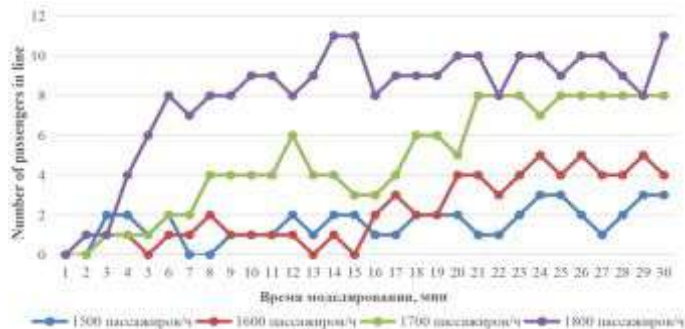


Рисунок 10 – Количество людей в очередях на проверку безопасности при увеличении пассажиропотока

Это указывает на то, что при текущем состоянии оборудования для проверки безопасности максимальный пассажиропоток, который можно обслужить, составляет 1800 пас./ч, и любое превышение этого значения не позволит удовлетворить требование «доступ без очередей».

Для проверки того, может ли повышение эффективности обслуживания оборудования удовлетворить потребность в «проходе без очереди», мы смоделировали сокращение времени обслуживания оборудования для проверки безопасности с треугольного распределения (20, 29, 25) до треугольного распределения (10, 19, 15). Результаты моделирования показывают, что после повышения эффективности работы оборудования ситуация с очередью для проверки безопасности несколько улучшилась (рисунок 11).

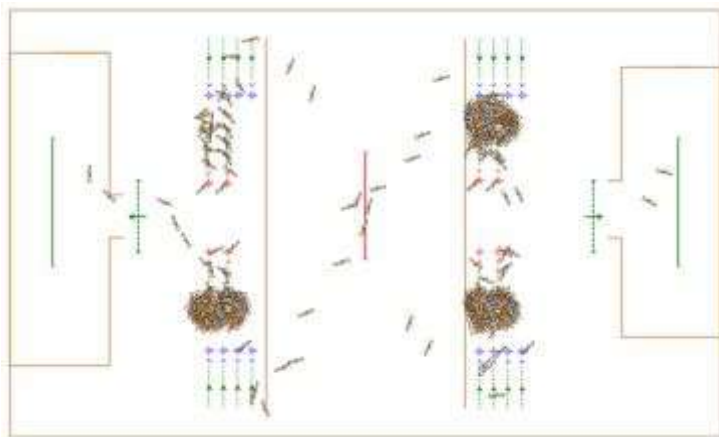


Рисунок 11 – Результаты моделирования плотности очереди пассажиров в часы пик при сокращении времени проверки безопасности

Сравнивая рисунки 7 и 11, можно увидеть, что эффект улучшения не так значителен, как при добавлении еще одного устройства проверки безопасности. Другими словами, потребность в «проходе без очереди» не может быть удовлетворена, и количество ожидающих в очереди всё еще превышает 10 человек (рисунок 12).

Таким образом, выполнено моделирование процесса входа пассажиров на Гуанчжоуский Южный вокзал с междугородней линии Гуанчжоу – Чжухай. Результаты показывают, что текущее количество объектов обслуживания пассажиров, таких как устройства для досмотра безопасности на станции, недостаточно для удовлетворения спроса пассажиров в периоды пикового спроса.

Основные причинами несоответствия спроса и предложения являются недостаточное количество устройств для досмотра безопасности и чрезмерно длительный процесс досмотра безопасности.

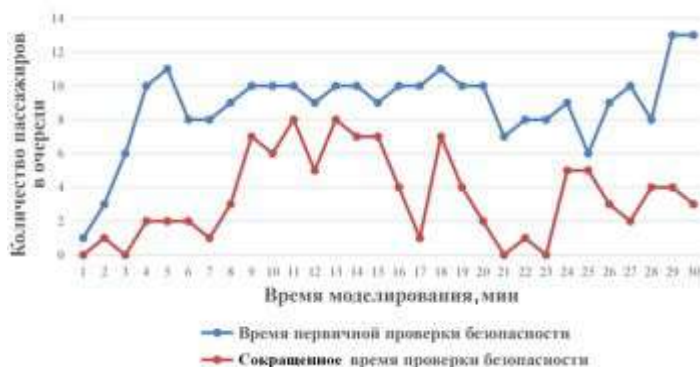


Рисунок 12 – Число пассажиров в очереди в часы пик при сокращенном времени обслуживания на контрольно-пропускном пункте

В данной работе предлагаются контрмеры из двух направлений: увеличение количества аппаратов для досмотра безопасности и повышение эффективности досмотра безопасности. Результаты демонстрируют, что для удовлетворения потребности пассажиров в «пропуске без очередей» Гуанчжоускому Южному вокзалу необходимо добавить как минимум четыре аппарата для досмотра безопасности в периоды пикового спроса. В этом случае максимальная пропускная способность въезда пассажиров на первый этаж междугородней линии Гуанчжоу – Чжухай составляет 1800 человек в час. Симуляции также подтвердили повышение эффективности досмотра безопасности с «пропуском без очередей» в периоды пикового спроса. Результаты показывают, что, по сравнению с добавлением дополнительных аппаратов, повышение эффективности досмотра безопасности имеет очень ограниченный эффект на сокращение очередей при входе пассажиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гонг, Ю. Оптимизация и симуляционное исследование въездных потоковых маршрутов крупных железнодорожных пассажирских станций / Ю. Гонг. – Ланьчжоу : Ланьчжоуский железнодорожный университет, 2018. – С. 84–91.

HE HONG

SIMULATION OF PASSENGER SERVICE IN ANYLOGIC USING THE EXAMPLE OF GUANGZHOU SOUTH RAILWAY STATION

Identity verification and security screening were found to be the most time-consuming processes at station entrances. The first floor of Guangzhou South Station was used as a model for the simulation. A Poisson queue model was constructed using the first-come, first-served principle to calculate the number of passengers in the queue. Optimization measures for passenger service were proposed, including increasing the number of security screening equipment and improving its efficiency. The passenger entry process was modeled using the AnyLogic software suite. Measures were proposed to reduce entry times and improve service quality during peak passenger periods.

Получено 01.11.2025

УДК 656.21

М. В. ЧЕТЧУЕВ

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

mts@pgups.ru

А. Н. ИВАНКОВ

ООО «ПСК ТЕХПРОЕКТ», г. Москва

aivankov@yandex.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГОРЛОВИН ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Обосновываются схемные решения по конструкции горловин железнодорожных станций с точки зрения обеспечения потребной пропускной, перерабатывающей способности, уровня загрузки элементов с учетом ограничений по условиям плана и продольного профиля.

При проектировании горловин железнодорожных станций решается комплекс взаимоувязанных задач, таких как наличие необходимых поездных и маневровых маршрутов, обеспечение потребной пропускной способности, поточность передвижений и др. [1, 2]. Процесс поиска наиболее целесообразного решения этих задач сопряжён с формированием конструкций горловин и определением их основных параметров. В настоящее время применяются различные инструменты определения рациональных параметров горловин при создании новых и развитии (реконструкции) существующих железнодорожных станций. Одним из наиболее точных и достоверных инструментов является имитационное моделирование [3–7]. Однако следует принимать во внимание, что при реальном проектировании, параметры железнодорожной станции, включая её горловины, полученные только на основе имитационного моделирования, в ряде случаев могут быть нереализуемы. В качестве примера подтверждения приведённого тезиса рассмотрим условную железнодорожную станцию с горловиной, секционированной по принципу «ласточкин хвост» (рисунок 1).

Весьма вероятной рекомендацией по развитию (реконструкции) представленной на рисунке 1 железнодорожной станции, сформированной в результате серии модельных экспериментов, будет укладка съезда (красный цвет на рисунке 1), который обеспечивает связь между двумя секциями. На практике это может оказаться нереализуемо по условиям плана и продольного профиля.

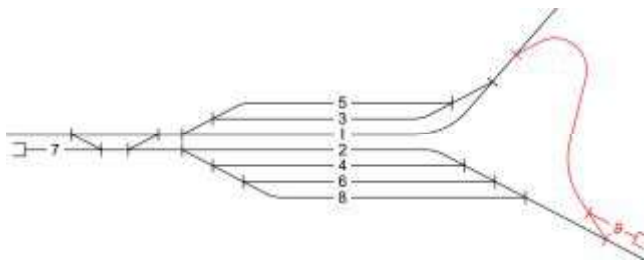


Рисунок 1 – Схема железнодорожной станции с горловиной, секционированной по схеме «ласточкин хвост»

Отдельное внимание заслуживают проекты развития железнодорожных станций, предусматривающих удлинение путей в парках. Разработанное проектное решение может выглядеть вполне реализуемым с точки зрения плана, но будет невозможным по условиям продольного профиля. Описанная ситуация весьма вероятна, если за последней стрелкой в горловине идут крутой подъём или спуск.

Решением проблемы неблагоприятных условий профиля при удлинении путей является проектирование площадки удлиняемых путей на отдельном полотне, в отрыве от главного пути (рисунок 2). Примыкание пучка удлиняемых путей к главному пути необходимо выполнить не съездом, а соединительным путём, длина которого определяется разгонкой уклонов и может варьироваться от 100 до 300 м.

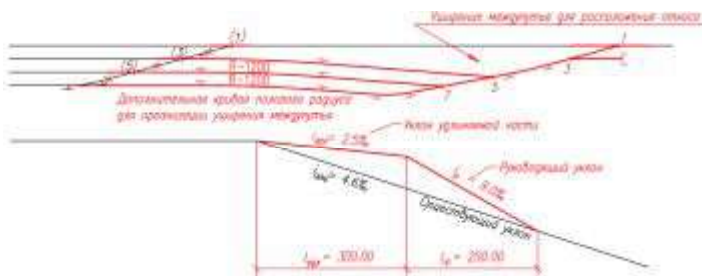


Рисунок 2 – Пример удлинения путей в горловине станции с обустройством земляного полотна удлиняемых путей в отрыве от земляного полотна главного пути

Предложенное решение нужно принимать с учётом следующих факторов:

- увеличения длины маршрута приёма/отправления, что неизбежно влечёт за собой рост времени занятия горловины и, как следствие, может привести к росту непроизводительного простоя подвижного состава;
- смещения ординаты входного сигнала, которое приведёт к необходимости изменения плана расстановки входных светофоров на прилегающем

перегоне. Данное обстоятельство может поставить под вопрос эффективность реконструкции самой железнодорожной станции, так как затрагивает перегонные средства автоматики и телемеханики.

С учетом этих особенностей оптимизация параметров и схемных решений по развитию (реконструкции) железнодорожных станций с использованием имитационного или графо-аналитического моделирования должна проводиться итерационным способом. Полученный масштабный план с профилировкой уклонов должен быть оценен на имитационной или графо-аналитической модели с точки зрения реализации заявленных параметров, указанных в техническом задании на проектирование.

На основе выработанных рекомендаций по результатам моделирования выполняется корректировка схемы, масштабного плана и продольной профилировки горловины. Далее с использованием моделирования производится оценка скорректированных проектных решений.

Существующие методы моделирования работы железнодорожных станций учитывают детальное разделение горловин на секции для обеспечения параллельных операций. Однако для более полного учёта параметров плана и

профиля необходимо выполнение микромоделирования поездных и маневровых передвижений в горловинах. Такое моделирование целесообразно выполнять на основе тяговых расчётов с фиксацией занятия секций и показаний сигналов.

Процесс микромоделирования строится на тех же принципах, что и имитационная модель. Вначале определяется порядок передвижений по горловине, а затем, по тяговым расчётам, – время размыкания секций. Предложенный порядок моделирования можно представить в виде алгоритма, приведённого на рисунке 3.

В соответствии с алгоритмом на макроуровне определяется очередность обслуживаемых заявок. Далее производится моделирование продолжительности заявки по маршруту на основе тяговых расчётов и фиксацией занятия элементов (в протоколе модели) и посекционное размыкание. После завершения обработки заявки происходит возврат на макроуровень, выбор последующей заявки и точное определением момента начала её прохождения с учётом

освобождения элементов, входящих в конкретный моделируемый маршрут.

Такая методика позволит оценить не только продолжительность и величину непроизводительных простоев подвижного состава, но и энергетические расходы, связанные с полной остановкой и последующим разгоном

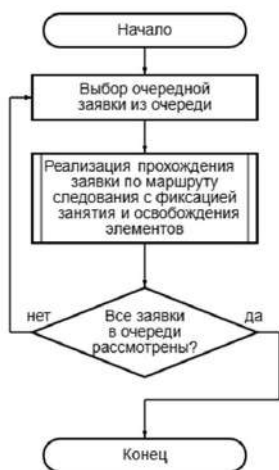


Рисунок 3 – Алгоритм моделирования работы горловины станции с учетом параметров плана и профиля

транспортных средств, а также потребление энергетических ресурсов, связанных со снижением скорости движения.

Предложенный способ особенно актуален при наличии в горловине стрелочных переводов разных марок, вносящих ограничения при отклонении поездов на боковые пути, наличие закрестовинных кривых и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2 Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 04 марта 2022 г. № 545/р. – 364 с.

3 Функциональное исследование структуры горловин железнодорожных станций / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. В. Якушев, К. М. Тимухин // Транспорт Урала. – 2024. – № 3 (82). – С. 11–14.

4 Четчуев, М. В. Методы описания структуры железнодорожной станции при разборке её имитационной модели / М. В. Четчуев // Интеллектуальные системы на транспорте : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 03–04 апреля 2014 года. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I, 2014. – С. 357–364.

5 Котельников, С. С. Имитационное моделирование работы станции / С. С. Котельников, А. Н. Иванков // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2011. – Т. 1, № 1. – С. 82–86.

6 Богданович, Д. Е. Имитационная модель железнодорожной станции для расчётов пропускной способности / Д. Е. Богданович, В. В. Костенко // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : сб. тр. LXXVII Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 17–24 апреля 2017 года. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения Императора Александра I, 2017. – С. 185–189.

7 СП 119.13330.2024 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм». – М-во строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М., 2024. – 223 с.

M. V. CHETCHUEV, A. N. IVANKOV

METHOD FOR DETERMINING RATIONAL PARAMETERS OF RAILWAY STATION NECKS

Existing methods justify the design solutions and parameters of railway station necks from the point of view of ensuring the required throughput and processing capacity, as well as the level of loading of elements. However, these methods do not take into account some serious limitations, such as plan and longitudinal profile conditions, which may not only distort the results of the assessment, but also lead to the recommended design solution being unfeasible in practice. The article provides a general description of the methodology that allows for the determination of rational design solutions for a station throat, taking into account the limitations of the plan and longitudinal profile.

Получено 19.10.2025

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Научная статья в сборнике «Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов» должна отражать результаты собственных исследований, обобщения практического опыта или системный аналитический обзор материала в некоторой конкретной области проектирования инфраструктуры раздельных пунктов. Работа должна быть передана в цифровом виде на адрес электронной почты

vlasiuk.ta@gmail.com

ответственного секретаря редакции сборника трудов с указанием в поле «Тема» назначения высылаемого материала «В сборник Правдина».

Формат бумаги – А5, междустрочный интервал – одинарный. Страницы должны иметь поля: верхнее – 1,7 см, левое и правое – по 1,6 см, нижнее – 2,1 см. Текст статьи печатается шрифтом Times New Roman, размер – 10 пт (в таблицах – 9, в подстрочных сносках – 8), выравнивание – по ширине. Отступ начала каждого абзаца составляет 0,5 см.

Информация, предвещающая 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, предвещающего 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,

г. 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, выбора рациональных параметров системы «станция – порт» и сокращения простоя местных вагонов.

Рисунки в статье должны быть переданы по электронной почте отдельными файлами в формате *.jpg*. Допускается выполнять иллюстрации к статье в цветном виде, но без полутонов. Исключение составляют цветные фотографии хорошего качества, которые также могут использоваться для иллюстраций в статье. В черно-белом виде все рисунки должны быть строго контрастными без использования серого цвета. Данное требование относится также к текстовым блокам в рисунках, которые должны печататься шрифтом Times New Roman. Сложные рисунки с большим количеством текстовой информации (структурные и блок-схемы алгоритмов) необходимо высылать не только в растровом формате *.jpg*, но и в каком-либо векторном для возможной последующей редакции (*.crd*, *.ppt*, *.vsd*) без дополнительной переписки с автором.

Формулы должны набираться с использованием встроенного модуля Word Equation или с использованием других средств, обеспечивающих доступ к их редактированию в любых версиях текстового редактора. Особо следует обратить внимание на использование переменных с нижними или верхними индексами (в том числе и в текстовых блоках рисунков), которые должны быть начертаны в строгом соответствии с принятыми требованиями (правильные индексы с четким позиционированием относительно самой переменной, латиница – курсивом, русские и греческие символы – прямо, соразмерность текста и математических символов суммы, произведения, квадратного корня, обыкновенной дроби, интеграла и пр.).

Объем научной статьи должен быть не менее 0,3 а. л. (4–5 страниц текста по требованиям настоящего сборника).

Завершается научная статья списком использованной литературы (шрифт – Times New Roman, размер – 9 пт) в строгом соответствии с СТБ 7.1-2024. После библиографического списка и пропуска свободной строки

следует информационный блок на английском языке (инициалы и фамилия автора, место работы, адрес электронной почты, название статьи, аннотация). Далее указывается дата получения редакцией статьи от автора (шрифт – Times New Roman, размер – 8 пт с пропуском пустой строки после аннотации на английском языке).

Пример оформления информационного блока, завершающего статью, приведен ниже.



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 7

Редактор *А. А. Павлюченкова*

Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 30.12.2025 г. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 12,56. Уч.-изд. л. 12,63. Тираж 100 экз.

Зак. 2258. Изд. № 52.

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

