

На правах рукописи



**Николаев Константин Юрьевич**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ  
НАДЕЖНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ИНТЕГРАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПАССАЖИРСКИЕ  
ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ТРАМВАЙ-ПОЕЗД»)**

2.9.4 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАУ ВО РУТ(МИИТ))

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор  
Бородин Андрей Федорович

**Официальные оппоненты –**

Зубков Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой»

Сугоровский Артем Васильевич, кандидат технических наук – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы»

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Защита диссертации состоится «15» апреля 2022 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС) по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, аудитория Б2–15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан «26» января 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, доцент



Тимухина  
Елена Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Одной из глобальных проблем современных российских городов является совершенствование транспортного обслуживания населения. Транспортная стратегия РФ до 2030 года, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г., ориентирует на создание в стране условий повышения качества жизни граждан России путем предоставления доступа к качественным и безопасным транспортным услугам, ставит целью снижение тех финансовых издержек общества, которые зависят от транспорта. Достичь этих целей предполагается путем «инновационной, социальной и экологической направленности развития транспортной отрасли». В Послании Федеральному собранию Российской Федерации от 21 апреля 2021 года Президент России В.В. Путин подчеркивал необходимость модернизации транспорта, ставил приоритетной задачей развитие общественного транспорта при планировании и реализации инфраструктурных проектов в регионах России.

Современные модернизационные тенденции предполагают – особенно в крупных городских агломерациях – комплексное развитие городского и пригородно-городского общественного транспорта при неизменном соблюдении требований регулярности, безопасности и экологичности пассажирских сообщений. Данные требования следует обеспечивать технически реализуемыми и экономически эффективными способами. Перспективным направлением в развитии пассажирского транспорта является применение бимодальных транспортно-технологических систем, в частности – технологии «трамвай-поезд».

**Степень разработанности темы исследования.** Научно-методической базой настоящего исследования являются труды отечественных и зарубежных научных школ и коллективов в области эксплуатации железнодорожного транспорта, и прежде всего:

в области технологии и организации пассажирских перевозок – труды Ф.П.Кочнева, Ю.О.Пазойского, С.П.Вакуленко, З.В.Азаренковой, И.Н.Шапкина, Н.В.Правдина, В.Я.Негрея, Э.В.Шабаровой и др.,

в области пропускной и провозной способности железных дорог – труды Е.В.Архангельского, А.Д.Каретникова, Н.В.Правдина, В.Я.Негрея, А.Ф.Бородина, А.Д.Чернугова, А.С.Герасимова и др.

в области взаимодействия видов транспорта и транспортного планирования – научные исследования Н.В.Правдина, В.Я.Негрея, А.Ф.Бородина, П.А.Козлова, В.Н.Зубкова, В.А.Персианова, D.Ludwig, G. Drechsler, R.Meufahrt, L.Naegeli, A. Nash, Ul.Weidmann и др.

в области методов моделирования и оптимизации работы транспортных систем – труды А.Э.Александрова, П.А.Козлова, Е.Н.Тимухиной, В.С.Колокольникова, В.И.Сорокина, Н.А.Тушина, В.Ю.Пермикина, E.Leszczinski, E.Zuk, V.R.Vuchic и др.

В то же время в отечественной науке отсутствуют обоснованные рекомендации по эффективной интеграции железнодорожной инфраструктуры в пассажирские транспортные системы российских городских агломераций с применением бимодальной транспортной пассажирской системы «трамвай-поезд».

**Областью исследования** являются планирование, организация и управление транспортными потоками, технология транспортных процессов, взаимодействие различных видов транспорта.

**Объектами исследования** являются транспортная сеть, структуры и линейные предприятия этой сети, транспортные и информационные потоки.

**Предметами исследования** являются: развитие городских транспортных систем во взаимодействии с предприятиями железнодорожного транспорта; параметры технологии взаимодействия сопрягаемых инфраструктур и участников перевозочного процесса, влияющие на надежность и технико-экономические результаты функционирования транспортных систем.

**Целью исследования** является разработка научно-методических решений в области организации движения пригородно-городского железнодорожного транспорта с использованием железнодорожной (рельсовой) инфраструктуры различного назначения; определение функциональной надежности таких систем.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- определение технологических параметров транспортной системы «трамвай-поезд»;

- создание модели расчета параметров надежности транспортных систем;

- разработка методических принципов определения сферы применения транспортных систем «трамвай-поезд» в городских агломерациях.

**Научная новизна** диссертационного исследования заключается в разработке новой научной идеи комплексного повышения эффективности и качества транспортного обслуживания населения в городских агломерациях за счет применения бимодальных рельсовых пассажирских транспортных систем, для чего:

- сформулированы эксплуатационные требования к техническим средствам транспортной системы «трамвай-поезд» и технологии их работы;

- подход к определению перспективных полигонов внедрения и методика отбора транспортных узлов для внедрения технологии «трамвай-поезд», предложена классификация принципиальных вариантов построения маршрутной сети и взаимодействия участников перевозочного процесса по технологии «трамвай-поезд»;

- разработана методика оценки надежности работы транспортных систем и их взаимодействия, предложены методы повышения надежности функционирования бимодальных рельсовых пассажирских транспортных систем;

- предложены принципы технологической и организационно-правовой регламентации взаимодействия транспортных предприятий (владельцев инфраструктур, перевозчиков, заказчиков перевозок) с целью обеспечения функционирования бимодальной рельсовой пассажирской агломерационной транспортной системы;

- сформулированы эффектообразующие факторы и обоснованы методические принципы оценки финансового результата, предусматривающие гибкую настройку на различные варианты структур и функций взаимодействующих транспортных предприятий.

- разработана методика оценки сфер применения бимодальной пассажирской рельсовой транспортной системы.

### **Теоретическая и практическая значимость.**

Сформулированные в диссертации научные выводы, теоретические и практические результаты могут быть использованы для повышения эффективности организации пассажирских транспортных систем городских агломераций.

Применение результатов исследования позволяет организовать новый вид пассажирского транспортного сообщения; более точно рассчитывать надёжность функционирования взаимодействующих транспортных систем и их пропускную способность; дает возможность уменьшить капитальные затраты на строительство новой пассажирской транспортной инфраструктуры и повысить эффективность использования ныне существующих железнодорожной и трамвайной инфраструктур.

### **Методы исследования, использованные в диссертации:**

изучение и анализ отечественных и зарубежных научных разработок по вопросам надежности и пропускной способности железнодорожной инфраструктуры;

статистические методы обработки данных;

структурно-функциональный анализ;

методы математического моделирования работы узлов и станций;

методы технико-экономического сопоставления вариантов технического развития и технологии организации внутриагломерационных пассажирских перевозок.

### **Положения диссертации, выносимые на защиту:**

эксплуатационные требования к техническим средствам в бимодальной транспортной системе «трамвай-поезд», обеспечивающие безопасное и надежное функционирование за счет гармонизации положений правил проектирования и технической эксплуатации смежных видов транспорта;

принципы отбора транспортных узлов для организации маршрутов бимодальной транспортной системы «трамвай-поезд», позволяющие конкретизировать возможные полигоны внедрения технологии организации пассажирского сообщения «трамвай-поезд» с учетом местных градостроительных и социальных условий;

методика расчета пропускной способности железнодорожных линий в условиях интенсивного пассажирского тактового движения поездов;

методика расчета функциональной надежности бимодальной транспортной системы на основе имитационного моделирования её работы, обеспечивающая выбор решений по повышению функциональной надежности за счет эффективных параметров инфраструктуры, маршрутной сети, организации движения и оперативного управления в транспортных системах;

технологические принципы нормативно-правового регулирования взаимодействия транспортных предприятий для организации работы бимодальной рельсовой пассажирской транспортной системы;

методические принципы определения эффективности и сферы применения транспортной системы «трамвай-поезд» для перевозчиков, владельцев инфраструктуры и заказчиков перевозок с использованием методологии компромиссного управления.

**Реализация результатов работы.** Расчетные формулы наличной пропускной способности в условиях тактового графика движения поездов включены в «Инструкцию по расчету пропускной и провозной способностей

железных дорог ОАО «РЖД» и используются АО «Институт экономики и развития транспорта» при функциональном развитии автоматизированной системы «Паспорт наличной пропускной способности железных дорог ОАО «РЖД» (АС Паспорт НПС).

Расчет наличной пропускной способности в условиях тактового графика движения поездов проведен при разработке «Концепции по развитию железнодорожной инфраструктуры в целях организации пригородных и внутригородских пассажирских перевозок в Санкт-Петербургском железнодорожном узле» (одобрена Правлением ОАО «Российские железные дороги» 09.04.2020 протокол № 20, утверждена ОАО «РЖД» 29.04.2020 № 597 совместно с Правительством Санкт-Петербурга и Правительством Ленинградской области).

Гибридная технология имитационного моделирования применена АО «ИЭРТ» в работе «Организация движения поездов в Санкт-Петербургском железнодорожном узле» на 2025 – 2030 гг.

**Достоверность и обоснованность научных положений и выводов** подтверждается согласованностью научных положений с современным уровнем развития теории управления перевозочным процессом, расчетами на аналитических и имитационных моделях, корректной логикой построения исследования, учетом прогрессивного зарубежного опыта и отечественных условий пригородно-городских пассажирских перевозок, использованием действующих научно-методических положений по расчетам экономической эффективности, а также проверяемыми данными транспортной статистики и информационных систем ОАО «РЖД».

**Апробация работы.** Результаты исследований, составляющих основное содержание работы, доложены на

IV-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов», Беларусь, Гомель, БелГУТ, 11 - 12 октября 2018 г.;

II-й Национальной научно-практической конференции «Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 19 апреля 2019 г.;

12-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2019), Россия, Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова, 1 – 3 октября 2019 г.;

Третьей международной научно-практической конференции «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (РИЛТТРАНС-2019), Россия, Санкт-Петербург, ПГУПС, 23 - 25 октября 2019 г.;

Восьмой научно-практической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование (ИСУЖТ-2019)», Россия, Москва, 21 ноября 2019 г.;

Международной научно-практической конференции «Тихомировские чтения: синергия технологии перевозочного процесса», Беларусь, Гомель, БелГУТ, 10 - 11 декабря 2020 г.;

Международной научно-практической конференции «Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 22 - 23 апреля 2021 г.;

I-й Международной научно-практической конференции «НАУКА 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт», Россия, Москва, 26 - 27 августа 2021 г.;

13-й международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2021), Россия, Москва, ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова, 27 - 29 сентября 2021 г.;

Ученом Совете акционерного общества «Институт экономики и развития транспорта» (протокол № 1 от 29 апреля 2021 г.);

расширенном заседании кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» РУТ (МИИТ).

**Публикации.** Материалы, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 14 печатных работах, в том числе – в трех изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и 2-х приложений. Объем основного текста составляет 191 страницу, содержит 61 рисунок и 16 таблиц, список использованных источников содержит 125 наименований.

### Содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность темы, приведены цели и задачи работы, сформулированы объект и предмет исследования, отражены методы исследования и основные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** дается анализ отечественной и зарубежной практики развития транспортных систем в городских агломерациях, теории об эффективности видов транспортных систем в различных условиях, рассмотрены предпосылки создания и современное мировое состояние бимодальных транспортных систем типа «трамвай-поезд».

Отличительной особенностью бимодальной транспортной системы является возможность перевозить пассажиров в едином подвижном составе («трамвай-поезде») как по железнодорожной, так и по городской трамвайной инфраструктуре.

Идея создания «трамвай-поезда» принадлежит немецким транспортным инженерам. Первый проект этой транспортной системы был разработан в 80-е годы XX века для г. Карлсруэ (ФРГ, земля Баден-Вюртемберг). Для экономии времени пассажиров при поездках между пригородом и городским центром был запущен пробный маршрут специального гибридного подвижного состава. В 1992 г. первый маршрут «трамвай-поезда» в г. Карлсруэ был введен в постоянную эксплуатацию. К третьему десятилетию XXI века подобные системы эксплуатируются более, чем в 20-ти европейских городских агломерациях.

Структура задач диссертационного исследования имеет следующее формализованное описание. Исходное состояние транспортной системы узла характеризуют наборы параметров, описывающих:

инфраструктуру рельсового транспорта

$$W^0 = \{W_{\text{жд}}^0; W_{\text{тс}}^0; W_{\text{ноп}}^0\}, \quad (1)$$

технологии перевозочного процесса, включая графики движения

$$X^0 = \{X_{жд}^0; X_{тс}^0; X_{ноп}^0\}, \quad (2)$$

парк пассажирского подвижного состава

$$M^0 = \{M_{жд}^0; M_{тс}^0\}, \quad (3)$$

пассажиропотоки

$$A^0 = \{A_{жд}^0; A_{тс}^0; A_{пер}^0\}. \quad (4)$$

Переменные, составляющие вектор  $W_{жд}^0$ , характеризуют путевое развитие и техническое оснащение железнодорожной инфраструктуры общего пользования,  $W_{тс}^0$  - трамвайной сети,  $W_{ноп}^0$  - железнодорожных путей необщего пользования. Аналогичны значения индексов в наборах параметров (2) и (3). Переменные, составляющие вектор  $A_{жд}^0$ , описывают набор пассажирских корреспонденций пригородно-городского железнодорожного транспорта, не имеющих пересадки между железной дорогой и трамвайной сетью,  $A_{тс}^0$  - то же, корреспонденций трамвайной сети,  $A_{пер}^0$  - корреспонденции с пересадкой между железной дорогой и трамвайной сетью.

Результирующее состояние предусматривает внедрение на полигоне городской агломерации нового транспортного продукта, который характеризуют наборы параметров: совмещенной инфраструктуры  $W'$ ; интегрированной технологии  $X'$ ; парка бимодального пассажирского подвижного состава  $M'$ ; корреспонденций беспересадочных пассажиропотоков  $A'_{бп}$ .

Требуется обосновать эффективные параметры перехода от исходного состояния к результирующему, обеспечивающие:

повышение качества транспортного обслуживания

$$\Delta K = f_1(W^0 \cup W'; X^0 \cup X'; M^0 \cup M'); \quad (5)$$

увеличение пассажиропотоков

$$\Delta A = f_2(X^0 \cup X'; \Delta K); \quad (6)$$

улучшение финансовых результатов участников перевозок

$$\Delta R = f_3(W^0 \cup W'; X^0 \cup X'; M^0 \cup M'; A_{жд}^0 \cup A_{тс}^0 \cup A'_{бп} \cup \Delta A; \Delta K) \quad (7)$$

при ограничениях на доступные ресурсы:

инфраструктурные

$$W_{потр} = f_4(X^0 \cup X'; M^0 \cup M') \leq W^*; \quad (8)$$

перевозочные

$$M_{потр} = f_5(W^0 \cup W'; X^0 \cup X') \leq M^*; \quad (8)$$

финансовые

$$R_{потр} = f_6(W^0 \cup W'; X^0 \cup X'; M^0 \cup M'; A_{жд}^0 \cup A_{тс}^0 \cup A'_{бп} \cup \Delta A; \Delta K) \leq R^* \quad (9)$$

и на необходимый уровень надежности перевозочного процесса

$$H_{потр} = f_7(W^0 \cup W'; X^0 \cup X'; M^0 \cup M') \geq H^*. \quad (10)$$

С учетом постановки (1 – 10) структурная схема исследования представлена на рисунке 1.

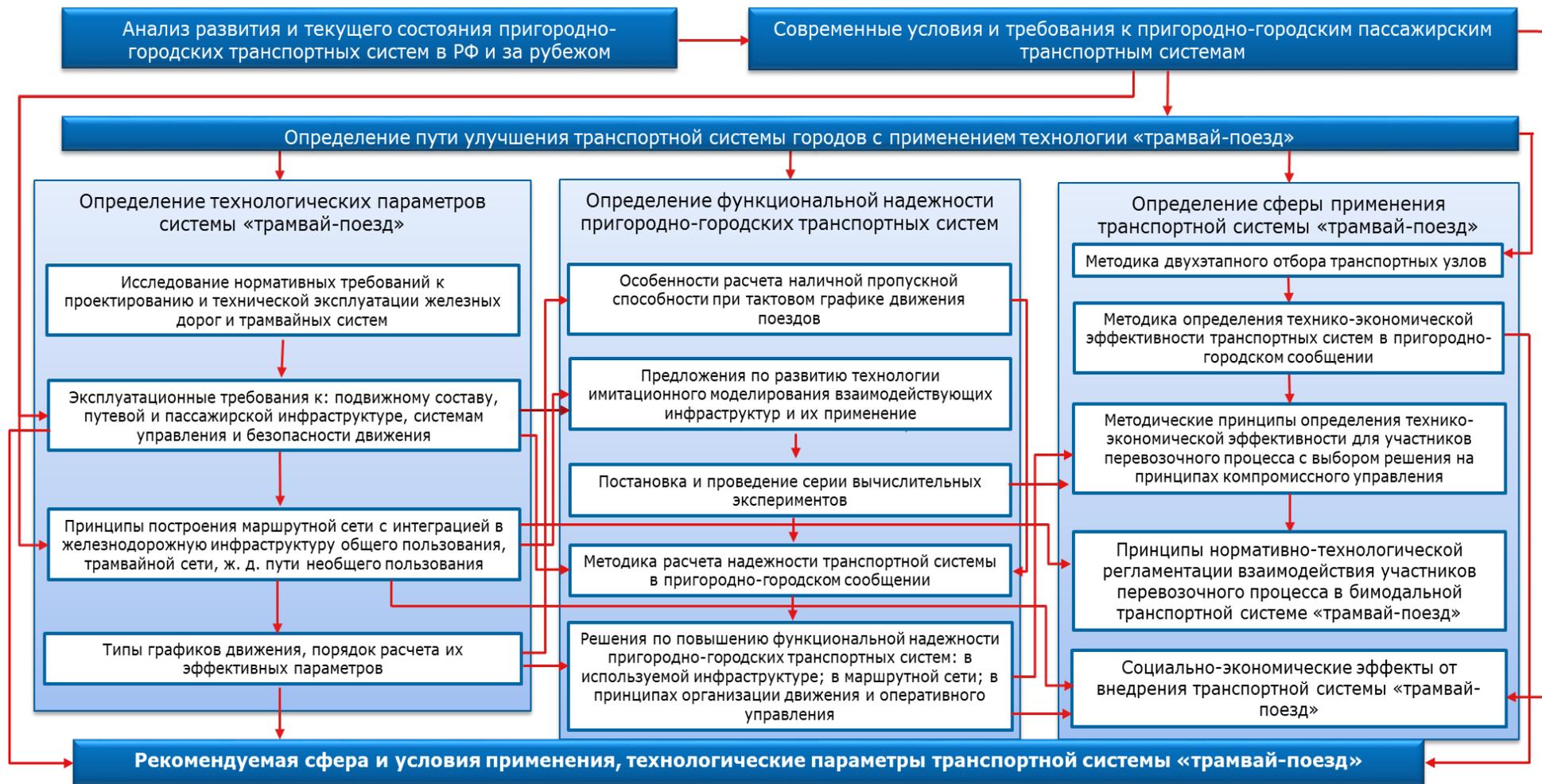


Рисунок 1 – Структурная схема диссертационного исследования

**Вторая глава** посвящена определению технологических параметров транспортной системы «трамвай-поезд», которые состоят из требований к подвижному составу, инфраструктуре, пассажирским устройствам, управлению движением и системам безопасности.

Эксплуатационные требования к компонентам бимодальных пассажирских рельсовых транспортных систем для движения «трамваев-поездов» должны обеспечивать: 1) безопасность пассажиров за счет обеспечения безусловной безопасности движения поездов и других участников движения;

2) стабильное предоставление транспортной услуги пассажирам городской агломерации; 3) сохранение технологического процесса работы транспортных инфраструктур, по которым организуется движение «трамваев-поездов».

В главе сформулирован основной перечень требований к бимодальному подвижному составу «трамвай-поезд» на основе анализа международного и российского законодательства, нормативных документов, включая правила технической эксплуатации видов транспорта и технические регламенты Таможенного союза.

Разработаны основные требования к технологическому процессу работы транспортной системы «трамвай-поезд», который должен регламентировать разработку и согласование маршрутной сети «трамваев-поездов»; разработку нормативного графика движения поездов, расписаний городского трамвая, контактных графиков, графика оборота подвижного состава.

Технология «трамвай-поезд» предполагает использование трамвайно-железнодорожных соединительных линий (гейтов). Гейты – это специальные участки пути, где происходит примыкание трамвайного пути к сети железных дорог в качестве пути необщего пользования. В диссертационном исследовании они типизированы: по расположению – в центральном узле сети или на периферийных линиях; по назначению – для служебных целей и грузовых перевозок или для организации движения «трамваев-поездов»; по типу соединяемой инфраструктуры – соединяющие трамвайную сеть с путями общего или необщего пользования; по типу конструкции примыкания – одноуровневые и разноуровневые; по наличию устройств для оборота трамваев – отсутствию таких устройств или по наличию разных типов устройств для оборота (кольцевые, тупиковые, комбинированные).

На основе существующих схем путевого развития трамвайно-железнодорожных соединительных линий и их типизации разработаны рекомендуемые схемы путевого развития для применения в России.

Разработана структура диспетчерского управления транспортной системы «трамвай-поезд»:

- базовая схема диспетчерского управления системой «трамвай-поезд» при участии владельца инфраструктур общего и необщего пользования, городской трамвайной сети;

- эксплуатационные требования к системам безопасности и управления движением, обеспечивающие надежность взаимодействия железной дороги и городского трамвая при передаче подвижного состава из одной системы в другую;

- принципиальная структура комплекса технических и программных средств (центральный пост – напольное оборудование – борт подвижного состава).

В диссертации сформулированы принципы построения маршрутной сети «трамвай-поезда», обеспечивающие беспересадочную доставку пассажиров из мест рассредоточенного проживания людей в пригороде в центры городов: соединять городские / пригородные районы и крупные промышленные предприятия – места приложения труда; прокладывать маршруты «трамвай-поезда» через максимально возможное количество районов города (при соответствующем обосновании прогнозируемого пассажиропотока); использовать существующую в агломерации инфраструктуру путей общего и необщего пользования, мосты, тоннели, путепроводы, трамвайные пути; прокладывать маршруты по улицам города, планируя обособленность трамвайной инфраструктуры от других видов транспорта, в особенности – от личного автотранспорта; не дублировать пригородные маршруты рельсового транспорта с высокой интенсивностью пассажиропотока.

Требования к нормативным графикам движения поездов на участках, включаемых в бимодальную транспортную систему «трамвай-поезд», включают в себя резервы во временах хода и межпоездных интервалах, увязку графика движения «трамваев-поездов» с графиком движения городского трамвая, критерии прокладки ниток «трамвая-поезда» по железнодорожным участкам совмещенного движения. На направлениях с заполнением пропускной способности более 75-80% построение графика производится исходя из наилучшего использования мощности ограничивающего элемента, до 75-80 % - из лучшего обеспечения потребительских качеств транспортной системы.

**В третьей главе** исследована пропускная способность и функциональная надежность транспортных систем в различных условиях. Пропускная способность перегонов и станций должна определяться с учетом тактового графика движения поездов (далее – ГДП) и взаимодействия систем при совместном использовании инфраструктурных элементов.

*Тактовый график движения поездов* – это организованное движение попутно следующих поездов, которые следуют по участку через одинаковые специально установленные интервалы времени (тактовый интервал). При этом размер тактового интервала (или такта) на рассматриваемом участке может не совпадать с величиной межпоездного интервала, однако не может быть меньше его. Применение тактового графика движения поездов обусловлено потребностью в повышении качества обслуживания пассажиров.

Основным отличием расчета коэффициента съема в тактовом движении, относительно действующей методики, является природа возникновения дополнительного съема, который становится следствием некратности установленного межпоездного интервала  $I_{МП}$  (мин) и величины тактового интервала  $S$  (мин).

Величина коэффициента дополнительного съема при параллельном ГДП:

$$\varepsilon_{доп}^{пг} = \frac{\tau_{доп}^{пг}}{I_{МП}} = \frac{S - I_{МП} \left\lfloor \frac{S}{I_{МП}} \right\rfloor}{I_{МП}}, \quad (11)$$

где,  $\tau_{доп}^{пг}$  – величина неиспользуемого (потерянного на некратности) времени, приходящаяся на каждый период времени  $S$ .

Расчет коэффициента дополнительного съема для поездов тактового графика показал колебания его значений в зависимости от величины такта и межпоездного интервала в диапазоне от 0 до 0,9.

Расчет коэффициента съема для тактового непараллельного ГДП проиллюстрирован рисунком 2. Двойной линией обозначены тактовые поезда, следующие через равные промежутки времени  $S$ . Время внутри промежутка  $S$ , которое отводится на интервал отправления  $\tau_{от}$  с раздельного пункта «Б» и интервал прибытия  $\tau_{пр}$  на раздельный пункт «А», обозначено на рисунке левой и правой косой штриховкой. Промежуток времени, который невозможно использовать для движения поездов  $\tau_{доп}^{нп}$ , отмечен двойной штриховкой.

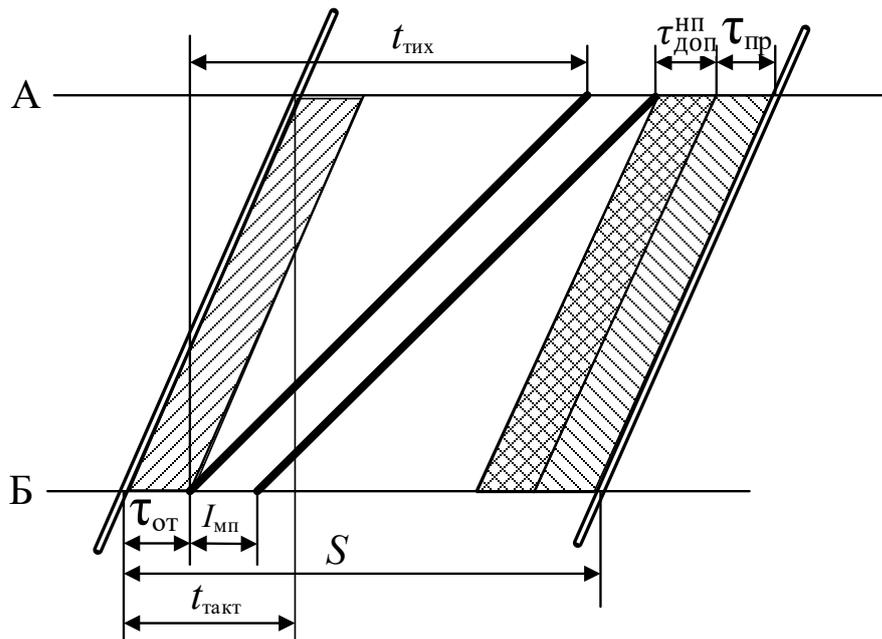


Рисунок 2 – Фрагмент ГДП при тактовом непараллельном графике

Значение полного коэффициента съема при непараллельном тактовом ГДП (формула 12) – это сумма: 1) величины коэффициента основного съема для тихоходных поездов; определяется отношением суммы времени хода тихоходного поезда  $t_{тих}$ ,  $\tau_{от}$  (станционный интервал отправления) и  $\tau_{пр}$  (станционный интервал прибытия) к сумме  $t_{такт}$  и двух межпоездных интервалов, прилегающих к нитке тактового поезда (справедливо при  $t_{такт} < t_{тих}$ ); 2) величины коэффициента дополнительного съема для тактового поезда:

$$\varepsilon^{нп} = \varepsilon_{осн}^{нп} + \varepsilon_{доп}^{нп} = \frac{\tau_{от} + t_{тих} + \tau_{пр}}{I_{мп} + t_{такт} + I_{мп}} + \frac{\tau_{доп}^{нп}}{I_{мп}}. \quad (12)$$

Общая (суточная) наличная пропускная способность для участка с тактовым движением определяется с помощью формулы 13, пар поездов в сутки:

$$n_H = \frac{Da - \tau_{доп}^{нп} Общ}{I_{мп}} + \frac{Db}{I_{мп}}; \quad (13)$$

$$\text{при } a + b = 1, \quad (14)$$

где  $D$  – суточный бюджет времени на движение всех типов поездов с учетом коэффициента надежности, мин.;

$a$  – доля времени занятия участка тактовым движением;

$b$  – доля времени занятия участка остальными видами движения.

Наличная пропускная способность для участка с тактовым движением в интенсивный час будет определяться в пригородных поездах. Наибольшее число пригородных поездов за этот час с учетом съема тактовыми поездами рассчитывается по формуле (15), пар поездов в час:

$$n_{\text{н}}^{\text{ч}} = \frac{60 \cdot \alpha_{\text{н}}}{I_{\text{МП}}} - (\varepsilon_{\text{осн}}^{\text{МП}} + \varepsilon_{\text{доп}}^{\text{МП}}) n_{\text{такт}}. \quad (15)$$

Пропускная способность линии (для поездов всех категорий при 2-х и более накладываемых друг на друга тактовых маршрутах) во время движения тактовых поездов:

$$n_{\text{нал}}^{\text{такт}} = \sum_j \frac{Q_j * T_j - \tau_{\text{доп}}(j) * Q_j}{I_{\text{МП}}}, \quad (16)$$

где  $Q_j$  – количество  $j$ -х периодов графика, определяемое при эскизном построении ГДП. Число значений  $\tau_{\text{доп}}(j) * Q_j$  соответствует количеству вариантов периода графика  $T_j$ .

Время, которое невозможно использовать для движения поездов из-за некратности тактового интервала (см. рисунок 2), межпоездного интервала и взаимного расположения поездов (рисунок 3) в графике, определяется при помощи формулы (17) для каждого отрезка времени  $y_m^j$  внутри периода графика  $T_j$ :

$$\tau_{\text{доп}}(j) = \sum_m (y_m^j - I_{\text{МП}} \left\lfloor \frac{y_m^j}{I_{\text{МП}}} \right\rfloor), \quad (17)$$

где  $y_m^j$  – отрезок времени внутри периода графика  $T_j$ , нижний индекс  $m$  обозначает порядковый номер отрезка времени  $y_m^j$  внутри периода графика  $T_j$ .

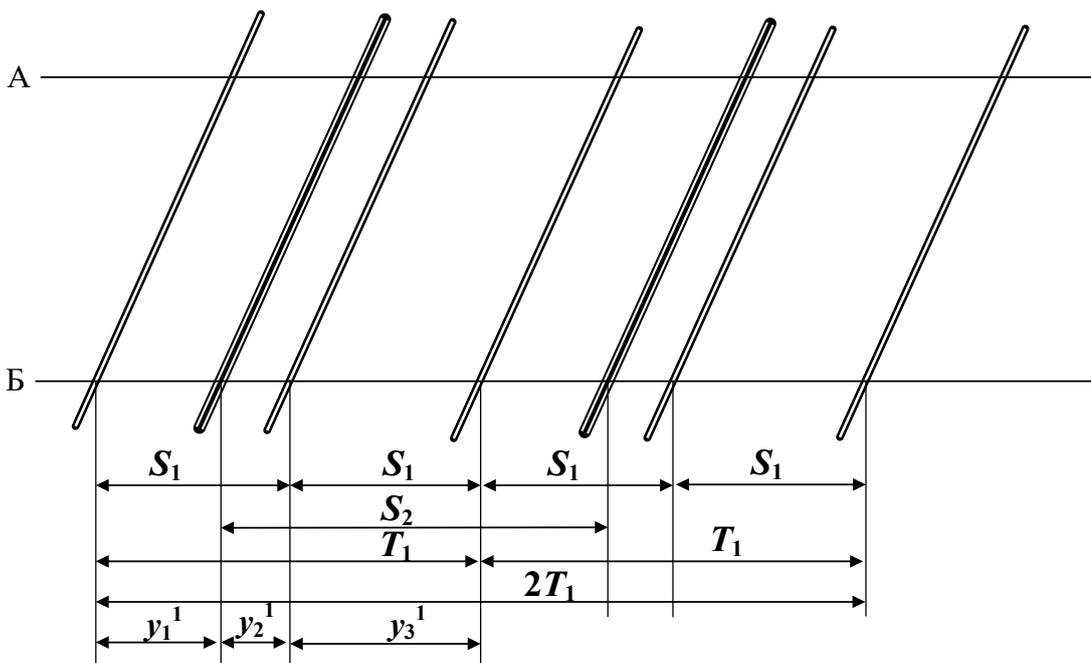


Рисунок 3 – Фрагмент тактового параллельного графика движения поездов с наложением двух тактовых маршрутов

Для проведения имитационного моделирования работы крупных узлов и полигонов сети была разработана **гибридная технология расчетов**, которая предусматривает:

- 1) предварительную аналитическую оценку реализуемости инфраструктурных и технологических решений посредством сетевой потоковой модели с получением на выходе наборов исходных данных для имитационного моделирования;
- 2) построение в интерактивном режиме нормативного (вариантного) графика движения поездов с обеспечением заданных размеров движения и суточного замыкания;
- 3) проведение имитационных расчетов с определением показателей;
- 4) корректировку (перестроение) графика движения поездов в случае выхода контрольных показателей за пределы области допустимых значений;
- 5) повторение шагов (3) – (4) до принятия технологом решения о приемлемости значений контрольных показателей.

В качестве контрольных показателей выступают суммы организованных и проследовавших единиц транспортного потока, допустимое число задерживаемых единиц потока и допустимое время задержек в целом и на заданных технологом элементах и операциях.

Включение в технологию моделирования этапа построения нормативного графика движения поездов позволяет обеспечить предварительную приоритезацию и взаимоувязку всех видов пассажирского движения, занимающих общие элементы инфраструктуры. При этом имитационный расчет:

- использует рациональные схемы пропуска поездов, предусмотренные разработанным графиком движения;
- проверяет реализуемость графика в различных эксплуатационных условиях и возможности его восстановления при сбоях;
- определяет динамические приоритеты в управляющих операциях в зависимости от величины неграфиковых задержек поездов;
- выявляет элементы путевого развития, вызывающие наибольшие задержки в продвижении поездопотоков и выполнении операций с ними;
- выявляет влияние на контрольные показатели количества обслуживающих бригад в приёмо-отправочных парках, поездных локомотивов, приёмо-отправочных путей, наличия маневровых средств и др;
- определяет влияние степени неравномерности входящего потока на контрольные показатели.

На основе полученных посредством имитационного моделирования функциональных зависимостей и расчетных параметров для различных состояний системы осуществляется переход к экономической оценке мероприятий и выбору предпочтительного варианта.

Особенности взаимодействия двух рельсовых транспортных систем и показатели пропускной способности существенно влияют на резервирование и надежность эксплуатируемых систем. Уровень выполнения и коэффициент технологического использования графика движения, вероятность непревышения заданной длительности следования транспортных единиц, вероятности непревышения допустимых отклонений времени проследования и прибытия, – всё это зависит от значения

коэффициента резерва, вероятности безотказной работы, длительности задержек транспортных потоков и времени восстановления после отказов.

Надежность бимодальной транспортной системы «трамвай-поезд» предопределяется надежностью транспортной системы «железная дорога», надежностью транспортной системы «трамвайная сеть» и надежностью стыка между системами. Произведено распределение факторов, влияющих на надежность бимодальной транспортной системы, по типу их влияния на работу системы.

Целью расчета надежности транспортных систем в пригородно-городском сообщении является оценка их работоспособности на всем периоде действия нормативного графика движения поездов в условиях изменяющихся транспортных потоков и эксплуатационной обстановки.

Для достижения указанной цели расчет надежности транспортной системы предусматривает решение следующих задач.

1. Загрузка данных нормативного графика движения поездов в имитационную модель системы.

2. Генерирование вариантов отклонения следования поездов от нормативного графика.

3. Оценка продвижения по нормативному графику расчетных транспортных потоков с учетом их отклонений от нормативного графика и регулировочных решений путем расчетов на имитационной модели системы.

4. Определение показателей технологической надежности.

5. Если значения показателей технологической надежности выходят за диапазон допустимых значений, то необходимо определить варианты мер по повышению надежности. С учетом намеченных мер изменяют параметры имитационной модели системы и повторяют расчеты (см. пп. 1 – 4).

6. Если значения показателей технологической надежности соответствуют диапазону допустимых значений, то необходимо из числа рассчитанных альтернатив выбрать вариант мер по повышению надежности, требующий наименьших дополнительных затрат.

В исследовании сравниваются варианты путевого развития трамвайно-железнодорожной соединительной линии (гейта) при её примыкании к пассажирской станции с учетом особенностей взаимодействия двух рельсовых транспортных систем.

С использованием типового имитационного модуля пассажирской станции и после дополнения модели полигона прилегающими промежуточными станциями участка проведен ряд экспериментов для расчета зависимостей надежности работы железнодорожной станции от месторасположения точки примыкания трамвайно-железнодорожной соединительной линии к инфраструктуре станции. Сравнимые в данной статье схемы примыкания трамвайно-железнодорожных соединительных линий к станциям (рисунок 4) подобраны после их анализа и типизации.

Далее оценивается надежность трех схемных решений для вариантов примыкания трамвайно-железнодорожной соединительной линии в условиях нормальной работы связки «трамвайная сеть – железная дорога» (по нормативному графику) и в условиях несвоевременного выхода «трамвая-поезда» на гейт (нарушение контактного графика).

В соответствии с разработанным алгоритмом расчета производятся:

1) снятие показателей задержек движения всех категорий поездов при  $\mu^k = 0$ . Полученные результаты заносятся в графу «базовый» (таблица 1).

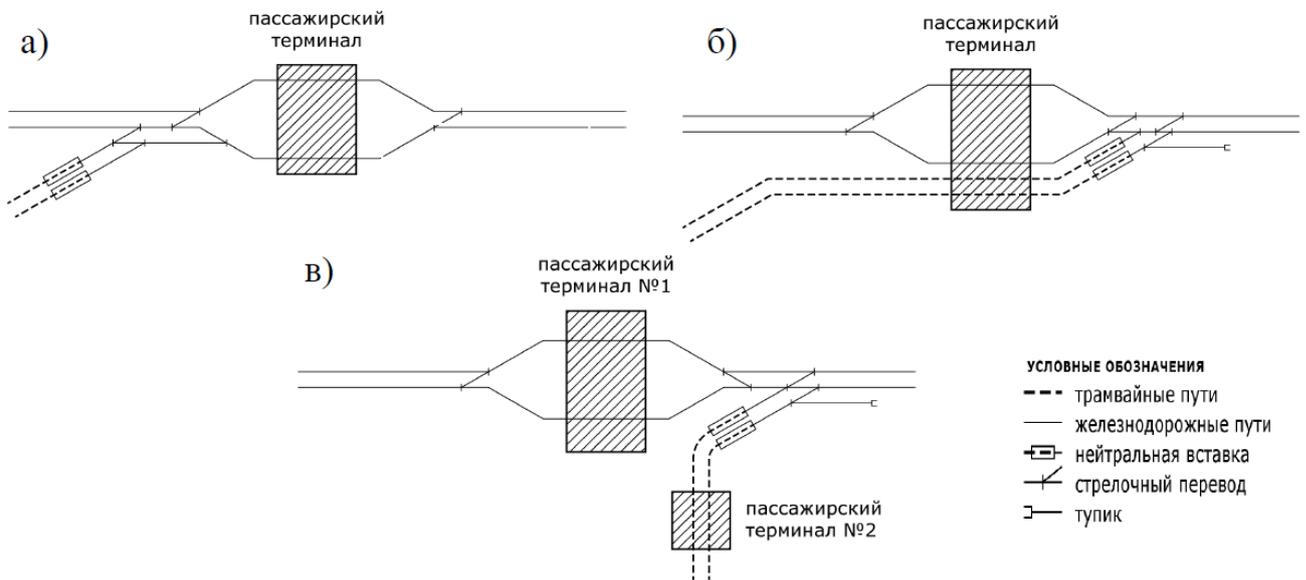


Рисунок 4 – Схема путевого развития станции с примыканием трамвайно-железнодорожной соединительной линии в горловине:

- с использованием для посадки-высадки пассажиров из «трамвай-поезда» перронных путей железной дороги;
- с размещением посадочных платформ «трамвай-поезда» рядом с группой перронных путей железной дороги;
- с расположением посадочных платформ для маршрутов «трамвай-поезда» в отдельном терминале

2) снятие показателей задержек движения всех категорий поездов при  $\mu^{\text{трамвай-поезд}} = 0,15$ ,  $d = 2$  мин.,  $h = 8$  мин.,

где  $\mu^k$  – доля поездов  $k$ -ой категории, поступающих на рассматриваемый полигон с отклонением от нормативного графика движения поездов;

$\rho^k \in [d; h]$  – величина отклонения от графика поступающего поезда  $k$ -ой категории. Может принимать значение от  $d$  до  $h$ , минуты.

Полученные результаты заносятся в графу «сбойный» (таблица 1).

На основе анализа результатов по графам «базовый» и «сбойный», можно сделать вывод о том, что варианты б) и в) путевого развития в случае сбоя в движении позволяют более оперативно вводить поезда в график. Разница задержек движения для всех категорий поездов в «сбойном» режиме работы составила 0,47 часа.

Если полученные таким образом показатели надежности системы в «базовом» (нормальном) или «сбойном» режимах говорят о недостаточном уровне надежности, целесообразно рассмотреть технологию поиска уязвимостей в работе системы и подбора методов по устранению или снижению влияния этих факторов на надежность функционирования и длительность восстановления нормальной работы системы после сбоя в работе.

Таблица 1 – Показатели надежности графика движения поездов по вариантам работы «базовый» и «сбойный» и вариантам путевого развития

Показатель \ вариант путевого развития станции примыкания	Вариант «а»		Вариант «б»		Вариант «в»	
	базовый	сбойный	базовый	сбойный	базовый	сбойный
Суммарное время опоздания поездов, поездо-часы	0	0,73	0	0,26	0	0,26
Коэффициент технологического использования графика, $k_t$	1	0,968	1	0,987	1	0,987
Время работы до отказа, час - $T_0$	-	6	-	6	-	6
Средняя продолжительность задержки одного опоздавшего поезда, час - $t_{сб}$	-	0,182	-	0,065	-	0,065
Вероятность безотказной работы системы $P_{(t)}$	1	0,97	1	0,97	1	0,97
Обобщенный коэффициент технологического использования графика движения поездов $K_{to}$	-	0,94	-	0,96	-	0,96

**В четвертой главе** рассмотрены принципы и сферы применения транспортных систем в городских агломерациях.

При организации бимодальной транспортной системы на рынке транспортных услуг региона появляется **новый перевозчик**, предоставляющий инновационную транспортную услугу с помощью специального подвижного состава (ССПС) – «трамвай-поезда». Который имеет возможность перевозить пассажиров как по железнодорожной, так и по городской трамвайной инфраструктуре.

Для перехода ССПС из одной сети в другую **новый перевозчик** сооружает трамвайно-железнодорожную соединительную линию. Гейт примыкает к инфраструктуре общего пользования и является самостоятельным путем необщего пользования, а **новый перевозчик** – его владельцем.

В главе разработана схема регламентации технологии взаимодействия субъектов транспортной отрасли для организации движения поездов по технологии «трамвай-поезд».

Методические положения по отбору потенциальных транспортных узлов для внедрения систем «трамвай-поезд» с целью уменьшения трудоёмкости анализа привлекаемой информационной базы предусматривают две группы критериев: 1) критерии, несоблюдение которых обеспечивает отсеивание объектов, не имеющих перспективы исследования и проектирования – наличие регулярных пригородных перевозок и устойчивого пассажиропотока; численность населения города (агломерации) – перспективный пассажиропоток; расположение железнодорожного вокзала и остановочных пунктов железной дороги на отдалении от центров городской активности; 2) анализ объектов, соответствующих первой группе – наличие сети городских улиц (их конфигурация) для организации эффективных маршрутов «трамваев-поездов»; наличие электрификации прилегающего к городу участка железной дороги с пригородным сообщением.

Бимодальная транспортная система при её интеграции в городскую транспортную инфраструктуру позволяет получить экономический эффект:

для перевозчика – за счет меньшей стоимости транспортного средства (легкий подвижной состав), снижения затрат на его обслуживание и эксплуатацию (меньшая энергоёмкость);

для владельцев транспортных инфраструктур – за счет общего уменьшения неблагоприятного воздействия на путевое хозяйство; применения нормативов не железнодорожного, а легкорельсового транспорта при строительстве транспортной инфраструктуры и дальнейшей её эксплуатации; уменьшения интервалов движения и др.

Цели для перевозчика и владельца инфраструктуры идентичны – это максимизация удельного финансового результата (в социально значимом проекте – минимизация отрицательного финансового результата, приходящегося на 1 пассажиро-км):

$$\frac{\sum D - \sum R}{\sum Al} \rightarrow \max, \quad (18)$$

где  $\sum R$  – инвестиционные затраты и прямые производственные расходы по перевозочной деятельности;

$\sum D$  – доходные поступления, обеспечивающие безубыточность перевозок;  
 $\sum Al$  – пассажирооборот транспортной системы.

При этом сумма  $\sum R$  и сумма  $\sum D$  в рамках единой транспортной системы различаются для каждого участника транспортного обслуживания.

Технико-экономическое обоснование создания системы «трамвай-поезд» в конкретной агломерации должно опираться на сравнение вариантов организации маршрутной сети и определение того, какой из них предпочтительнее – использование специальных «трамваев-поездов» либо развитие уже действующих способов перевозок. Финансовый результат системы не должен быть отрицателен. При этом входящие в расчет зависимости и их численное выражение будут варьироваться для каждого владельца инфраструктуры и перевозчика. В общем виде финансовые результаты для владельцев железнодорожных инфраструктур общего и необщего пользования, трамвайных городских сетей выражаются формулой:

$$R^B = R_d + R_y - R_{OT} - R_{OC} - R_{PP}, \quad (19)$$

где  $R_d$  – доход от основной деятельности и оказания услуг предоставления инфраструктуры перевозчикам для организации пассажирского и других видов сообщения;

$R_y$  – доход от оказания прочих услуг;

$R_{OT}$  – операционные расходы, связанные с продвижением транспортных потоков;

$R_{OC}$  – удельные инвестиции, связанные с мощностью объекта инфраструктуры;

$R_{PP}$  – условно-постоянные операционные расходы, связанные с обслуживанием инфраструктуры для организации пассажирского и других видов сообщений.

Финансовый результат для нового перевозчика, эксплуатирующего систему «трамвай-поезд», выражается формулой:

$$R^{\Pi} = R_{\text{Б}} + R_{\text{К}} - R_{\text{инф}} - R_{\text{ПС}} - R_{\text{ОБ}} - R_{\text{Д}}, \quad (20)$$

где  $R_{\text{Б}}$  – доход от продажи билетов, компенсация выпадающих доходов при перевозке льготных категорий граждан;

$R_{\text{К}}$  – компенсация расходов от субъекта РФ на получение услуг инфраструктуры;

$R_{\text{инф}}$  – расходы на получение услуг от сторонних владельцев инфраструктуры;

$R_{\text{ПС}}$  – удельные инвестиции на приобретение собственного подвижного состава;

$R_{\text{ОБ}}$  – операционные расходы на эксплуатацию, обслуживание и амортизацию собственного подвижного состава;

$R_{\text{Д}}$  – расходы, связанные со строительством и обслуживанием собственной железнодорожной/трамвайной инфраструктуры (депо, гейты).

На выбор решения оказывают влияние ограничения, диктуемые заданными объемами работы и потребным качеством транспортного обслуживания населения.

Далее проведено сопоставление прямых зависящих операционных расходов для перевозки пассажиров по трем вариантам технологии:

1. Традиционный – используется электропоезд и городской трамвай.

Пассажиропоток в направлении город-пригород и обратно на железнодорожном транспорте осваивается при помощи электропоезда 4-х или 10-ти вагонной составности; на городской части маршрута используется трамвай.

2. Комбинированный – используется электропоезд и «трамвай-поезд».

Пассажиропоток в направлении город-пригород и обратно на железнодорожном транспорте осваивается частично при помощи электропоезда ЭП2Д в 4-х или 10-ти вагонной составности; частично используется «трамвай-поезд».

3. Альтернативный – пассажиропоток в направлении город-пригород и обратно полностью осваивается подвижным составом типа «трамвай-поезд».

Основные параметры:

1)  $\gamma_{\text{жд}}$  – доля железнодорожной части в маршруте «трамвай-поезда»;

$l_{\text{жд}}$  – протяженность железнодорожной части в маршруте «трамвай-поезда», км;

$l_{\text{тр}}$  – протяженность городской части в маршруте «трамвай-поезда», км.

2) Доля пересадочного пассажиропотока – отношение величины пересадочного пассажиропотока к величине потока пригородных пассажиров, следующих в район вокзала.

Расчеты по расширенному диапазону данных выявили следующие тенденции:

1) с увеличением доли пересадочного потока повышается экономичность Комбинированного варианта относительно Традиционного; показатели приближаются к Альтернативному варианту;

2) при  $l_{\text{жд}} = l_{\text{тр}}$  и  $\sigma_{\text{пер}} = 0,1$  – зависящие затраты почти одинаковы по всем вариантам;

3) при  $l_{\text{жд}} < l_{\text{тр}}$  – зависящие затраты по Альтернативному варианту выше, чем по Традиционному, а по Комбинированному варианту – ниже Традиционного.

Альтернативный вариант имеет наименьшие зависящие расходы относительно Традиционного варианта при доле железнодорожной части маршрута в общей длине от 0,45 – 0,6 и выше. Комбинированный вариант имеет наименьшие зависящие расходы относительно Традиционного варианта при доле железнодорожной части маршрута в общей длине от 0,1 и выше.

На рисунке 5 представлено сравнение зависящих затрат по вариантам технологий перевозки пассажиров, которые приведены при  $\gamma_{жд} = 0,8$ ;  $\sigma_{пер} = 0,5$ .

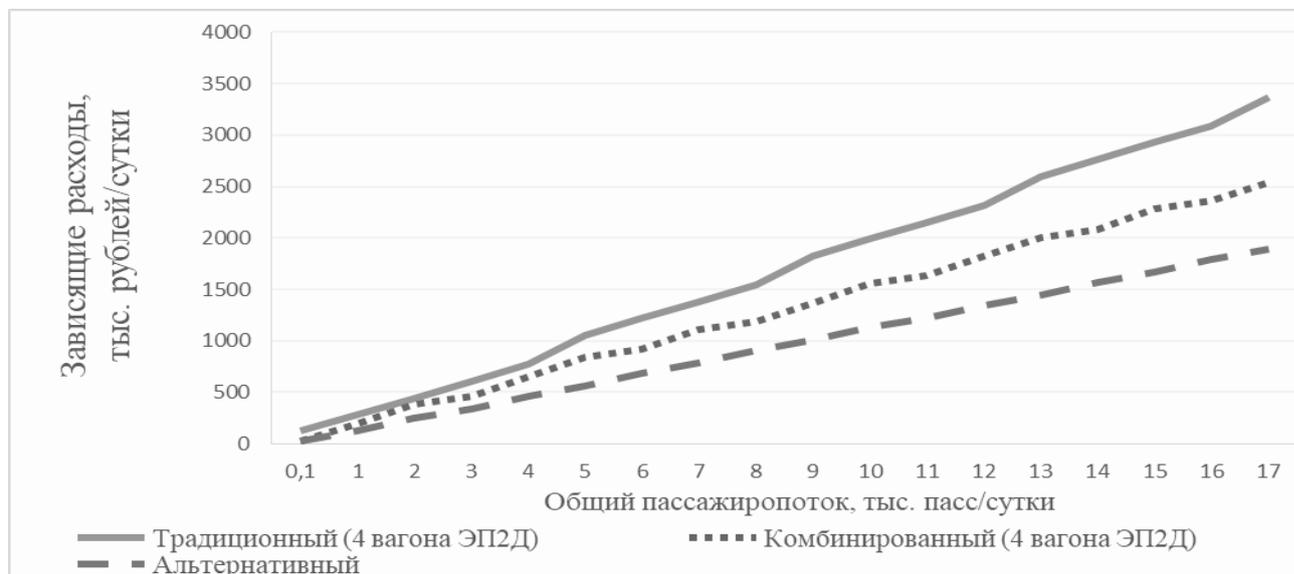


Рисунок 5 – Сравнение зависящих затрат по вариантам технологий перевозки пассажиров

Произведен расчет окупаемости инвестиций на организацию движения по технологии «трамвай-поезд». В расчете учитывалась только разница затрат (инвестиционных и эксплуатационных) между вариантами технологии, так как предполагается, что для обслуживания рассматриваемого маршрута потребуется приобретение нового подвижного состава в связи с полным износом используемого ранее. В этом случае полученные значения окупаемости дополнительных инвестиционных затрат находятся в диапазоне от нескольких месяцев до двух лет. Если существующий подвижной состав возможно использовать и далее, то простой срок окупаемости находится в диапазоне от нескольких месяцев до четырех лет. Таким образом, можно говорить об экономической эффективности предложенной технологии перевозки пассажиров.

### Заключение

В диссертационном исследовании:

1. Выполнен анализ основных факторов, влияющих на эффективность перевозочного процесса и обслуживания пассажиропотоков при внедрении беспересадочных бимодальных транспортных систем. Преимуществами бимодальной пассажирской транспортной системы «трамвай-поезд» являются экономия времени пассажиров и улучшение связанности территорий, меньшая капиталоемкость и энер-

гоемкость подвижного состава, использование существующих рельсовых инфраструктур с уменьшением потребности в дополнительном путевом развитии и в усилении мощности транспортно-пересадочных узлов. Однако, при этом требуется разработка и строительство специального подвижного состава, устройство примыканий к железнодорожной сети, разработка технологии и организационно-правовых механизмов взаимодействия участников перевозочного процесса.

2. Сформулированы эксплуатационные требования к инфраструктуре, подвижному составу, пассажирским обустройствам, системам безопасности движения, диспетчерскому управлению, маршрутной сети, графикам движения поездов в бимодальной транспортной системе «трамвай-поезд», которые включают в себя не только требования, диктуемые нормативными документами взаимодействующих видов транспорта, но и специфические требования бимодальной технологии пассажирских перевозок.

3. Разработана методика расчета пропускной способности железнодорожных линий в условиях интенсивного пассажирского тактового движения поездов, в составе которой определен дополнительный съем пропускной способности, вызываемый некратностью периода такта и расчетного межпоездного интервала. Дополнительный съем тактового поезда находится в диапазоне от 0 до 0,9. Выведены зависимости для оценки влияния тактового движения поездов на пропускную способность линии с непараллельным графиком движения поездов, а также на пропускную способность элементов станций.

4. Разработана методика расчета функциональной надежности бимодальной транспортной системы на основе систематизации двух групп факторов (факторы, влияющие на вероятность безотказной работы системы; факторы, влияющие на тяжесть последствий сбоя в работе системы) и специально разработанной гибридной технологии выполнения имитационных расчетов для определения их значений.

5. Обоснованы технологические принципы регулирования взаимодействия заказчика перевозок, перевозчиков, владельцев инфраструктур различного вида для организации работы бимодальной рельсовой пассажирской транспортной системы, предусматривающие типовые сценарии, которые с поправкой на местные условия могут быть настроены на любые структуры взаимодействующих предприятий в условиях разных транспортных узлов и агломераций. При этом определен перечень необходимых нормативно-технологических и организационно-правовых документов.

6. Разработаны методические положения по отбору потенциальных транспортных узлов на территории Российской Федерации для внедрения систем «трамвай-поезд» и методические принципы определения эффективности и сферы применения транспортной системы «трамвай-поезд» для перевозчиков, владельцев инфраструктуры, предусматривающие сравнение вариантов организации маршрутной сети с использованием «трамвай-поездов» или с развитием действующих способов освоения перевозок, с расчетом операционных расходов и инвестиций, связанных с мощностью объектов инфраструктуры и подвижным составом, с простоями, обработкой и продвижением транспортных потоков; взаимными платежами участников перевозочного процесса.

**Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:**

*В изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. Кириллова, С.Ю. К определению коэффициентов съема пропускной способности участков железных дорог / С.Ю. Кириллова, К.Ю. Николаев // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2020. – Т. 79. – № 4. – С. 230-238.

2. Николаев, К.Ю. Выбор полигона и параметров применения технологии «Трамвай-Поезд» в России / К.Ю. Николаев // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 5 (90). – С. 40-44.

3. Бородин, А.Ф. Принципы определения эффективных параметров организации движения поездов в пригородно-городском сообщении с учетом дифференциации классов транспортного обслуживания / А.Ф. Бородин, И.Ф. Мустафин, К.Ю. Николаев // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2021. – Т. 80. – № 2. – С. 108-117.

*В других изданиях:*

4. Бранзия, Р.Л. Обоснование параметров организации диаметального движения в Московском железнодорожном узле / Р.Л. Бранзия, Н.В. Филаретова, К.Ю. Николаев, И.Ф. Мустафин // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: Материалы IV Межд. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 274-276.

5. Николаев, К.Ю. Об эксплуатационных параметрах и сферах применения транспортных систем «Трамвай-Поезд» / К.Ю. Николаев // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: Материалы IV Международной. науч.-практ. конф.: в 2-х ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 107-109.

6. Мустафин, И.Ф. Перспективы организации пригородно-городского железнодорожного сообщения в Санкт-Петербургском железнодорожном узле. / И.Ф. Мустафин, К.Ю. Николаев, Н.В. Филаретова // Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность: Сборник материалов II-й Национальной научно-практической конференции «Современные технологии управления транспортным комплексом России: инновации, эффективность, результативность» (РФ, г. Москва, РУТ (МИИТ), 19 апреля 2019 года) / Ред. колл.: д.т.н., проф. В.А. Козырев; к.ф.н. Г.В. Черняева; к.э.н. Н.Н. Зенина. – М.: Российский университет транспорта, 2019. – С. 158-162.

7. Петров, А. С. Типовые модули имитационного расчета крупных железнодорожных узлов / А. С. Петров, Е. О. Дмитриев, К. Ю. Николаев // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2019) : Материалы двенадцатой международной конференции, Москва, 01–03 октября 2019 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Международный научно-исследовательский институт проблем управления РАН, 2019. – С. 633-644.

8. Бородин, А.Ф. Методы оценки показателей надежности в прикладных задачах управления перевозочным процессом / А.Ф. Бородин, К.Ю. Николаев,

А.А. Сухов // Восьмая научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование» (Москва, 21 ноября 2019 г.) : Сборник трудов / под ред.: Матюхин В.Г., Строгонов В.И. – М.: АО "НИИАС", 2019. – С. 110-114.

9. Николаев, К.Ю. Метод расчета пропускной способности железнодорожных участков с преимущественно пассажирским движением при организации тактового движения / К.Ю. Николаев // Третья международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 23–25 октября 2019 г.) : сборник трудов в 2-х ч. / под ред.: А.А.Краснощека, П.К. Рыбина. Ч. 1 : Развитие транспортной инфраструктуры и управление перевозками. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. – С. 237-245.

10. Бородин, А.Ф. Принципы технологии грузового движения в Санкт-Петербургском железнодорожном узле при перспективной организации пассажирских перевозок / А.Ф. Бородин, К.Ю. Николаев, А.С. Петров // Бюллетень учёного совета АО «ИЭРТ» за 2019 год / Отв. Ред. Я. Ю. Чибряков. – М.: ИЭРТ, 2020. – Вып. 5. – С. 60-67.

11. Николаев, К.Ю. Основные требования безопасности в пассажирских бимодальных транспортных системах // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса: материалы Международн. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 285-288.

12. Николаев, К.Ю. Поиск рациональной технологии эксплуатации железнодорожных узлов с помощью методов имитационного моделирования на примере Санкт-Петербургского железнодорожного узла / К.Ю. Николаев, А.С. Петров // Тихомировские чтения: Синергия технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. ; под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 288-292.

13. Николаев, К.Ю. Трамвайно-железнодорожные соединительные линии в бимодальных транспортных системах «трамвай-поезд» // Бюллетень учёного совета АО «ИЭРТ» за 2020 г. / Отв. ред. Я.Ю. Чибряков. – М.: ИЭРТ, 2021. – Вып. 6. – С. 39-51.

14. Николаев, К.Ю. Технические и технологические требования к системам безопасности и управления движением в бимодальной транспортной системе «трамвай-поезд» / К.Ю. Николаев, Д.И. Хомич // Фёдор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России: Труды Междунар. науч.-практ. конф. / Отв. ред. А.Ф. Бородин, сост. Р.А. Ефимов. – М.: РУТ (МИИТ), 2021. – С. 310-319.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [2, 5, 9, 11, 13] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 14], подготовленных в соавторстве: разработка эффективных маршрутов пропуска вагонопотоков в условиях интенсивного пассажирского движения, параметров графика движения поездов [10]; разработка принципов расчета

наличной пропускной способности ж. д. участка в условиях тактового графика движения поездов [1]; структура целевых функций и модель распределения пассажиропотоков между терминалами [3]; разработка параметров пассажирских транспортных систем [4, 6]; разработка типового имитационного модуля пассажирской станций [7]; оценка надежности бимодальных транспортных систем и резервов времени в графике движения поездов [8]; разработка положений гибридной технологии моделирования работы железнодорожных узлов [10, 12]; технические и технологические требования к системам диспетчеризации и управления движением в системе «трамвай-поезд» [14].

**Николаев Константин Юрьевич**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ  
НАДЕЖНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ИНТЕГРАЦИИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПАССАЖИРСКИЕ  
ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ТРАМВАЙ-ПОЕЗД»)**

2.9.4 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

Подписано в печать 24 января 2022 г.

Формат 60×84 1/16

Тираж 100 экз.

Объем усл. печ. л. 1,4

Заказ 53

Издательство УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66