

На правах рукописи

БАКИН АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**МЕТОД РАЗРАБОТКИ ТАКТОВОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ
ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ**

2.9.4. Управление процессами перевозок

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Вакуленко Сергей Петрович

Официальные оппоненты: **Покровская Оксана Дмитриевна,**
доктор технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», кафедра «Управление эксплуатационной работой», заведующий кафедрой;

Муковнина Наталья Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения», отдел подготовки кадров высшей квалификации, начальник отдела.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения».

Защита состоится «13» марта 2024 г. в 13 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета 40.2.002.02 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.miiit.ru.

Автореферат разослан «__» февраля 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Сидоренко Валентина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Транспортная стратегия Российской Федерации определяют миссию и стратегические приоритеты развития транспортного комплекса нашей страны. Миссия федеральных и региональных властей заключается в создании условий для повышения качества жизни и здоровья граждан, экономического роста и повышения конкурентоспособности национальной экономики, расширение доступа к безопасным и качественным транспортным услугам для населения. Целями долгосрочной государственной политики в сфере обеспечения функционирования и развития транспортной системы являются повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий, повышение мобильности населения.

Основу современной цивилизаций составляют городские агломерации, в которых развитие экономики, социальной сферы, образования и технологий происходит быстрее, чем в других регионах страны. В России насчитывается 22 городские агломерации с населением свыше 1 млн. человек и 23 с населением свыше 500 тыс. человек. Задачей государства является создание условий для формирования и развития агломерационных связей между городами и регионами страны. В настоящее время именно отсутствие требуемого уровня качества транспортного обслуживания является сдерживающим фактором в становлении и развитии городских агломераций в России. Успех и востребованность проектов развития пригородно-городских перевозок под брендами Московское центральное кольцо (МЦК) и Московские центральные диаметры (МЦД) в Москве и удачные примеры развития пригородных перевозок других регионов говорят о большом и недоиспользуемом потенциале железнодорожного транспорта и необходимости его развития. Железнодорожный транспорт характеризуется высокой провозной способностью, экологичностью и высокой степенью надежности. Развитие пригородных железнодорожных перевозок должно повысить трудовую подвижность населения, увеличить экономическую конкурентоспособность регионов и обеспечить достижение других агломерационных эффектов.

Для обеспечения повышения качества пригородных пассажирских перевозок необходимо разработать новые подходы к планированию и организации движения пригородных электропоездов (ПЭП). Расчет размеров движения ПЭП по участкам железнодорожного направления должен производиться не только с целью обеспечения перевозки расчетного пассажиропотока, но и с учетом предпочтений пассажиров по периодичности движения ПЭП. Задача организации движения ПЭП является многогранной и для ее решения следует использовать современные подходы к моделированию транспортных систем и методы оптимизации.

Степень разработанности темы исследования. Значительный научный вклад в решение вопросов планирования и рационального функционирования пригородных, пригородно-городских и городских транспортных систем внесли работы отечественных ученых: Ф.П. Кочнева, В.Г. Шубко, Ю.О. Пазойского, Н.И. Бещевой, Л.А. Баранова, В.А. Кудрявцева, А.Г. Котенко, В.Г. Сидоренко,

А.И. Жербиной, Т.Н. Каликиной, Е.В. Копыловой, О.Д. Покровской и др. Вопросами прогнозирования величины пассажиропотока и формирования спроса на пригородные перевозки посвящены работы ученых: Н.В. Правдина, В.Я. Негрея, А.П. Артынова, Е.А. Локтева, С.П. Вакуленко, и др.

Объект исследования – пригородные пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте.

Предмет исследования – организация движения пригородных электропоездов.

Целью диссертационного исследования является разработка новых научно-обоснованных приемов и принципов организации и оценки пригородных пассажирских железнодорожных перевозок с учетом предпочтений пассажиров, позволяющих повысить качество транспортного обслуживания населения.

Задачи исследования, поставленные для достижения цели:

- проанализировать и обобщить опыт, накопленный отечественными и зарубежными учёными по вопросам организации движения ПЭП;
- разработать критерии оценки качества построения графика движения ПЭП, учитывающие приоритеты всех участников перевозочного процесса;
- исследовать закономерность подхода пассажиров на посадку в ПЭП;
- исследовать пороговые значения времени ожидания и закономерности распределения пассажиров по электропоездам в пригородном сообщении;
- разработать алгоритм построения тактового графика движения ПЭП на инфраструктуре общего пользования;
- разработать оптимизационную модель для определения размеров движения, последовательности пропуска и режима остановок ПЭП.

Научная новизна исследования заключается в изучении особенностей транспортного поведения пассажиров в пригородном сообщении и разработке новых подходов к проектированию и оценке графиков движения ПЭП с учетом предпочтений пассажиров. В диссертационном исследовании впервые предложены следующие основные решения и разработки:

- сформированы критерии оценки качества построения графика движения ПЭП. Предложен новый подход к учету потребительских параметров качества расписания с помощью расчета величины осваиваемого пассажиропотока, которая зависит от параметров формируемого расписания;
- определена закономерность распределения пассажиров при подходе на остановочный пункт на посадку в ПЭП, которые отличаются от текущих нелинейностью процесса накопления пассажиров на остановочном пункте и подтверждают теорию о гибкости выбора пассажиром ПЭП;
- определены пороговые значения времени ожидания пассажиров в пригородном сообщении и разработан порядок определения величины пассажиропотока в зависимости от формируемого расписания движения ПЭП;
- разработан алгоритм построения тактового графика движения ПЭП, проектируемых для участков инфраструктуры общего пользования в условиях дефицита пропускной способности;

– разработана оптимизационная экономико-математическая модель для построения схемы такта, которая отличается от текущих тем, что позволяет одновременно определять размеры движения, последовательность пропуска и режим остановок ПЭП, а также тем, что в целевой функции учитывается величина неосвоенного пассажиропотока.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке методологической базы в области организации пригородных перевозок, которая может стать основой для дальнейших научных исследований.

Практическая значимость работы состоит в том, что:

– предложенные критерии оценки качества построения графика движения ПЭП могут быть применены при комплексном сравнении вариантов графиков движения при проектировании и концептуальной проработке масштабных проектов развития транспортных систем;

– полученные зависимости подхода пассажиров позволяют моделировать процесс накопления пассажиропотока на остановочном пункте, более точно определять время ожидания и количество пассажиров, находящихся в ожидании. Данные можно использовать при расчете потребного количества турникетов на вход, билетных касс, вместимости залов ожидания и прочих пассажирских устройств;

– предложенный порядок оценки величины осваиваемого пассажиропотока и населенности ПЭП позволят принимать обоснованные решения при разработке и корректировке графиков движения поездов, направленные на обеспечение освоения пассажиропотока и равномерной загрузки ПЭП;

– разработанный алгоритм и принципы проектирования графиков движения могут быть применены в процессе построения тактовых графиков движения ПЭП;

– разработанная оптимизационная экономико-математическая модель расчета схемы такта позволит существенно упростить процесс проектирования тактовых графиков движения, а заложенные в модель принципы в перспективе позволят полностью автоматизировать процесс.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертации использовались методы анализа и синтеза, анкетирования, математической статистики, экономико-математические расчёты, генетический алгоритм оптимизации.

Положения, выносимые на защиту:

– критерии оценки качества построения графика движения ПЭП, отличающиеся от известных учетом потребностей всех участников перевозочного процесса, в том числе пассажиров и владельца инфраструктуры, и позволяющие производить комплексное сравнение проектных графиков;

– закономерности распределения пассажиров при подходе на посадку в ПЭП, отличающиеся от известных нелинейностью процесса накопления и позволяющие моделировать транспортные потоки на остановочных пунктах;

- порядок оценки величины неосвоенного пассажиропотока и населенности ПЭП, отличающийся от известных зависимостью величины пассажиропотока от расписания движения и позволяющий учитывать потребительские параметры качества формируемого расписания движения;

- алгоритм разработки графика движения, позволяющий проектировать тактовый график движения ПЭП на инфраструктуре общего пользования;

- оптимизационная экономико-математическая модель, позволяющая определять размеры движения, последовательность пропуска и режима остановок ПЭП в схеме такта, отличающаяся от известных учетом величины неосвоенного пассажиропотока и его распределения между ПЭП в зависимости от формируемого расписания.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается логически выстроенным процессом исследования, корректностью исходной информации и математических методов, применяемых для решения поставленных задач. Предложенные методы, алгоритмы и принципы рассмотрены в АО «МТ ППК» и используются при оптимизации расписания движения ПЭП. Центр по корпоративному управлению пригородным комплексом ОАО «РЖД» планирует использовать результаты диссертационного исследования при планировании и внедрении новых транспортных продуктов.

Основные положения работы были доложены и одобрены на заседаниях кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» (УТБиИС) Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ) в 2020–2023 гг., а также на конференциях:

- XIX Всероссийская научно-практическая конференция «Безопасность движения поездов», Москва, 2018 г.;

- Международная научно-практическая конференция, посвященная 125-летию университета «Академик Владимир Николаевич Образцов – основоположник транспортной науки», Москва, 2021 г.;

- Седьмая международная научно-практическая конференция «ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА: развитие в условиях глобальных изменений потоков», Ростов-на-Дону, 2023 г.;

- II Международная научно-практическая конференция «Кочневские чтения-2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог», Москва, 2023 г.

- Всероссийская научно-практическая конференция Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление, Екатеринбург, 2023 г.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (126 библиографических наименований) и восьми приложений. Общий объем с приложениями - 243 страницы. Диссертация содержит 62 рисунка и 49 таблиц. Объем приложений составляет 45 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, представлена общая характеристика проблемы, определены цели и основные задачи исследования.

В первой главе отмечена значимость железнодорожного транспорта в процессе формирования и устойчивого развития городских агломераций. Одной из целей формирования агломераций является достижение агломерационных эффектов – экономических и социальных выгод от создания высокой концентрации производственных и трудовых ресурсов. Городские агломерации являются центрами развития стран, регионов и территорий, а, следовательно, текущей задачей общества является создание условий для формирования и развития агломерационных связей между городами и регионами страны. В настоящее время именно отсутствие требуемого уровня качества транспортного обслуживания является сдерживающим фактором в становлении и развитии городских агломераций в России. В 21 веке пригородный комплекс железнодорожного транспорта является определяющим элементом в процессах становления и дальнейшего развития агломераций.

Деградация транспортных хозяйств в городах России, произошедшая в 90-х годах прошлого столетия, совпавшая с начавшейся массовой автомобилизацией населения, затронула не только наземный городской и пригородный пассажирский транспорт, но также и комплекс пригородных железнодорожных перевозок. В крупных транспортных узлах сократились размеры движения ПЭП по всем участкам, значительно упал пассажиропоток, произошло старение подвижного состава.

В последнее десятилетие в ряде регионов России прорабатывались и с различными эффектами реализовывались проекты развития комплекса пригородных и пригородно-городских железнодорожных перевозок. Самыми успешными стали МЦК и МЦД, реализованные в Московской агломерации. МЦК и МЦД – проекты развития пригородно-городских железнодорожных перевозок на кольцевом и диаметральном маршрутах в Центральном транспортном узле (ЦТУ), которые включают в себя увеличение размеров движения ПЭП, организацию тактового движения, тарифную и навигационную интеграцию с городским транспортом. Результатом данных мероприятий стал значительный рост пассажиропотока. Опыт других регионов оказался менее успешным. Особенности российской практики организации перевозок в пригородном железнодорожном сообщении, а также реализуемых проектов его развития, являются: низкие размеры движения, отсутствие единых подходов к формированию расписания движения ПЭП.

Анализ зарубежного опыта организации пригородных железнодорожных перевозок показал, что существуют общепринятые подходы к организации пригородных перевозок железнодорожным транспортом. Большинство транспортных систем, в независимости от интенсивности движения обеспечивают периодическое, повторяемое в течении суток расписание движения ПЭП.

Анализ динамики величины пассажиропотока с 2013 по 2021 гг. в ЦТУ по направлениям следования и их сопоставление с качественными и количественными внутренними и внешними преобразованиями позволил сделать вывод о том, что объемы перевозок пассажиров в пригородном сообщении зависят от параметров организации движения ПЭП, в том числе размеров движения и периодичности обращения ПЭП. Другими свойствами пассажиропотоков в пригородном сообщении являются неравномерность во времени и пространстве и гибкость в процессе подстраивания под расписание движения ПЭП.

Проведенный анализ показал, что пригородные железнодорожные перевозки в России обладают значительным и в настоящий момент нереализованным потенциалом. В целях повышения качества пригородных железнодорожных перевозок в России необходимо разработать новые подходы к планированию, оценке эффективности и организации движения ПЭП.

Анализ трудов учёных в области железнодорожных пригородных пассажирских перевозок показал, что в их работах были исследованы различные аспекты пригородных перевозок, начиная от нормирования и планирования эксплуатационной работы до принципов формирования пассажиропотоков. Однако в вопросах организации движения ПЭП существует ряд нерешённых задач в области влияния параметров расписания на величину пассажиропотока.

Во второй главе выполнена разработка принципов и критериев оценки качества построения графика движения ПЭП. Оценка качества построения графика движения ПЭП необходима для обеспечения возможности проведения сравнительного анализа различных вариантов графика движения поездов при проектировании и концептуальной проработке масштабных проектов развития транспортных систем, а также для возможности проведения ретроспективного анализа и оценки степени воздействия качества расписания на спрос.

Для оценки расписания движения ПЭП, определяющей целевое состояние комплекса пригородных железнодорожных перевозок, необходимо определить критерии оценки эффективности организации железнодорожных перевозок в пригородном сообщении. Подход к оценке эффективности перевозочной деятельности, определяемый прибылью компании перевозчика или удельными затратами на перевозку одного пассажира, не учитывают, что перевозки пассажиров в пригородном сообщении, за редким исключением, являются убыточными и субсидируются как государством через предоставление скидки за пользование инфраструктурой и применения нулевой ставки НДС, так и субъектами федерации в части компенсации выпадающих доходов перевозчиков. Приведенный выше подход определения эффективности является причиной значительного сокращения размеров движения и деградации пригородных железнодорожных перевозок по всей сети железных дорог России, за исключением ЦТУ.

Показателем эффективности организации пригородных железнодорожных перевозок, как на высокоинтенсивных, так и малоинтенсивных пригородных направлениях должны быть достигаемые социально-экономические эффекты, поэтому разрабатываемый подход к оценке расписания ПЭП должен быть

комплексным. Качество построения графика движения ПЭП может быть оценено набором показателей, характеризующим его общее качество для конечных потребителей транспортного продукта – пассажиров и других участников перевозочного процесса. Перечень целевых критериев представлен на рисунке 1.

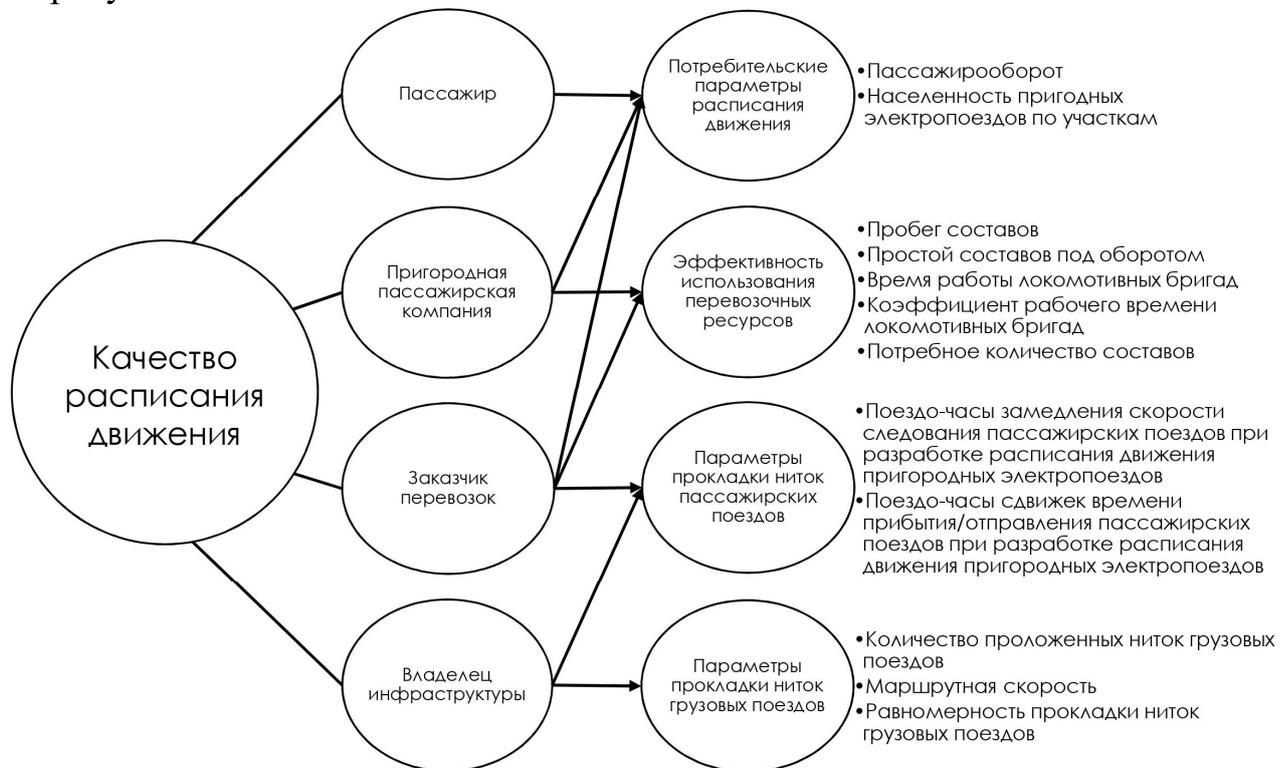


Рисунок 1 – Перечень критериев, определяющих привлекательность расписания движения ПЭП для всех участников перевозочного процесса

Потребительские параметры качества проектного графика движения ПЭП должны оцениваться через величину привлеченного пассажиропотока, которая зависит от качества построения графика движения ПЭП.

На основании сформированного перечня критериев, разработаны требования к расписанию движения и принципы проектирования графика движения ПЭП, среди которых стоит выделить требования к систематизации режимов движения и проектированию тактовых расписаний движения. Для определения величины пассажирооборота и населенности ПЭП требуется проведение исследования транспортного поведения пассажиров в пригородном сообщении.

В третьей главе проведено исследование транспортного поведения пассажиров в пригородном сообщении.

При решении оптимизационных задач организации пригородных перевозок принимаются допущения, в том числе интенсивность зарождения пассажиропотока принимается равномерной и неизменной в течении периода, а величина пассажиропотока постоянной и независимой от параметров организации пригородного сообщения. Анализ показал, что интенсивность подхода пассажиров неравномерна и пассажиры подстраиваются под расписание движения. Для уточнения принципов определения пассажирооборота,

населенности ПЭП и порядка расчета пассажиро-часов ожидания и в движении при построении оптимизационных моделей было проведено исследование подхода пригородных пассажиров на посадку в ПЭП.

Цель исследования заключается в определении закономерностей прибытия пригородных пассажиров на остановочные пункты. Для исследования использовались данные прохода пассажиров через турникеты на пассажирообразующих станциях Ленинградского направления ЦТУ (более 5,1 млн валидаций). Проходы по каждой станции были сегментированы с учетом пункта назначения (остановочные пункты были разбиты на зоны, соответствующие маршрутам движения ПЭП), дня недели (учитывались рабочий/выходной день) и тарифа (обычный/повышенный) и сопоставлены с действующим расписанием ПЭП для каждого сегмента данных (день недели, тариф).

При отправлении следующего ПЭП через незначительный интервал после отправления рассматриваемого (до 15 минут) искажаются параметры распределения, поэтому для аппроксимации функции учитывались только те статистические данные об проходах на посадку в ПЭП, после отправления которых следующий отправляется не ранее чем через 30 минут. На рисунке 2 представлены графики плотности вероятности количества пассажиров, подходящих на посадку в электропоезд за заданный интервал, для различных значений межпоездного интервала перед отправлением электропоезда.

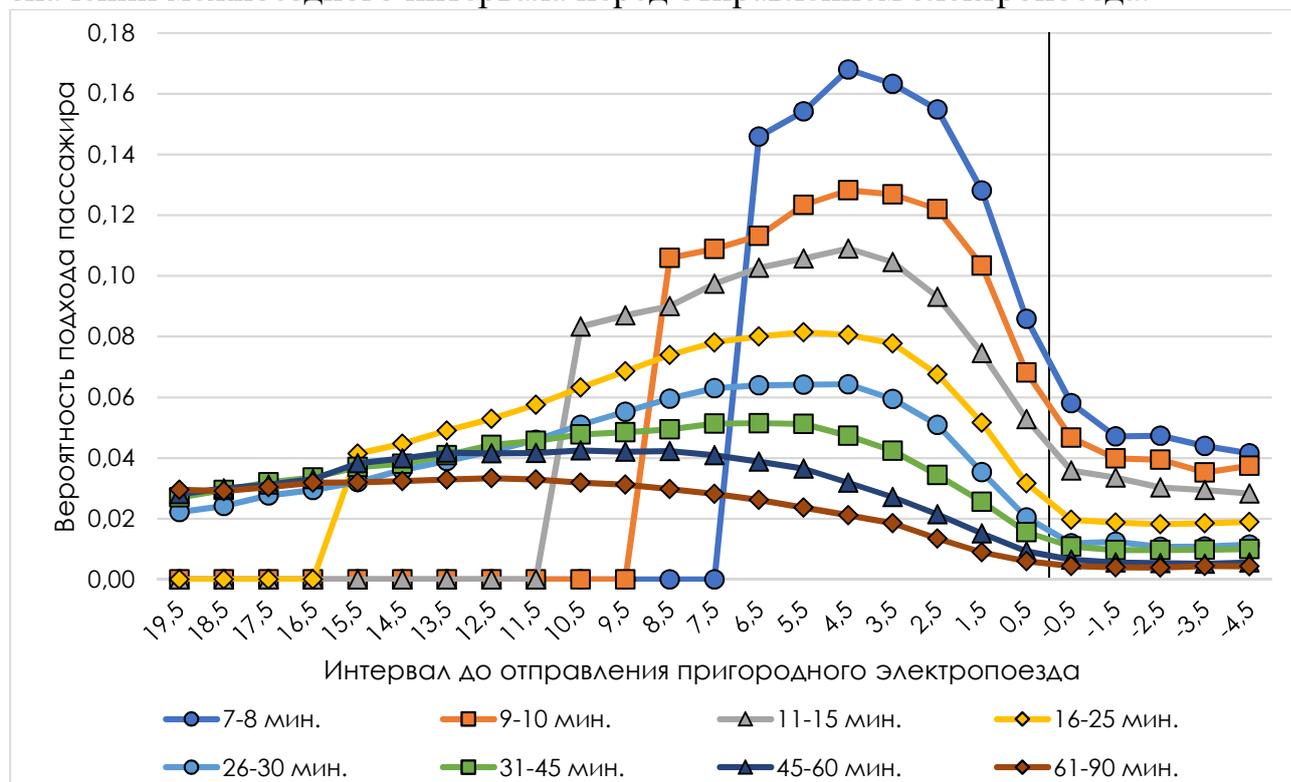


Рисунок 2 – Графики плотности вероятности количества пассажиров, подходящих на посадку в электропоезд за заданный интервал, для различных значений межпоездного интервала перед отправлением пригородного электропоезда, в ситуациях, при которых следующий ПЭП отправляется не ранее чем через 30 минут

Распределения имеют выраженный экстремум, который при уменьшении межпоездного интервала смещается ближе к оси Y , но при этом не достигает нулевого значения. Распределение является ассиметрично правосторонним. Необходимо отметить, что без учета опаздывающих пассажиров, оно определяется от 0 до бесконечности, что соответствует полубесконечному носителю распределения. Наиболее подходящими для аппроксимации являются гамма-распределение, логнормальное распределение и логлогистическое распределение.

Для оценки аппроксимирующих функций был проведен регрессионный анализ и подобраны параметры описанных распределений (оценка степени согласованности статистических данных и теоретических распределений проверялось по критерию χ^2 Пирсона). Плотность вероятности количества пассажиров, подходящих на посадку в электропоезд за заданный интервал, соответствует логлогистическому распределению с добавлением дополнительного параметра – коэффициента сдвига(k):

$$A_{\text{подх}}(t|t_{\text{отпр}}, a, \beta, k) = \frac{(\beta/a)((t_{\text{отпр}} - t + k)/a)^{\beta-1}}{(1 + ((t_{\text{отпр}} - t + k)/a)^\beta)^2} \quad (1)$$

для $t < t_{\text{отпр}} + k$; $a > 0$; $\beta > 0$; $k \in \mathbb{R}$

где $A_{\text{подх}}(t)$ – плотность вероятности количества пассажиров, подходящих на посадку в электропоезд за заданный интервал; $t_{\text{отпр}}$ – время отправления электропоезд, мин; a – параметр масштаба логлогистического распределения; β – параметры формы логлогистического распределения; k – коэффициент сдвига.

На рисунке 3 представлено сопоставление аппроксимированных с помощью подобранного распределения графиков и статистических гистограмм плотности вероятности количества пассажиров, подходящих на посадку в электропоезд за заданный интервал, при межпоездном интервале перед отправлением электропоезда 11-15, 26-30 и 61-90 минут и отправлением следующего не ранее чем через 30 минут после рассматриваемого.

Для определения зависимости переменных a, β, k от значений $i_{\text{до}}$ (интервал до отправления пригородного поезда) и $i_{\text{после}}$ (интервал после отправления пригородного поезда) был проведен регрессионный анализ для различных значений $i_{\text{после}}$ (более 30, от 10 до 30 и менее 10 минут). Полученные зависимости приведены в формулах 2-4.

$$\beta = 2,081 \quad (2)$$

$$k = \begin{cases} 2,22165 - 0,019588 \cdot i_{\text{после}} & \text{для } i_{\text{после}} < 133,421 \\ 0 & \text{для } i_{\text{после}} \geq 133,421 \end{cases} \quad (3)$$

$$a = 2,9678 \cdot Mo \quad (4)$$

где Mo – мода распределения подхода пассажиров на остановочный пункт для посадки в пригородный электропоезд, мин.

В исследовании был проведен анализ и построены графики, характеризующие значение моды распределения подхода пассажиров в зависимости от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда ($i_{\text{до}}$ и $i_{\text{после}}$).

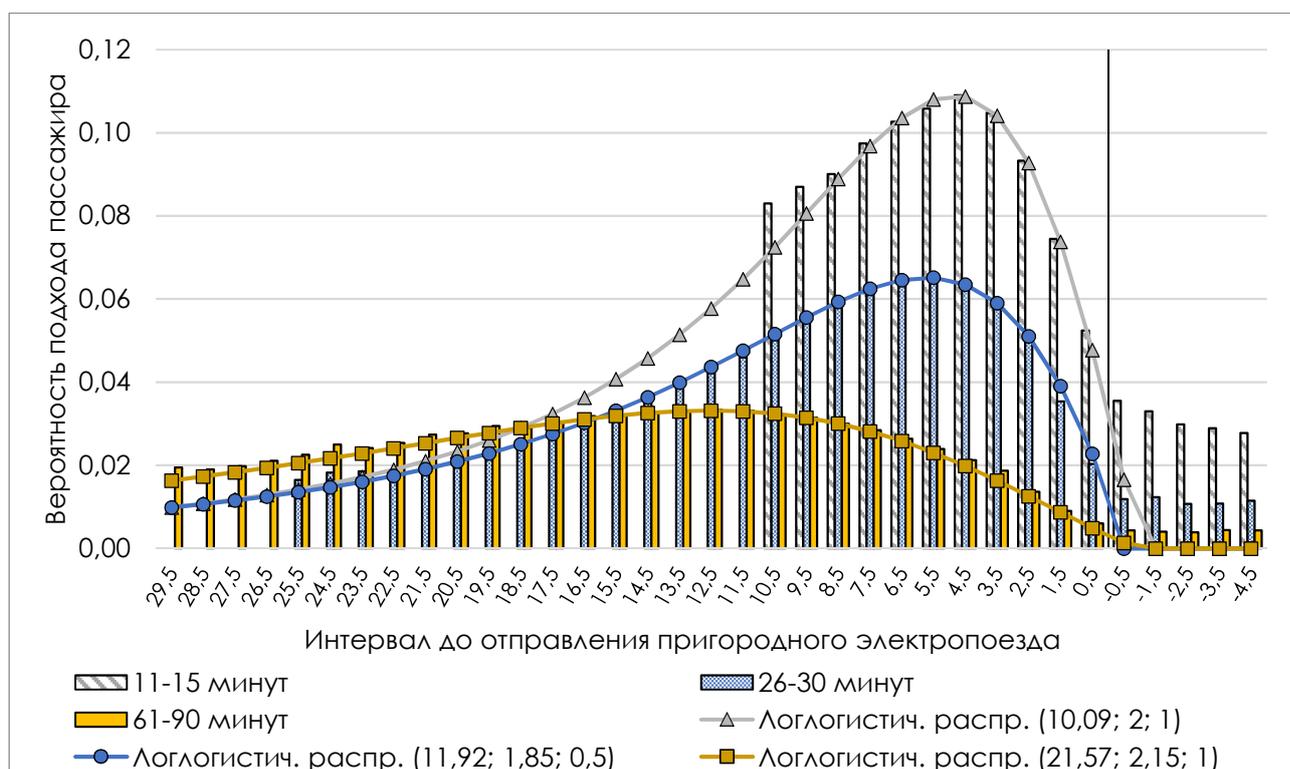


Рисунок 3 – Сопоставление аппроксимированных графиков и статистических гистограмм плотности вероятности количества пассажиров, подходящих на посадку в электропоезд за заданный интервал, при межпоездном интервале перед отправлением электропоезда 11-15, 26-30 и 61-90 минут и отправлением следующего не ранее чем через 30 минут после рассматриваемого

Моделирование процесса подхода пассажиров на остановочный пункт аппроксимированной функцией и сравнение с собранными эмпирически данными показало применимость полученных результатов, как для участков с низкой, так и высокой интенсивностью движения ПЭП. Полученные в результате исследования закономерностей подхода пассажиров на остановочные пункты ПЭП позволяют моделировать распределение подхода пассажиров на остановочный пункт в относительных величинах, но не дают оценки охвата и распределение пассажиропотока между ПЭП.

Для оценки доли охватываемого/привлекаемого пассажиропотока введен новый показатель – **охват корреспонденции пассажиропотока** – отношение совокупности пассажиров, совершающих поездку пригородным железнодорожным транспортом, относительно общего зарождающегося пассажиропотока для рассматриваемой корреспонденции. Охват корреспонденции пассажиропотока может оцениваться за сутки, определенный период суток или в момент времени. Охват корреспонденции в зависимости от расписания движения ПЭП в разные моменты времени может принимать значения от 0 до 1, где 1 будет означать, что весь зарождающийся пассажиропоток за рассматриваемый период будет осваиваться пригородным железнодорожным транспортом. Охват корреспонденции пассажиропотока приведен на рисунке 4.

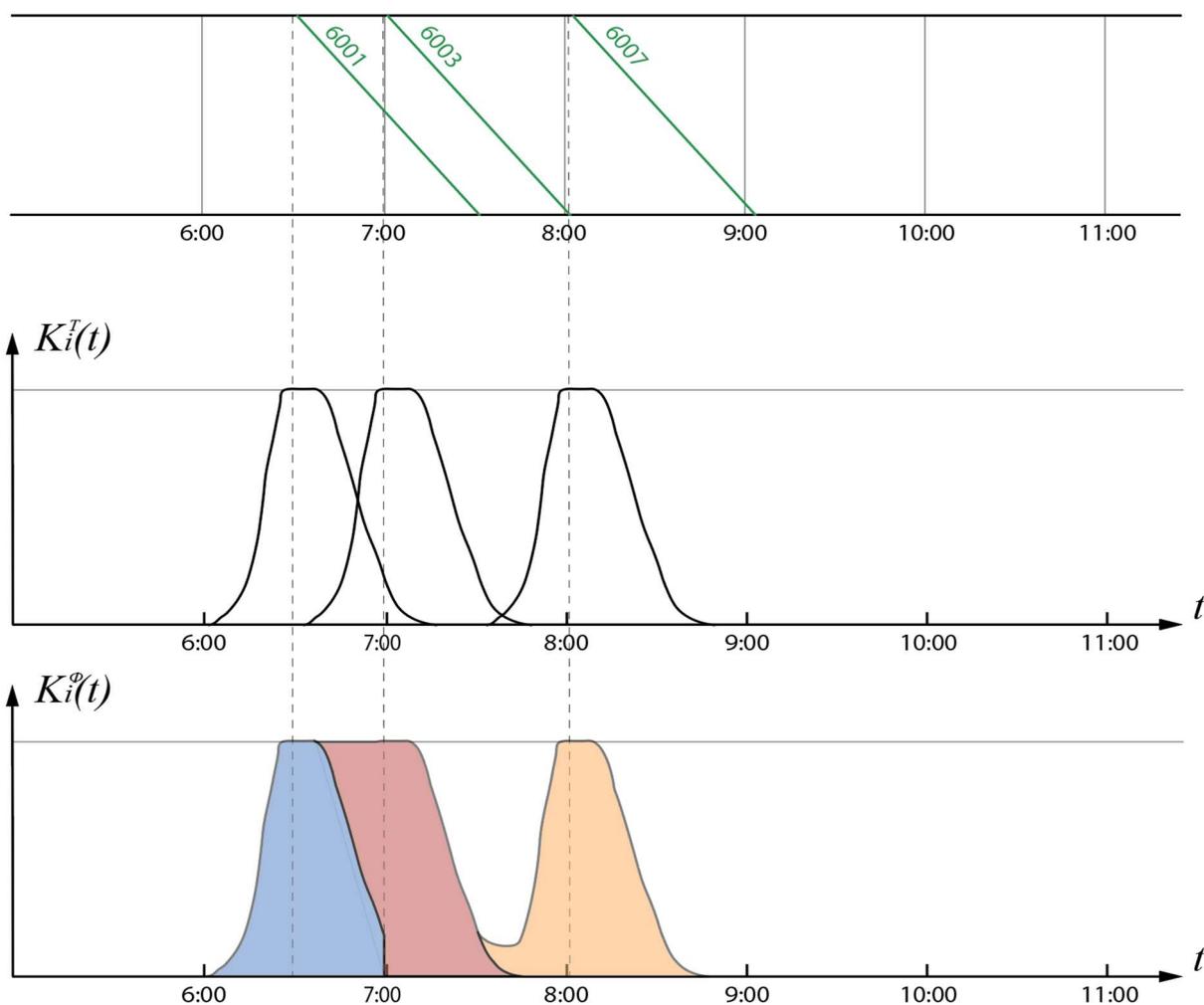


Рисунок 4 – Охват корреспонденции пассажиропотока

С учетом того, что пассажиры подстраиваются под расписание движения ПЭП, охват пассажиропотока определяется для каждого ПЭП отдельно. При высокой интенсивности движения ПЭП пассажирам может быть удобно воспользоваться сразу несколькими поездами, но для совершения поездки они выберут наиболее подходящий. Поэтому необходимо отдельно выделить охват пассажиропотока **теоретический** $K_i^T(t)$, не учитывающий охват корреспонденции пассажиропотока другими ПЭП, и **фактический** $K_i^\phi(t)$, определяемый с учетом привлечения пассажиров другими ПЭП. Результирующий охват $K(t)$, является суммой фактических значений охвата пассажиропотока ПЭП, обслуживающими корреспонденцию. Значение результирующего охвата не может быть больше единицы.

Выбор вида транспорта и способа совершения поездки для пассажира складывается из множества факторов: время в пути, стоимость поездки, воспринимаемый уровень комфорта поездки, количество совершаемых пересадок, расстояние пешего подхода до начальной/конечной станции, а также в пунктах пересадки и другие. Ускорение следования ПЭП увеличивает его привлекательность для пассажиров и, следовательно, увеличивает охват корреспонденции (рисунок 5).

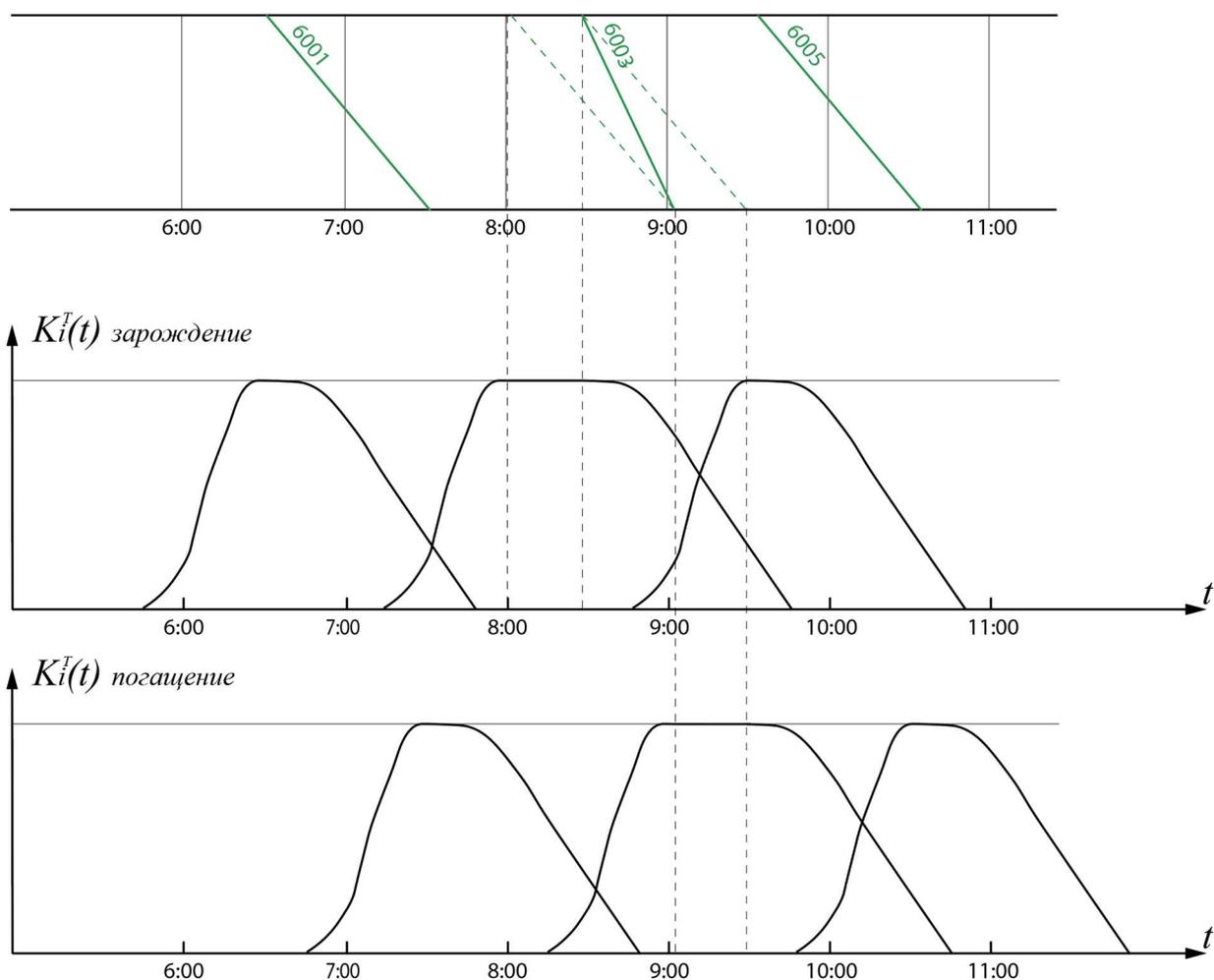


Рисунок 5 – Охват корреспонденции пассажиропотока в первой половине дня при ускорении следования ПЭП

Для определения функции охвата корреспонденции пассажиропотока в зависимости от расписания движения ПЭП было проведено анкетирование пассажиров, которое позволило установить пороговое значение времени ожидания и возможности подстраивания под расписание движения ПЭП. Анализ обработанных данных анкетирования показал, что основными параметрами, оказывающими влияние на то, насколько пассажиры готовы подстраиваться под расписание, являются воспринимаемый межпоездной интервал на маршруте следования и продолжительность поездки в ПЭП. На рисунке 6 представлен охват корреспонденций пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени, в единицу времени относительно времени отправления/прибытия ПЭП в зависимости от воспринимаемого межпоездного интервала.

Чем больше значение воспринимаемого интервала для пассажиров, тем большее число пассажиров готово подстраиваться под расписание движения, т.е. прибывать в пункт назначения заранее, либо опаздывать относительно первоначально установленного времени прибытия (рисунок 6). Охват корреспонденции ПЭП можно условно разделить на два периода: до и после отправления ПЭП, один из которых является **преимущественным**, в котором

пригородный поезд является приоритетным для зарождающегося пассажиропотока, второй – второстепенным. В первой половине дня преимущественным для освоения зарождающегося пассажиропотока является период после отправления ПЭП (в таком случае пассажиры прибывают вовремя или ранее в пункт назначения), а второстепенным – до отправления ПЭП. Во второй половине дня преимущественным периодом освоения пассажиропотока является период до отправления ПЭП.

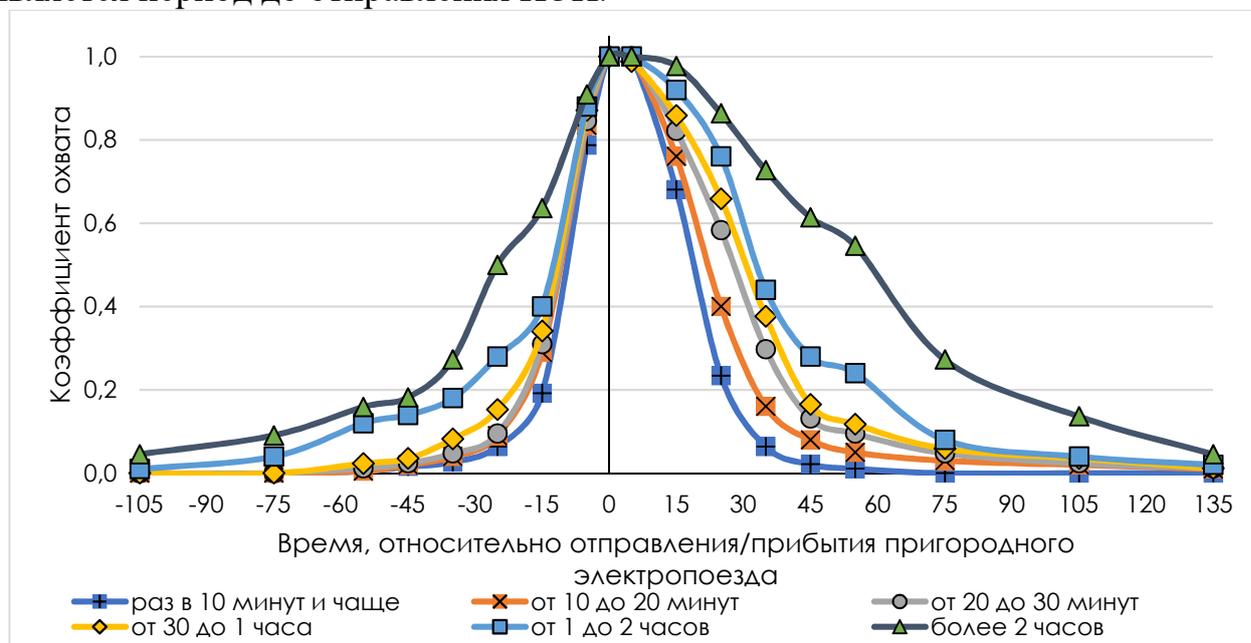


Рисунок 6 – Охват корреспонденции пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени в зависимости от воспринимаемого интервала движения ПЭП

Для аппроксимации полученных зависимостей выбрана кумулятивная функция логнормального распределения. С учетом незначительного количества респондентов достоверность подбираемой функции, а также ее аргументов может быть поставлена под сомнение.

$$k(t)_{\text{пр}i}^T = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t-t_i) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} f \left(\delta \cdot (t - t_i) - \frac{(1 - \varepsilon)}{2} \cdot t_i^{\text{уск}}, \sigma_3(I_{\text{воспр}}), \mu_3(I_{\text{воспр}}) \right) dt \quad (5)$$

$$k(t)_{\text{вт}i}^T = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t_i-t) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} f \left(\delta \cdot (t_i - t) - \frac{(1 + \varepsilon)}{2} \cdot t_i^{\text{уск}}, \sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}), \mu_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}) \right) dt \quad (6)$$

$$f(t, \sigma, \mu) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{t} \cdot e^{-\frac{(\log(t) - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

$$\delta = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{ый приг. поезд проложен в первой половине дня} \\ -1, & \text{если } i - \text{ый приг. поезд проложен во второй половине дня} \end{cases}$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если определяется охват зарождаемого пассажиропотока} \\ -1, & \text{если определяется охват погашаемого пассажиропотока} \end{cases}$$

где $k(t)_{\text{пр}i}^T$ – теоретический охват i – ым ПЭП корреспонденции пассажиропотока в момент времени t в преимущественный период охвата; $k(t)_{\text{вт}i}^T$ – теоретический охват i – ым ПЭП корреспонденции пассажиропотока в

момент времени t во второстепенный период охвата; $t_i^{\text{уск}}$ – время ускорения i – ого ПЭП относительно времени хода со всеми остановками для рассматриваемой корреспонденции; t_i – время отправления/прибытия i – ого ПЭП, мин; $I_{\text{воспр}}$ – средний воспринимаемый межпоездной интервал для рассматриваемой корреспонденции в рассматриваемый период суток, мин; μ – параметр логнормального распределения (математическое ожидание натурального логарифма нормально распределенной случайной величины); σ – параметр логнормального распределения (среднеквадратическое отклонение натурального логарифма нормально распределенной случайной величины).

Изменяемыми параметрами распределения являются μ и σ , которые зависят от воспринимаемого межпоездного интервала. Значения подбираемых параметров увеличиваются при увеличении значения воспринимаемого межпоездного интервала. Регрессионным анализом были установлены зависимости изменяемых переменных от воспринимаемого интервала.

$$\mu_z(I_{\text{воспр}}) = 2,494 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,08361} \quad (8)$$

$$\sigma_z(I_{\text{воспр}}) = 0,398 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,07163} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}) = 1,783 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,09417} \quad (10)$$

$$\sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}) = 0,563 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,0921} \quad (11)$$

Для определения фактического значения коэффициента охвата, т.е. с учетом охвата дублирующими ПЭП были приняты допущения: 1) пассажиропоток, зарождающийся в диапазоне между последовательно следующими ПЭП, распределяется строго между ними; 2) приоритет при распределении пассажиропотока между ПЭП в первой половине дня имеет ПЭП, прибывающий ранее, а во второй половине дня, отправляющийся позже; 3) результирующий охват пассажиропотока в момент времени является максимальным из значений теоретических охватов, а не их суммой.

Иллюстрация соотношения теоретического и фактического охвата корреспонденции пассажиропотока при 30 минутном тактовом движении ПЭП приведена на рисунках 7 и 8. Фактический охват i – ым ПЭП в j – ой корреспонденции пассажиропотока в t – ый момент времени определяется по следующим формулам:

$$k(t)_{\text{пр}i j}^{\Phi} = k(t)_{\text{пр}i j}^{\text{т}} \quad (12)$$

$$k(t)_{\text{вт}i j}^{\Phi} = \begin{cases} k(t)_{\text{вт}i j}^{\text{т}} - k(t)_{\text{пр}i+\delta j}^{\text{т}}, & \text{если } K(t)_{\text{вт}i j}^{\text{т}} \geq K(t)_{\text{пр}i+\delta j}^{\text{т}} \\ 0, & \text{если } K(t)_{\text{вт}i j}^{\text{т}} < K(t)_{\text{пр}i+\delta j}^{\text{т}} \end{cases} \quad (13)$$

где $k(t)_{\text{пр}i j}^{\Phi}$ – фактический охват i – ым ПЭП в j – ой корреспонденции пассажиропотока в момент времени t в преимущественный период охвата; $k(t)_{\text{вт}i j}^{\Phi}$ – фактический охват i – ым ПЭП в j – ой корреспонденции пассажиропотока в момент времени t во второстепенный период охвата.

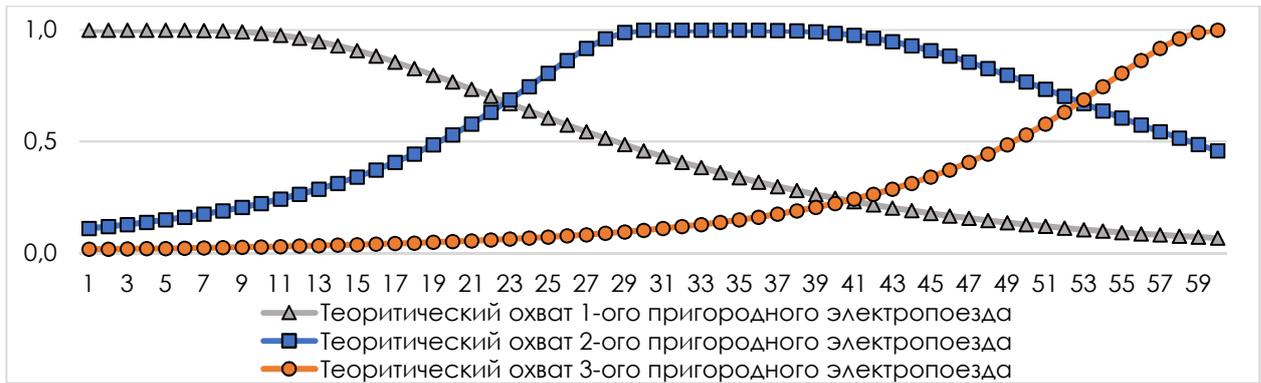


Рисунок 7 – Теоритический охват корреспонденции пассажиропотока ПЭП

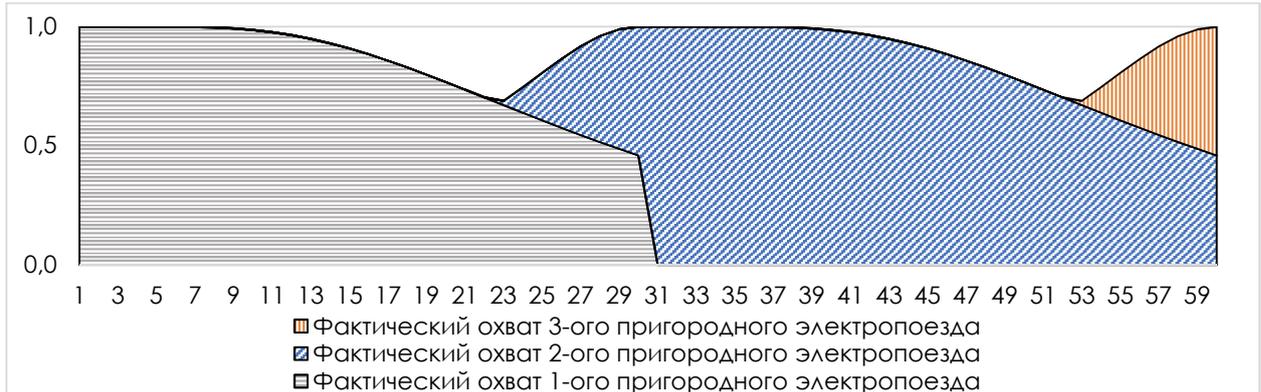


Рисунок 8 – Фактический охват корреспонденции пассажиропотока ПЭП

Количество пассажиров в j – ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в i – ым ПЭП, определяется по следующим формулам:

$$A_i^j = A_{\text{пр}i}^j + A_{\text{вт}i}^j \quad (14)$$

$$A_{\text{пр}i}^j = \int_{t_{i+\delta \cdot (\delta-1)/2}}^{t_{i+\delta \cdot (\delta+1)/2}} I(t)_{\text{зарожд.}j}^{\text{корр.}} \cdot k(t)_{\text{пр}i}^{\Phi} dt \quad (15)$$

$$A_{\text{вт}i}^j = \int_{t_{i-\delta \cdot (\delta+1)/2}}^{t_{i-\delta \cdot (\delta-1)/2}} I(t)_{\text{зарожд.}j}^{\text{корр.}} \cdot k(t)_{\text{вт}i}^{\Phi} dt \quad (16)$$

где A_i^j – количество пассажиров в j – ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в i – ом ПЭП, пасс.; $A_{\text{пр}i}^j$ – количество пассажиров в j – ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в i – ом ПЭП, охваченных в преимущественный период, пасс.; $A_{\text{вт}i}^j$ – количество пассажиров в j – ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в i – ом ПЭП, охваченных во второстепенный период, пасс.

Интенсивность зарождения пассажиропотока необходимо определять, как скользящую среднюю фактической интенсивности подхода пассажиров, а периодом усреднения предлагается принять величину среднего межпоездного интервала на участке.

$$I(t)_{\text{зарожд.}} = \int_{t-T_{\text{пер}}/2}^{t+T_{\text{пер}}/2} I_{\text{сущ}}(t) dt / T_{\text{пер}} \quad (17)$$

где $I(t)_{\text{зарожд.}}$ – интенсивность зарождающегося пассажиропотока, пасс./мин;

$I_{\text{сущ}}(t)$ – интенсивность прохода пассажиров через турникеты в единицу времени, пасс./мин.;

$T_{\text{пер}}$ – значение применяемого/среднего межпоездного интервала, мин.

Разработанные выше подходы позволяют производить моделирование пассажиропотоков в пригородном железнодорожном сообщении по следующему алгоритму:

1. Определение существующей интенсивности зарождения пассажиропотока для каждой корреспонденции рассматриваемого пригородного направления, его корректировка с учетом оценки не осваиваемого пассажиропотока, а в случае качественных или количественных изменений предлагаемого транспортного продукта (тариф, скорость сообщения, замена подвижного состава) – прогнозирование его перспективной величины.

2. Определение охвата корреспонденций и распределение охватываемого пассажиропотока между ПЭП на основании проектного графика движения;

3. Определение интенсивности подхода пассажиров на остановочный пункт на основании определенного осваиваемого пассажиропотока и его распределении между ПЭП.

В четвертой главе описаны предложенный алгоритм проектирования тактового графика движения и разработанная оптимизационная модель для построения схемы такта.

Тактовый график движения ПЭП – график, в котором на всем протяжении пригородного направления обеспечивается повторяемое в течение суток расписание движение ПЭП через установленный период такта. Для обеспечения перевозок пассажиров в пиковые периоды суток в дополнение к разработанному повторяемому расписанию назначаются дополнительные ПЭП, обеспечивающие освоение пассажиропотока.

Особенностью проектирования графика движения поездов с тактовым расписанием движения ПЭП является предшествующий разработке графика этап – разработка схем такта ПЭП. **Схема такта пригородных электропоездов** – последовательность пропуска ПЭП с указанием маршрута следования и режима остановок в течение периода такта. Механика проектирования графика движения поездов с тактовым расписанием движением ПЭП заключается в **тиражировании** разработанных схем такта ПЭП в течение периода суток.

От разработанной схемы такта ПЭП зависят параметры качества организации движения ПЭП, поэтому схема такта должна обеспечивать: освоение зарождающегося пассажиропотока; обеспечение комфортной поездки пассажиров (не превышение допустимого уровня населенности ПЭП); минимизацию пассажиро-часов в движении и ожидании; минимизацию общего количества составов ПЭП в обороте; минимизацию эксплуатационных расходов; наличие слотов для пропуска пассажирских и грузовых поездов.

В работе предлагается новый подход к разработке схемы такта ПЭП, в которой размеры движения ПЭП по участку не являются исходными данными. Дополнительными управляемыми переменными в предлагаемой постановке задачи являются: последовательность пропуска, режим остановок и время

отправления ПЭП в схеме такта. Целевая функция в случае разработки схемы такта ПЭП в одном направлении принимает следующий вид:

$$\left(\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}} - \sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}(X) \right) \cdot C_{\text{пасс-км}} + \sum NL_{\text{движ}}(X) \cdot m_{\text{ваг}} \cdot C_{\text{ваг-км}} + \sum NT_{\text{движ}}(X) \cdot C_{\text{поезд-час}} \rightarrow \min \quad (18)$$

где $\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}}$ – максимальный достигаемый пассажирооборот в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении за период такта, пасс-км; $\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}$ – привлекаемый пассажирооборот в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении за период такта, пасс-км; $C_{\text{пасс-км}}$ – стоимостная оценка привлеченного пассажира, руб/пасс.-км; $\sum NL_{\text{движ}}$ – суммарные поезд-км движения ПЭП в схеме такта, поезд-км; $m_{\text{ваг}}$ – количество вагонов в составе ПЭП, ваг/поезд; $C_{\text{ваг-км}}$ – расходная ставка на 1 ваг-км в пригородном сообщении, руб/ваг-км; $\sum NT_{\text{движ}}$ – суммарные поезд-часы ПЭП в движении в схеме такта, поезд-час; $C_{\text{поезд-час}}$ – расходная ставка на 1 поезд-час в пригородном сообщении, руб/поезд-час; X – схема такта ПЭП.

Схема такта ПЭП характеризуется следующими параметрами:

$$X = \{m_i; t_{\text{приб}}^r; t_{\text{отпр}}^r; o_i^p\} \quad (19)$$

где m_i – маршрут следования i – ого ПЭП; $t_{\text{приб}}^r$ – время прибытия i – ого ПЭП на головную станцию полигона, мин; $t_{\text{отпр}}^r$ – время отправления i – ого ПЭП от головной станции полигона, мин; o_i^p – булева переменная, характеризующая остановку i – ого ПЭП на станции или участке p .

Ограничения задачи являются: межпоездной интервал следования ПЭП по участку и допустимая населенность составов ПЭП.

$$A_i^{p_{\text{уч}}} \leq a \cdot k_{\text{исп}}^{p_{\text{уч}}} \quad \forall i; \forall p_{\text{уч}} \quad (20)$$

где $A_i^{p_{\text{уч}}}$ – населенность i – ого ПЭП на $p_{\text{уч}}$ – ом участке, пасс.; a – расчётная вместимость ПЭП, пасс.; $k_{\text{исп}}^{p_{\text{уч}}}$ – коэффициент использования вместимости на $p_{\text{уч}}$ – ом участке.

$$T_{\text{приб}}^p \leq T_{\text{приб}}^p - I_{\text{приб}} \quad \forall i; \forall p \quad (21)$$

$$T_{\text{отпр}}^p \leq T_{\text{отпр}}^p - I_{\text{отпр}} \quad \forall i; \forall p \quad (22)$$

где $T_{\text{приб}}^p$ – время прибытия i – ого ПЭП на станцию p , мин; $T_{\text{отпр}}^p$ – время отправления i – ого ПЭП со станции p , мин; $I_{\text{приб}}$ – интервал попутного прибытия, мин; $I_{\text{отпр}}$ – интервал попутного отправления, мин;

Исходными данными для задачи являются: полигон, его техническое оснащение, расположение зонных станций, перегонное время хода и интенсивность зарождения пассажиропотока для каждой корреспонденции, задаваемая как функция, либо как постоянное в течении периода число, принимаемое как допущение.

Апробация подхода выполнена при расчете схемы такта утреннего пикового периода в направлении к Москве для Рижского направления ЦТУ. Для рассматриваемого участка была создана оптимизационная модель, в которой в зависимости от схемы такта ПЭП определяется величина осваиваемого

пассажиропотока и его распределение между ПЭП. Период такта принят 60 минут. Значения базовых расходных ставок на техническое обслуживание, управление и эксплуатацию приняты равными текущим для ЭГ2Тв. Стоимость неосвоенного пасс-км в пригородном сообщении принята равной стоимости тарифа 1 км поездки для пассажира. Интенсивность зарождающегося пассажиропотока для каждой корреспонденции принята постоянной.

Определение схемы такта в разработанной оптимизационной модели осуществляется с помощью генетического алгоритма оптимизации. Данный инструмент не позволяет найти глобальный оптимум, но при этом находит рациональное решение, удовлетворяющее заданным ограничениям. При разработке схемы такта в разработанной модели можно задавать соответствующие ограничения на занятие свободных позиций в схеме как на всем, так и на отдельных участках, а также установить допустимый уровень населенности составов ПЭП на различных участках.

Для апробации модели был произведен расчет двух вариантов схем:

1) Без ограничений на использование слотов для пропуска ПЭП, но с ограничением населенности ПЭП на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 пассажиров, что соответствует вместимости электропоезда ЭП2Д с учетом стоящих пассажиров при плотности 3 чел./м² и ограничением населенности ПЭП на участке Стрешнего – Москва не более 1172 пассажиров, что соответствует количеству сидячих мест в электропоезде ЭП2Д.

2) С ограничением на использование слотов Н6 и Н8 на участке Стрешнево – Москва и с ограничением населенности на участке Нахабино – Москва не более 1694 пассажиров (в действующем расписании конечной станцией маршрутов ПЭП номер 6506 и 6404 является станция Стрешнево. При добавлении в модель ограничения по использованию слотов для пропуска ПЭП по участку Стрешнево – Москва невозможно обеспечить населенность ПЭП не более 1172 на данном участке).

Полученные варианты схем пропуска обеспечивают снижение значения целевой функции относительно существующего варианта расписания. Снижение происходит за счет роста операционной прибыли, за счет снижения доли неосвоенного пассажирооборота (для первого варианта на 4,13%, для второго на 4,05%). Рост пассажирооборота позволяет компенсировать увеличивающиеся эксплуатационные затраты (сервисное обслуживание, управление и эксплуатацию). Снижение операционных затрат для первого варианта схемы такта составляет на 39,8 тыс. рублей (14,64%) за один час пиковых перевозок по направлению в центр, для второго варианта организации 38,3 тыс. рублей (14,09%). Техничко-экономическое сравнение разработанных вариантов схем такта ПЭП с существующим расписанием приведено в таблице 1.

Результат разработки схемы такта пригородных поездов на Рижском направлении ЦТУ в пиковый период показывают работоспособность и эффективность разработанной оптимизационной модели для определения размеров движения, последовательности пропуска и режима остановок ПЭП. Предложенный подход позволяет обеспечить проектирование более клиентоориентированного расписания движения ПЭП.

Таблица 1 – Техничко-экономическое сравнение разработанных вариантов схем такта ПЭП

Показатель	Существующее расписание	Вариант 1	Вариант 2
Населенность пригородных электропоездов по участкам	Населенность пригородных поездов превышает допустимый уровень	Схема такта обеспечивает пассажирам проезд сидя на участке Стрешнего – Москва и в комфортных условиях стоя на участке Нахабино – Стрешнево	Схема такта обеспечивает пассажирам проезд в комфортных условиях стоя на участке Нахабино – Москва
Неосвоенный пассажиропоток	388 пасс./час	148 пасс./час	150 пасс./час
Неосвоенный пассажирооборот	27 211 пасс.-км/час	7 096 пасс.-км/час	7508 пасс.-км/час
Вагоно-км работа	6 147 ваг-км/час	6 911 ваг-км/час	6977,3 ваг-км/час
Поездо-час в движении	13,91 поезде-час/час	15,33 поезде-час/час	14,93 поезде-час/час
Сервисное обслуживание (ТО, ТР, КР)	144 391 руб/час	161 310 руб/час	162 850 руб/час
Управление и эксплуатация	45 309 руб/час	49 389 руб/час	48 101 руб/час
Недополученный доход от не перевезённого пассажиропотока	81 225 руб/час	21 289 руб/час	22 523 руб/час
Целевая функция	271 762 руб/час	231 988 руб/час	233 474 руб/час
Экономия операционных затрат, руб		39 774 руб/час	38 288 руб/час
Экономия операционных затрат, %		14,64%	14,09%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Выполнен анализ отечественного и зарубежного опыта работы пригородного железнодорожного транспорта, который показал существенный потенциал развития хозяйства пригородных перевозок в России. Обоснована необходимость поиска новых подходов к организации движения пригородных электропоездов.

2. Сформированы критерии оценки качества построения графика движения пригородных электропоездов. Определение потребительских параметров качества расписания необходимо оценивать уровнем охвата реально достижимого объема перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении, который зависит от расписания движения пригородных электропоездов.

3. Определены закономерности распределения подхода пассажиров на посадку в зависимости от расписания движения пригородных электропоездов, а также выбрана функция, описывающая данное распределение. В зависимости от параметров расписания мода распределения подхода пассажиров находится в диапазоне от 3 до 15 минут до отправления пригородного электропоезда. Результаты исследования интенсивности подхода пассажиров на посадку в пригородные электропоезда подтвердили гипотезу о гибкости выбора пассажира пригородного электропоезда.

4. Определены пороговые значения времени ожидания и возможности подстраивания пассажиров под график движения пригородных электропоездов. Определена функция охвата корреспонденции пассажиропотока пригородным электропоездом в зависимости от воспринимаемого интервала.

5. Разработан порядок оценки величины неосвоенного пассажиропотока и населенности пригородных электропоездов в зависимости от расписания движения. Тактовый график движения пригородных электропоездов с 10 минутным межпоездным интервалом обеспечивает 100% освоение зарождающегося пассажиропотока, 30 минутный – 91%, 60 минутный – 74%.

6. Разработан алгоритм построения тактового графика движения пригородных электропоездов. Алгоритм проектирования тактового графика заключается в предварительной разработке схем такта пригородных электропоездов и дальнейшем их тиражировании в течении суток.

7. Разработана оптимизационная экономико-математическая модель для расчета размеров движения, последовательности пропуска и режима остановок в схеме такта, определяющая величину неосвоенного пассажиропотока и населенность пригородных электропоездов в зависимости от формируемого расписания движения.

8. Выполнена апробация экономико-математической модели на примере Рижского направления ЦТУ. Определены варианты пропуска пригородных электропоездов в пиковый период по направлению к центру для различных вариантов задаваемых ограничений. Рассчитанный вариант схемы такта пригородных поездов требует увеличения эксплуатационных затрат, но является экономически оправданным для перевозчика за счет обеспечения роста пассажиропотока (на 4,13%) и, следовательно, увеличения его доходов. Операционные затраты для перевозчика снизятся на 14,64% или 38,3 тыс. рублей за один час пиковых перевозок.

9. Рекомендуются применение разработанных подходов и методов при построении нормативных графиков движения поездов и проработке проектов развития пригородных перевозок в России.

10. Перспективой дальнейшей разработки темы является развитие методики оценки охвата пассажиропотока в зависимости от формируемого расписания движения с учетом дополнительных параметров, таких как скорость сообщения, стоимости поездки и других неучтенных факторов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

а) в рецензируемых научных изданиях:

1. Калинин, К. А. Сравнительный анализ методик контроля оплаты проезда в пригородных поездах / К. А. Калинин, П.А. Кузин, Е.П. Прошутинский, А. А. Бакин // Экономика железных дорог. – 2020. – № 7. – С. 64-72.

2. Колин, А. В. Специализация главных путей на многопутных железнодорожных участках в крупных транспортных узлах / А. В. Колин, А. А. Бакин, А. М. Насыбуллин // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 3(87). – С. 56-62.

3. Колин, А. В. Подходы к повышению пропускной способности тупиковых пассажирских станций / А. В. Колин, А. А. Бакин // Транспорт Урала. – 2021. – № 3(70). – С. 28-32.

4. Вакуленко, С. П. О необходимости выбора параметров грузовых поездов, пропускаемых по головным участкам крупных транспортных узлов, в условиях высокой интенсивности движения пригородных и пригородно-городских электропоездов / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, А. А. Бакин, А.М. Насыбуллин, Л.Р. Айсина// Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 5(89). – С. 31-36.

5. Бакин, А. А. Исследование интенсивности подхода пассажиров на остановочные пункты пригородных электропоездов / А. А. Бакин, С. П. Вакуленко // Экономика железных дорог. – 2023. – № 2. – С. 54-64.

6. Бакин, А. А. Исследование пороговых значений времени ожидания пригородного электропоезда / А. А. Бакин // Экономика железных дорог. – 2023. – № 3. – С. 25-35.

7. Бакин, А. А. Метод разработки схемы такта пригородных электропоездов с применением генетического алгоритма / А. А. Бакин // Экономика железных дорог. – 2023. – № 6. – С. 62-73.

8. Бакин, А. А. Исследование параметра интенсивности накопления пригородных пассажиров на остановочных пунктах в ожидании электропоезда / А. А. Бакин, С. П. Вакуленко // Наука и техника транспорта. – 2023. – № 3. – С. 26-36.

б) в других изданиях и материалах конференций:

9. Айсина, Л. Р. Принципы расположения остановочных пунктов пригородно-городских железнодорожных линий с учётом мировых тенденций развития пассажирских транспортных сетей / Л. Р. Айсина, А. А. Бакин, А. В. Колин // Устойчивое развитие территорий: Сборник докладов II-ой Международной научно-практической конференции, Москва, 20–21 мая 2019 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 183-186.

10. Вакуленко, С.П. Московский транспортный узел: перспективы развития / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Д.Ю. Роменский, Л.Р. Айсина, А. А. Бакин, П. А. Кузин, К. А. Калинин ; Российский университет транспорта (МИИТ). Том Часть III. – Москва : Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2020. – 208 с.

11. Бакин, А. А. Выбор технологии организации сортировочной работы по формированию - расформированию местных грузовых поездов в Центральном транспортном узле в условиях интенсификации пригородно-городского движения / А. А. Бакин, А. В. Колин // Фёдор Петрович Кочнев - выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : Труды международной научно-практической конференции, Москва, 22–23 апреля 2021 года / Отв. редактор А.Ф. Бородин, сост. Р.А. Ефимов. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 52-59.

12. Бакин, А. А. Принципы организации движения пригородно-городских поездов на пригородных направлениях с высокой интенсивностью движения / А.

А. Бакин // Академик Владимир Николаевич Образцов - основоположник транспортной науки: труды международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию университета, Москва, 22 октября 2021 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – С. 49-55.

13. Бакин, А. А. Ретроспектива размеров движения пригородных электропоездов в крупных транспортных узлах / А. А. Бакин // Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков : Сборник научных трудов VII международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–02 февраля 2023 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 48-52.

14. Колин, А. В. Интенсификация пригородно-городских железнодорожных пассажирских перевозок в Волгоградском транспортном узле / А. В. Колин, А. А. Бакин, П. А. Красильников, П. В. Рыбаков // Транспорт и логистика: Развитие в условиях глобальных изменений потоков : Сборник научных трудов VII международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–02 февраля 2023 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 145-149.

15. Бакин, А. А. Формирование перечня показателей, определяющих качество расписания движения пригородных поездов / А. А. Бакин // Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 18 мая 2023 года. Том Выпуск 7 (255). – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 172-175.

Бакин Алексей Алексеевич

МЕТОД РАЗРАБОТКИ ТАКТОВОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ

2.9.4. Управление процессами перевозок
(технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать «9» января 2024 г. Заказ № _____ Формат 60x90/16
Объем 1,5 усл. п.л. Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9,
Типография Юридического института РУТ (МИИТ)