

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет транспорта»  
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи



БАКИН АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**МЕТОД РАЗРАБОТКИ ТАКТОВОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ  
ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ**

2.9.4. Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
Кандидат технических наук, профессор  
Вакуленко Сергей Петрович

Москва – 2023

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение.....	5
1. Теория и практика организации железнодорожных пригородных перевозок и освоения пассажиропотоков в крупных агломерациях России .....	12
1.1.Значение транспорта в формировании городских агломераций.....	12
1.2.Анализ отечественного и зарубежного опыта организации пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении.....	17
1.3.Анализ пассажиропотоков систем пригородных железнодорожных перевозок в городских агломерациях.....	27
1.4.Анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов в области организации пригородных перевозок .....	36
Выводы к 1 главе.....	42
2. Формирование принципов и критериев оценки качества построения графика движения пригородных электропоездов.....	43
2.1.Определение потребительских параметров качества сервиса перевозок в пригородном сообщении .....	43
2.2.Разработка принципов оценки эффективности организации пригородных перевозок .....	46
2.3.Формирование перечня показателей, определяющих качество расписания движения пригородных электропоездов.....	53
2.4.Формирование требований к организации пригородного сообщения .....	66
Выводы к 2 главе.....	70
3. Исследование транспортного поведения пассажиров в пригородном сообщении.....	71
3.1.Исследование закономерностей подхода пассажиров на остановочные пункты пригородных электропоездов.....	71

3.2. Исследование пороговых значений времени ожидания пассажира в пригородном сообщении .....	90
3.2.1. Описание алгоритма выбора пассажиром пригородного электропоезда .....	90
3.2.2. Определение пороговых значений времени ожидания пассажира пригородного электропоезда.....	102
3.2.3. Определение функции охвата пригородным электропоездом корреспонденции пассажиропотока.....	108
3.3. Порядок оценки величины неосвоенного пассажиропотока и населенности пригородных электропоездов в зависимости от расписания движения.....	113
Выводы к 3 главе .....	121
4. Формирование метода разработки тактового расписания движения пригородных электропоездов .....	123
4.1. Алгоритма построения тактового графика движения для участков с интенсивным движением пригородных электропоездов.....	123
4.2. Принципы разработки схем такта пригородных электропоездов.....	130
4.3. Разработка оптимизационной экономико-математической модели для расчета схемы такта, учитывающей величину неосвоенного пассажиропотока в зависимости от расписания движения .....	136
4.4. Апробация разработанной оптимизационной экономико-математической модели .....	151
4.5. Оценка влияния стоимости расходной ставки пасс.-км на формируемую схему такта пригородных электропоездов .....	166
Выводы к 4 главе.....	173
Заключение .....	175
Список сокращений и условных обозначений.....	177

Список литературы .....	179
Приложение А .....	197
Приложение Б .....	199
Приложение В.....	204
Приложение Г .....	227
Приложение Д.....	230
Приложение Е.....	233
Приложение Ж.....	236
Приложение И .....	238

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования**

Транспортная стратегия Российской Федерации определяет 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. [112]

Основу современной цивилизации 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 агломерационных эффектов.

Для обеспечения повышения качества и комфортабельности пригородных пассажирских перевозок необходимо разработать новые подходы к планированию и организации движения пригородных электропоездов. Расчет размеров движения пригородных электропоездов по участкам железнодорожного направления должен производиться не только с учетом освоения расчетного пассажиропотока, но и с учетом предпочтений пассажиров по периодичности движения пригородных электропоездов. Задача организации движения пригородных электропоездов 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 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 пригородных электропоездов;
- сформировать критерии оценки качества построения графика движения пригородных электропоездов, учитывающие приоритеты всех участников перевозочного процесса;
- исследовать закономерность подхода пассажиров на посадку в пригородные электропоезда;
- определить пороговые значения времени ожидания и закономерности распределения пассажиров по электропоездам в пригородном сообщении;
- разработать алгоритм построения тактового графика движения пригородных электропоездов на инфраструктуре общего пользования;
- разработать оптимизационную модель для определения размеров движения, последовательности пропуска и режима остановок пригородных поездов в схеме такта.

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

- сформированы критерии оценки качества построения графика движения пригородных электропоездов, отличающиеся от текущих комплексностью, т.е. учетом потребностей всех участников перевозочного процесса, в том числе владельца инфраструктуры, а также тем, что потребительские параметры качества расписания определяются величиной

осваиваемого пассажиропотока, которая на практике зависит от параметров формируемого расписания;

- определена закономерность распределения пассажиров при подходе на остановочный пункт на посадку в пригородные электропоезда, которые отличаются от текущих нелинейностью процесса накопления пассажиров на электропоезда и подтверждают теорию о гибкости выбора пассажиром пригородного электропоезда;

- впервые описан порядок определения величины пассажиропотока в зависимости от формируемого расписания движения пригородных электропоездов;

- сформирован алгоритм построения тактового графика движения пригородных электропоездов, 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 пригородных электропоездов, 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:

- сформированные критерии оценки качества построения графика движения пригородных электропоездов 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 пригородных электропоездов позволят принимать обоснованные решения при разработке и корректировке графиков движения поездов, направленные на обеспечение освоения пассажиропотока и равномерной загрузки пригородных электропоездов;

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

– 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 данный 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 пригородных электропоездов, 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 пригородные электропоезда, отличающиеся от известных нелинейностью процесса накопления и позволяющие моделировать транспортные потоки на остановочных пунктах;

- порядок оценки величины неосвоенного пассажиропотока и населенности пригородных электропоездов, 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 пригородных электропоездов на инфраструктуре общего пользования;

- оптимизационная экономико-математическая модель, позволяющая определять размеры движения, последовательность пропуска и режима остановок пригородных электропоездов в схеме такта, отличающая от известных учетом величины неосвоенного пассажиропотока и его распределения между электропоездами 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 пригородных электропоездов. 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.

# **1. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ОРГАНИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК И ОСВОЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ В КРУПНЫХ АГЛОМЕРАЦИЯХ РОССИИ**

## **1.1. Значение транспорта в формировании городских агломераций**

Пространственная близость населённых пунктов и их хорошая транспортная связанность создают предпосылки возникновения и развития агломераций. Образование агломераций — одна из стадий процесса урбанизации. Агломерация представляет собой компактное скопление населенных пунктов, преимущественно городских, объединенных в одно цельное территориальное образование с интенсивными экономическими, транспортными и культурными связями. Различают моноцентрические (сформировавшиеся вокруг одного крупного города-ядра, например, Московская, Санкт-Петербургская и т.п.) и полицентрические (имеющие несколько городов-ядер, например, Самарско-Тольяттинская, Тульско-Новомосковская, Кавказско-Минераловодская и т.п.) агломерации. Городскую агломерацию полицентрического типа называют конурбация.

Одной из целей формирования агломераций является достижение агломерационных эффектов – экономических и социальных выгод от создания высокой концентрации производственных и трудовых ресурсов. К агломерационным эффектам можно отнести: создание единых рынков (труда, недвижимости, капитала и т.д.); усиление конкурентоспособности экономики региона; диверсификация экономики; пространственное развитие территории; снижение транспортных издержек; рост человеческого капитала; повышение производительности труда; создание междисциплинарных компетенций; рост бюджетных доходов; реализация крупных инфраструктурных проектов (логистические узлы, аэропорты, энергетические мощности и т.п.). В процессе

развития агломерации формируется городское пространство, которое повышает качество жизни ее жителей.

До середины 20 века города являлись главными центрами промышленности, культуры, образования и локомотивами развития государств. В 21 веке роль территорий опережающего развития перешла к городским агломерациям. В городских агломерациях развитие экономики, социальной сферы, образования и технологий происходит быстрее, чем в других регионах страны. Ряд показателей экономического развития агломераций имеют лучшую динамику роста, относительно средних значений по стране. К ним относятся уровень занятости, уровень доходов населения, рост ВВП, количество привлекаемых студентов, в том числе иностранных.

Сегодня именно городские агломерации являются драйверами развития своих стран, 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. Наиболее востребованные на рынках труда специалисты могут выбирать место своего проживания, и не только в пределах собственной страны. Это значит, что российские агломерации находятся в глобальной конкуренции за человеческий капитал с европейскими, американскими и азиатскими городами, а также конкурируют между собой.

Транспорт на протяжении всей истории являлся как ключевым, так и лимитирующим фактором роста городских поселений. Именно возможность транспортных систем обеспечивать маятниковые миграции в сообщении центр города – периферия (пригород) ограничивали размеры городской (урбанизированной) территории. Исторически рост территории города ограничивала зона максимальной пешеходной доступности, далее доступностью гужевого транспорта, а позже наземного городского пассажирского транспорта. Каждый этап развития транспорта расширяет

возможности развития городских пространств. Дальнейший рост городов происходил за счет развития скоростного внеуличного транспорта и массовой автомобилизации населения.

К скоростным внеуличным видам пассажирского транспорта относятся: пригородный железнодорожный транспорт, метрополитен, скоростной трамвай, скоростной автобусный транспорт. В нашей стране именно скоростной внеуличный рельсовый транспорт являлся главным фактором в процессе развития и роста городских территорий: строительства спальных районов городов и городов спутников на протяжении значительного периода времени. Городское и транспортное планирование было ориентировано в первую очередь на развитие и обеспечение транспортной доступности населения именно системами общественного транспорта.

Города в Северной Америке и Европе изначально развивались аналогично до момента начала массовой автомобилизации населения, после которой именно автомобиль стал транспортом номер один. В Северной Америке автомобилизация произошла в первой половине 20 века (1910–1950 гг.), в Европе в 1950–1975 гг. По мере быстрого роста уровня автомобилизации власти сделали ставку на нормализацию автомобильного трафика и развитию дорожно-транспортной инфраструктуры: строительство автомагистралей, парковочных пространств в центрах городов. При этом инвестиций на развитие общественного транспорта выделялось меньше, чем на развитие дорожно-транспортной инфраструктуры. Данная политика привела к значительной деградации систем общественного транспорта, при которой компании-перевозчики потеряли часть дохода вследствие переключения части пассажиропотока на автомобили и ростом эксплуатационных расходов. [39]

Крупные города стран Западной Европы, Японии, Австралии и Канады пришли к пониманию возникающей проблемы и переработали транспортную политику, направив средства на развитие систем общественного транспорта. Анализ показал, что в развитых странах обеспечение транспортной

связанности территорий городских агломераций является частью социальной политики государства. При этом можно выделить два вектора транспортной политики: искусственное снижение спроса на автомобильные перевозки и повышение привлекательности систем общественного транспорта. К первой категории относятся: организация платных дорог, парковок, введение платы на въезд в центр города, увеличение налогов на личные автотранспортные средства, топливо и т.п. Ко второй категории относятся: субсидирование тарифов на перевозку, инвестиции в строительство новых линий внеуличного транспорта и обновление парка транспортных средств, развитие систем шеринга автомобилей и средств индивидуальной мобильности, создание выделенных полос и т.п.

В России процесс массовой автомобилизации начался в 1970-х годах, но основной пик пришелся на постсоветский период (начиная с 1990 года). В таблице 1.1 и на рисунке 1.1 приведено количество собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения по субъектам Российской Федерации за период 1970-2021 гг. Количество собственных легковых автомобилей на 1000 человек отражает уровень автомобилизации населения. Как видно из представленных данных в Российской Федерации в целом и в выбранных регионах в частности продолжается рост уровня автомобилизации. С другой стороны, в Москве и Санкт-Петербурге темпы роста в период с 2010-2021 гг. значительно сократились относительно уровня 1990-2010 гг. Это является прямым следствием возникших негативных эффектов, таких как пробки, дефицит парковочного пространства.

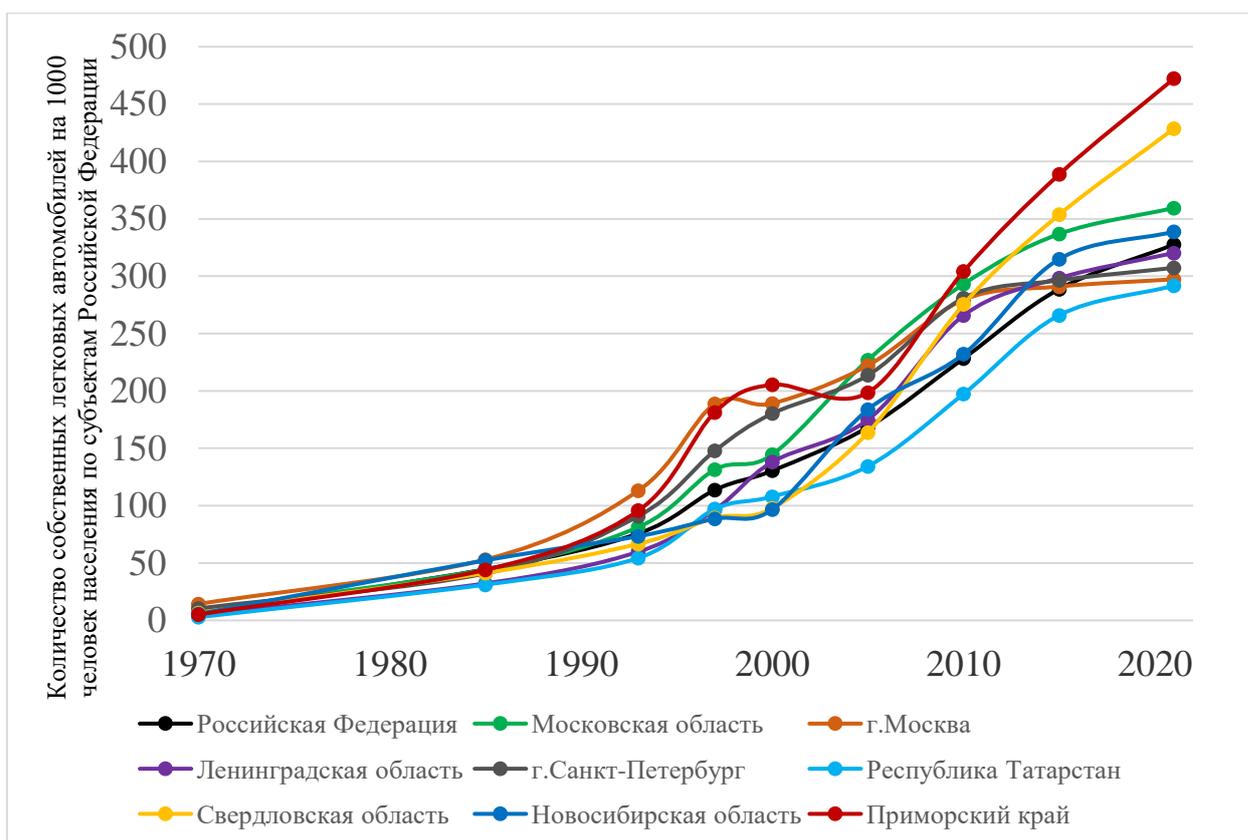


Рисунок 1.1 – Динамика изменения уровня автомобилизации населения по субъектам Российской Федерации в период 1970-2021 гг.

Таблица 1.1 – Количество собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения по субъектам Российской Федерации

	1970	1985	1993	1997	2000	2005	2010	2015	2021
<b>Российская Федерация</b>	<b>5,5</b>	<b>44,5</b>	<b>75,7</b>	<b>113,7</b>	<b>130,5</b>	<b>168,4</b>	<b>228,4</b>	<b>288,8</b>	<b>327,6</b>
Московская область	8,6	44,3	81,3	131,5	144,5	227,0	293,2	336,8	359,5
г. Москва	14,3	53,0	113,1	188,8	189,1	222,2	279,5	291,0	297,4
Ленинградская область	4,5	32,2	59,8	96,5	138,1	174,9	265,8	298,4	320,3
г. Санкт-Петербург	10,4	40,9	90,9	147,9	180,3	213,7	281,0	296,4	307,3
Республика Татарстан	2,8	31,1	54,4	97,1	107,9	134,3	197,4	266,0	291,7
Свердловская область	6,6	41,3	66,7	89,4	97,8	163,7	275,5	353,7	428,6
Новосибирская область	5,6	52,3	73,3	88,6	96,7	183,8	232,1	315,0	338,8
Приморский край	5,1	44	95,7	181,4	205,4	198,6	304,2	388,8	472,3

До начала процесса роста уровня автомобилизации российские города располагали развитыми и эффективными системами общественного транспорта, а городские агломерации также развитыми системами пригородных железнодорожных перевозок. Но процесс массовой автомобилизации привел к тому, что параллельно с ростом числа автомобилей

транспортные хозяйства городов пришли в упадок. Сократилась маршрутная сеть и размеры движения наземного городского пассажирского транспорта и хозяйства пригородных железнодорожных перевозок, повысился средний возраст парка подвижного состава и транспортных средств, упал пассажиропоток. Следствием снижения пассажиропотока стали дальнейшие мероприятия по оптимизации (сокращению) эксплуатационных расходов, которые приводили к еще большему падению привлекательности общественного транспорта и дальнейшему снижению величины пассажиропотока. Создался замкнутый круг, в котором при каждом новом этапе оптимизации снижался пассажиропоток и росли расходы на перевозку пассажира.

## **1.2. Анализ отечественного и зарубежного опыта организации пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении**

Хозяйство пригородных обеспечивает перевозку пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном, пригородно-городском и внутригородском сообщениях. Пригородные железнодорожные перевозки имеют высокую социальную значимость и обеспечивают транспортную доступность жителям крупных городских агломераций, способствуют развитию рынка труда, стимулируют активное развитие территорий, развивают зоны экономической активности. Особенностью пригородных железнодорожных перевозок является их массовость, социальный характер, экологичность, высокая провозная способность. Эффективность функционирования хозяйства пригородных железнодорожных перевозок определяет возможность роста городской агломерации. Развитие внутригородских и пригородно-городских железнодорожных перевозок безусловно является фактором роста и устойчивого социально-экономического развития городских территорий.

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 пригородные железнодорожные перевозки. В крупных транспортных узлах сократились размеры движения поездов по всем участкам, значительно упала величина пассажиропотока. В приложении Б приведена ретроспектива размеров движения ПЭП по участкам Московского и Санкт-Петербургского железнодорожных узлов в период с 1970 по 2022 гг. [12]

В период после 1990 года размеры движения пригородных электропоездов в Московском железнодорожном узле (МЖУ) значительно сократились на всех направлениях. В 1996 году падение размеров движения на головных участках МЖУ в зависимости от направления составило от 26 до 40% относительно уровня 1990 года. Необходимо отметить, что количество вагонов в составе пригородных электропоездов на протяжении всех рассматриваемых периодов оставалось неизменным. В таблице 1.2 показана динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов по головным участкам в МЖУ в период 1970-2022 гг. относительно уровня 1990 г. [3]. И хотя в период после значительного сокращения размеров движения наблюдался их незначительный рост, но в 2005 году размеры движения пригородных электропоездов на головных участках МЖУ все еще оставались значительно ниже уровня объемов перевозок 1990 года.

С 2008 года начался период заметного роста объемов перевозок. Основным драйвером роста стал процесс строительства и ввода в эксплуатацию дополнительных главных путей на радиальных направлениях (3 главный путь на участке Москва – Кусково в 2008 г., 4 главный путь на участке Москва – Крюково в 2015 г., 3 и 4 главные пути на участке Москва – Одинцово в 2019 г., 5 главный путь на участке Москва – Мытищи и 4 главный путь на участке Мытищи – Пушкино в 2020 г., 2 главный путь на участке Реутово – Балашиха), который сопровождался организацией

дополнительных маршрутов движения и ростом размеров движения на существующих.

В 2020 г. после реализации проекта МЦД размеры движения пригородных электропоездов на головных участках МЖУ достигли и превзошли объемы перевозок 1990-х гг.

Таблица 1.2 – Динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов по головным участкам в МЖУ в период 1970-2022 гг. относительно уровня 1990 г.

Участок	Динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов, относительно уровня 1990 г., %										
	1970	1980	1990	1996	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2022
Москва – Мытищи	-	5	0	-26	-23	-11	-13	-7	-7	-6	9
Москва – Нижегородская	-	-	0	-35	-	-16	-5	-4	-7	0	-10
Нижегородская – Реутово	-	-	0	-35	-	-16	-5	-4	-7	7	14
Москва – Люберцы-1	13	-	0	-31	-	-14	-7	-7	-5	-1	-2
Москва – Бирюлёво (без учета аэроэкспресса)	-	-	0	-	-	-38	-43	-38	-35	-25	-20
Москва – Бирюлёво	-	-	0	-	-	-17	-22	-11	-8	2	7
Москва – Царицыно	-	13	0	-	-26	-28	-32	-26	-27	12	19
Царицыно – Щербинка	-	23	0	-	-11	-26	-18	-11	11	93	89
Москва – Солнечная (без учета аэроэкспресса)	-	-	0	-30	-	-34	-39	-5	2	11	-5
Москва – Солнечная	-	-	0	-30	-	-22	-23	13	24	29	11
Москва – Кунцево	-	3	0	-	-	-29	-27	-25	3	69	45
Москва – Стрешнево	-	-	0	-	-	-27	-28	-7	-17	40	45
Стрешнево – Нахабино	-	-	0	-	-	-27	-28	-7	-17	51	55
Москва – Крюково	-	-	0	-40	-30	-42	-38	-29	10	16	21
Москва – Шереметьев. (без учета аэроэкспресса)	-12	-	0	-	-	-20	-21	-9	-9	43	35
Москва – Шереметьев.	-12	-	0	-	-	-20	4	27	26	78	66
<b>По вокзалам (без учета аэроэкспресса)</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>-33</b>	<b>-26</b>	<b>-26</b>	<b>-25</b>	<b>-16</b>	<b>-9</b>	<b>16</b>	<b>14</b>
<b>По вокзалам</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>-33</b>	<b>-26</b>	<b>-23</b>	<b>-19</b>	<b>-8</b>	<b>-1</b>	<b>24</b>	<b>21</b>
<b>По головным участкам</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>-33</b>	<b>-21</b>	<b>-22</b>	<b>-18</b>	<b>-6</b>	<b>3</b>	<b>34</b>	<b>31</b>

На участках, расположенных на удалении 40-60 км от Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД), в период после 1990 года размеры движения снизились меньше, чем в ближней зоне. Так в 1996 году падение размеров движения в рассматриваемой зоне в зависимости от направления составило от 13 до 33%. При этом процесс снижения размеров движения не остановился и к 2005 году размеры движения в среднем по узлу оказались ниже на 21% относительно уровня 1990 года.

В последующие периоды размеры движения ПЭП в дальней зоне неуклонно увеличивались, но меньшими темпами, чем в ближней зоне.

Основными и на первый взгляд неочевидными драйверами роста стали те же факторы, что и в ближней зоне. Так при развитии технического оснащения в ближней зоне росли размеры движения не только на головных участках, но и на более дальних корреспонденциях (Ленинградское направление в 2015 г.). Организация сервиса перевозок МЦД отразилась и на размерах движения за пределами конечных станций маршрутов МЦД (на Курском, Белорусском и Савеловском направлениях). В таблице 1.3 показана динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов до зонных станций МЖУ, находящихся на удалении 40-60 км от МКАД, в период 1970-2022 гг. относительно уровня 1990 г.

Таблица 1.3 – Динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов до зонных станций МЖУ, находящихся на удалении 40-60 км от МКАД, в период 1970-2022 гг. относительно уровня 1990 г.

Зонная станция	Динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов, относительно уровня 1990 г., %										
	1970	1980	1990	1996	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2022
Софрино	-	-6	0	-18	-13	-21	-22	-25	-24	-22	-21
Монино	-	3	0	-33	-31	-35	-28	-19	-17	-17	-4
Фрязино	-	-10	0	-13	-10	-3	-3	6	3	3	3
Фрязево (горьк.)	-	-	0	-30	-	-7	-3	-18	-12	-1	-1
Шиферная	-18	-	0	-11	-	-18	-16	-18	-11	5	-5
Куровская	-	-	0	-24	-	-26	-15	-9	-9	-6	-9
Михнево	-	-	0	-	-	-32	-30	-32	-28	-28	-30
Львовская	-	2	0	-	-16	-19	-11	-7	0	28	25
Нара	-	-	0	6	-	0	0	11	9	9	15
Кубинка	-	5	0	-	-	-18	-30	-5	0	18	13
Новоиерусалимская	-	-	0	-	-	-33	-40	-24	-34	-30	-31
Подсолнечная	-	-	0	-16	-9	-32	-25	-19	4	5	5
Дмитров	-17	-	0	-	-	-13	-13	-10	-10	8	8
МЖУ	-18	-1	0	-17	-16	-21	-19	-15	-12	-5	-4

Помимо общей неравномерности динамики изменения размеров движения на радиальных направлениях МЖУ в зависимости от удаленности от центра необходимо также отметить значительную неравномерность динамики изменения размеров движения в зависимости от радиального направления МЖУ. Так на направлениях, на которых не были реализованы значительные проекты развития (строительство дополнительных главных

путей, организация сервиса МЦД), размеры движения пригородных электропоездов оказались ниже или на уровне 1990 года. На головных участках Павелецкого направления размеры движения (без учета аэроэкспресса) стали ниже на 20%, на Киевском направлении (без учета аэроэкспресса) ниже на 5%. На участках, расположенных на большем удалении от центра, размеры движения стали еще ниже (по станции Новоиерусалимская -31%, Михнево -30%, Софрино -20% и т.д.).

Падение размеров движения пригородных электропоездов происходило не только в МЖУ, но и в других крупных транспортных узлах. Совокупное снижение размеров движения ПЭП в крупных транспортных узлах относительно уровня 80-ых годов прошлого века составило от 25 до 50%. Размеры движения пригородных электропоездов в Волгограде на маршруте Волгоград-1 – Волжский в 1990 году составляли 10 пар ежедневно, а в 2022 году 1 пар в будний день, на маршруте Волгоград-1 – Шпалопродитка в 1990 году 26 пар ежедневно, в 2022 году 17 пар в будний и 14 в выходной день, на маршруте Волгоград-1 – Тракторная в 1990 году 22 пары ежедневно, в 2022 году 8 пар в будний и 6 в выходной день. [43] В Екатеринбургском железнодорожном узле на участке Екатеринбург-Пасс. – Шувакиш в 1990 году размеры движения составляли 21 пар в будний и 27 в выходной день, а в 2022 году 14 и 13 пар соответственно. В Перми на участке Пермь-2 – Лёвшино в 1990 году размеры движения составляли 41 пар в будний и 45 в выходной день, в 2022 году 31 в будний и 32 в выходной.

В Санкт-Петербургском железнодорожном узле (СПБЖУ) совокупное падение размеров движения пригородных электропоездов по головным станциям составило 46%. Сравнение размеров движения ПЭП по головным участкам СПБЖУ за 1989 и 2019 год приведено в таблице 1.4 и в приложении Б (таблица Б.2).

Таблица 1.4 – Динамика изменения размеров движения пригородных электропоездов по головным участкам в СПбЖУ в 2019 г относительно уровня 1990 г.

Направление	Участок	Размеры движения в раб. Дни, пар/сутки		Динамика размеров движения относительно уровня 1989 г.
		1989	2019	
Северное Полукольцо	Ланская – Кушелевка	-	-	
Балтийское	Санкт-Петербург-Балт. – Лигово	110	48	-56%
Варшавское	Санкт-Петербург-Балт. – Броневая	38	24	-37%
Витебское	Санкт-Петербург-Вит. – Павловск	80	50	-38%
Московское	Санкт-Петербург-Гл. – Обухово	83	47	-43%
	Дача Долгорукова – Заневский Пост – Горы *	5	10	100%
Ириновское	Санкт-Петербург-Финл. – Кушелевка	99	53	-46%
Выборгское	Санкт-Петербург-Финл. – Левашово	81	33	-59%
Сестрорецкое	Ланская (Санкт-Петербург-Финл.) – Сестрорецк – Белоостров	38	23	-39%
В целом по узлу		534	288	-46%

Пригородные железнодорожные перевозки в России за исключением нескольких направлений МЖУ значительно сократились относительно уровня перевозок 80 годов прошлого столетия. Основными причинами процесса сокращения стали: начавшаяся массовая автомобилизация и недостаточное субсидирование пригородных железнодорожных перевозок со стороны государства. При этом население крупнейших агломераций за прошедшее время выросло, либо осталось на том же уровне. Так население Московской области за рассматриваемый период выросло на 30%, Ленинградской на 20%. С учетом того, что техническое оснащение участков осталось неизменным, пригородные перевозки в России имеют техническую возможность, а, следовательно, и потенциал роста объемов перевозок.

Проекты развития существующих и создания новых маршрутов следования пригородных и пригородно-городских поездов прорабатывались в ряде регионов России, но только часть из них в итоге была реализована. К успешным проектам необходимо отнести организацию движения пригородно-городских поездов по МК МЖД, реализованного под брендом МЦК, интенсификацию движения диаметральных пригородно-городских

электропоездов на ряде радиальных направлений МЖУ, развиваемых под брендом МЦД.

Московские центральные диаметры (МЦД) – проект развития пригородно-городских перевозок на радиальных направлениях Центрального транспортного узла (ЦТУ) подразумевал интенсификацию размеров движения ПЭП на существующих диаметральном маршрутах, а также создание новых. Развитие диаметрального сообщения позволяет ликвидировать оборот пригородных электропоездов на головных тупиковых станциях, и, следовательно, повысить пропускную способность пригородных направлений [50]. Интенсификация размеров движения позволила интегрировать диаметральные пригородно-городские маршруты в единую транспортную систему агломерация, став вторым магистральным транспортом, после метрополитена. Кроме интенсификации размеров движения, проект МЦД подразумевал также тарифную и навигационную интеграцию с существующей системой. Важной составляющей проекта являлось полное обновление парка подвижного состава, с закупкой ПЭП с городским типом внутренней компоновки вагонов. При реализации проекта была осуществлена реконструкция существующих, строительство новых и перенос ряда существовавших остановочных пунктов. Перенос и строительство новых остановочных пунктов позволил в большей степени интегрировать МЦД и создаваемые маршруты МЦД с городским транспортом. Вместе с реконструкцией осуществлялось комплексное переустройство прилегающих территорий с формированием транспортно-пересадочных узлов (ТПУ). Частично реализованный проект МЦД показал значительный потенциал развития пригородно-городских перевозок с использованием железнодорожного транспорта в России. Показателем эффективности данных мероприятий стал значительный рост величины пассажиропотока, по сравнению с другими направлениями ЦТУ, не задействованными под МЦД.

За исключением Московской агломерации, проекты организации движения городской электрички были частично реализованы в Красноярске,

Перми, Нижнем Новгороде, Краснодаре, Сочи, Волгограде, Уфе. В ряде регионов проекты развития пригородного движения были направлены на улучшение внутрорегиональных связей, например, проекты развития пригородных перевозок в Ивановской, Калининградской областях, организация тактового движения электропоездов из Санкт-Петербурга в Павловск. Предпосылкой развития внутригородских железнодорожных пассажирских перевозок является запуск «сквозных маршрутов», проходящих через железнодорожные станции и их вокзалы, расположенные в центре городов [41].

Особенностями российской практики организации пригородного сообщения, а также реализуемых проектов его развития, являются:

1. Низкие размеры движения ПЭП. Существующие подходы к организации пригородных и пригородно-городских перевозок направлены на обеспечение пиковых перевозок пассажиропотока к местам приложения труда и обратно. В основном пригородные и пригородно-городские электропоезда проложены в утренний и вечерний пиковые периоды, а в дневной межпиковый период движение ПЭП осуществляется по остаточному принципу.

2. Отсутствие системности и принципов периодичности в расписании движения пригородных электропоездов. Пригородные электропоезда в течение суток следуют с неравными интервалами, что осложняет восприятие создаваемого сервиса пассажирами.

3. В расписании движения ПЭП ввиду отсутствия системности могут возникать значительные перерывы в расписании их движения, которые не связаны с проведением технологического окна. Низкие размеры движения ПЭП и значительные перерывы в их движении не позволяют пассажирам считать систему пригородных перевозок надежным городским транспортом для ситуативных поездок.

4. Развитие пригородного сообщения в ряде случаев сопровождается обновлением парка пригородного подвижного состава, что благоприятно сказывается на восприятии пассажирами реализуемых мероприятий.

5. Перенос существующих и строительство новых остановочных пунктов при реализации проектов развития пригородно-городских перевозок осуществляется в недостаточных объемах. Реализация данных мероприятий могла бы обеспечить большую интеграцию маршрутов ПЭП с районами города и городским транспортом. Вместе с реконструкцией транспортных систем необходимо осуществлять комплексное благоустройство прилегающих территорий, строительство подходов к остановочным пунктам. [2]

6. Тарифная интеграция обычно ограничивается установлением городских тарифов на поездки в пределах городской территории, без интеграции в единую систему городского транспорта.

Пригородные перевозки в России обладают значительным и в настоящий момент нереализованным потенциалом. В целях повышения качества и комфортабельности пригородных пассажирских перевозок в России возникает необходимость создания новых подходов к планированию, оценке эффективности и организации движения ПЭП.

Анализ зарубежного опыта организации пригородно-городских перевозок железнодорожным транспортом необходим для оценки мировых трендов организации и определения принципов функционирования пригородных и пригородно-городских систем. В Париже пригородное сообщение разделено на сервисы внутригородских (пригородно-городских) и пригородных перевозок и перевозки осуществляются под брендами «RER» и «Transilien». RER – бренд, под которым осуществляется движение пригородно-городских поездов в ближней пригородной зоне. Маршруты линий RER, за исключением линии E, диаметральные и проложены через центральную часть города в тоннелях с организацией кроссплатформенных пересадок между линиями RER и удобными пересадками на метро. Большинство маршрутов поездов RER обращаются в пределах 20-40 км зоны и преимущественно эксплуатируются на выделенной паре путей. Маршруты линий C и D обращаются на более длинных плечах (до 80 км от центра).

Поезда «Transilien» курсируют по путям, принадлежащим SNCF (ранее RFF), и эти же пути используются магистральными пассажирскими поездами (TGV и Intercités), другими транспортными операторами (Renfe, Deutsche Bahn, Eurostar, Thalys) и грузовыми поездами. Основным отличием от сервиса RER является то, что маршруты «Transilien» начинаются и заканчиваются на основных железнодорожных станциях (вокзалах) Парижа, за исключением линии U. Протяженность маршрутов варьируется от 20 до 100 км.

Особенностями организации движения пригородных и пригородно-городских электропоездов в Парижской агломерации являются:

1. На всех линиях применяется тактовый график движения ПЭП, вне зависимости от периода суток и дня недели. Период такта ПЭП в пиковые периоды варьируется от 10 до 30 минут, в непиковые периоды от 15 до 60 минут.

2. В графиках движения в будние дни выделяют пиковые периоды с 6:30 до 10:00 и с 16:30 до 20:00 в зависимости от направления, межпиковый (с 10:00 до 16:30 и с 20:00 до 21:00) и ночной период (с 21:00 до закрытия движения).

3. Отдельно разрабатывают график движения поездов для субботы, воскресенья, праздников. Расписание движения в Субботнем графике соответствует расписанию движения в будний день (межпиковый период), но без выделения пиковых периодов в движении. Объемы движения ПЭП в воскресном графике движения на ближних зонах соответствуют объемам перевозок в другие периоды, а на дальних зонах происходит снижение объемов.

4. Большинство пригородных и пригородно-городских электропоездов следуют без пропуска остановок. Инструмент пропуска остановок применяется не для ускорения ПЭП, а для выравнивания межпоездных интервалов между пригородными электропоездами и

обеспечения равномерного движения. Вторым инструментом выравнивания интервалов является замедление ПЭП.

5. В парижском транспортном узле отсутствует выраженное зонное движение. Интервалы по мере удаления от центрального участка увеличиваются за счет широкого разветвления линий.

6. Минимальный межпоездной интервал в Парижском узле достигается на общем для линий В и D участке Châtelet - Les Halles – Gare du Nord. В пиковый период он составляет 90 секунд, обеспечивающий межпоездной интервал на линиях В и D – 3 минуты. Минимальный межпоездной интервал в целом на маршруте достигается на линии А – 2,5 минуты.

Анализ опыта организации пригородных и пригородно-городских перевозок железнодорожным транспортом в других крупных зарубежных агломерациях показал, что отсутствуют общепринятые значения оптимальных межпоездных интервалов. Каждая транспортная система подстраивается под нужды конкретной агломерации, в зависимости от величины пассажиропотока. При этом существуют общепринятые стандарты обеспечения систематизации расписания движения пригородных электропоездов. Большинство транспортных систем, в независимости от интенсивности движения пригородных электропоездов обеспечивают периодическое, повторяемое в течении суток расписание их движения. В пиковые периоды роста пассажиропотока, в расписание движения добавляются дополнительные электропоезда, обеспечивающие освоение пассажиропотока. При этом установленный такт движения пригородных электропоездов сохраняется.

### **1.3. Анализ пассажиропотоков систем пригородных железнодорожных перевозок в городских агломерациях**

Одним из основных признаков сформировавшейся городской агломерации является наличие устойчивых пассажиропотоков в сообщении

пригород – город, которые обслуживаются железнодорожным транспортом. Наибольшие объемы перевозок пассажиров в пригородном сообщении осуществляются в МЖУ, поэтому анализ особенностей пассажиропотока в пригородном сообщении целесообразен на примере Московской агломерации.

Объем перевозок пассажиров в пригородном сообщении в МЖУ за 2021 год составил 552,5 млн. пассажиров. За период с 2013 года по 2021 необходимо отметить значительное падение объемов перевозок пассажиров в пригородном сообщении в 2020, вызванное пандемией коронавируса и режимом самоизоляции, и последующий рост объемов перевозок в 2021 году. Причем объем перевозок в 2021 году не достиг показателя перевозок пассажиров в пригородном сообщении 2019 года. Локальным максимумом объемов перевозок является показатель 2013 года. На рисунке 1.2 представлена динамика годовых объемов перевозок пассажиров в МЖУ в пригородном сообщении.

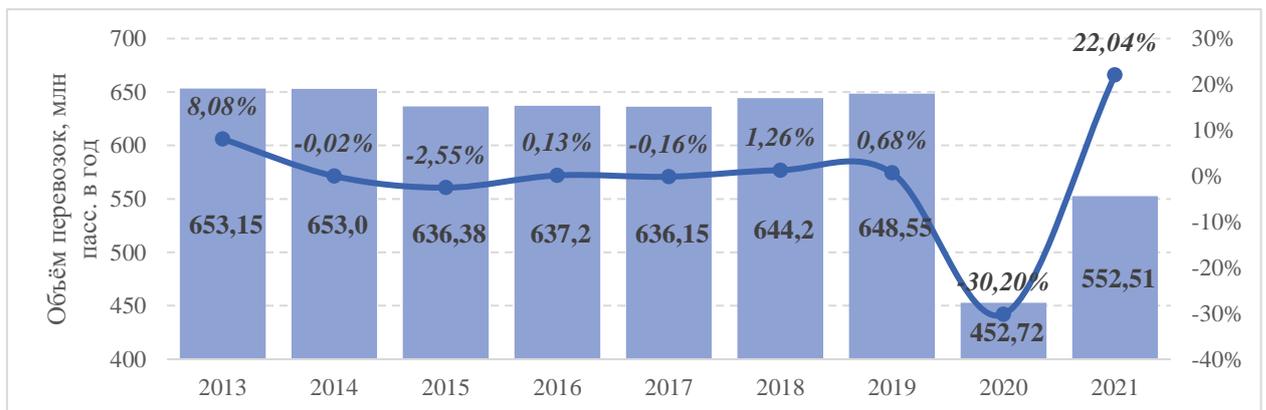


Рисунок 1.2 – Динамика годовых объёмов перевозок пассажиров в МЖУ в пригородном сообщении в период с 2013 по 2021 гг.

Объем перевозок пассажиров в пригородном сообщении динамичен и зависит от множества внутренних и внешних факторов. Ко внутренним факторам можно отнести: расписание движения пригородных электропоездов, размеры движения, установленный уровень тарифов, тип и возраст эксплуатируемого парка подвижного состава, степени оснащения пассажирских обустройств и прилегающих территорий. К внешним факторам можно отнести: предоставляемый уровень сервиса конкурирующих видов

транспорта, пропускную способность автомагистралей, расположенных в транспортном коридоре, расписание и уровень предоставляемого сервиса подвозящего транспорта, уровень автомобилизации и т.п.

Для более детального анализа эластичности спроса на перевозки железнодорожным транспортом в пригородном сообщении проанализируем динамику объемов перевозок пассажиров в МЖУ по направлениям следования. Динамика годовых пассажиропотоков в пригородном сообщении по направлениям МЖУ представлена на рисунке 1.3.

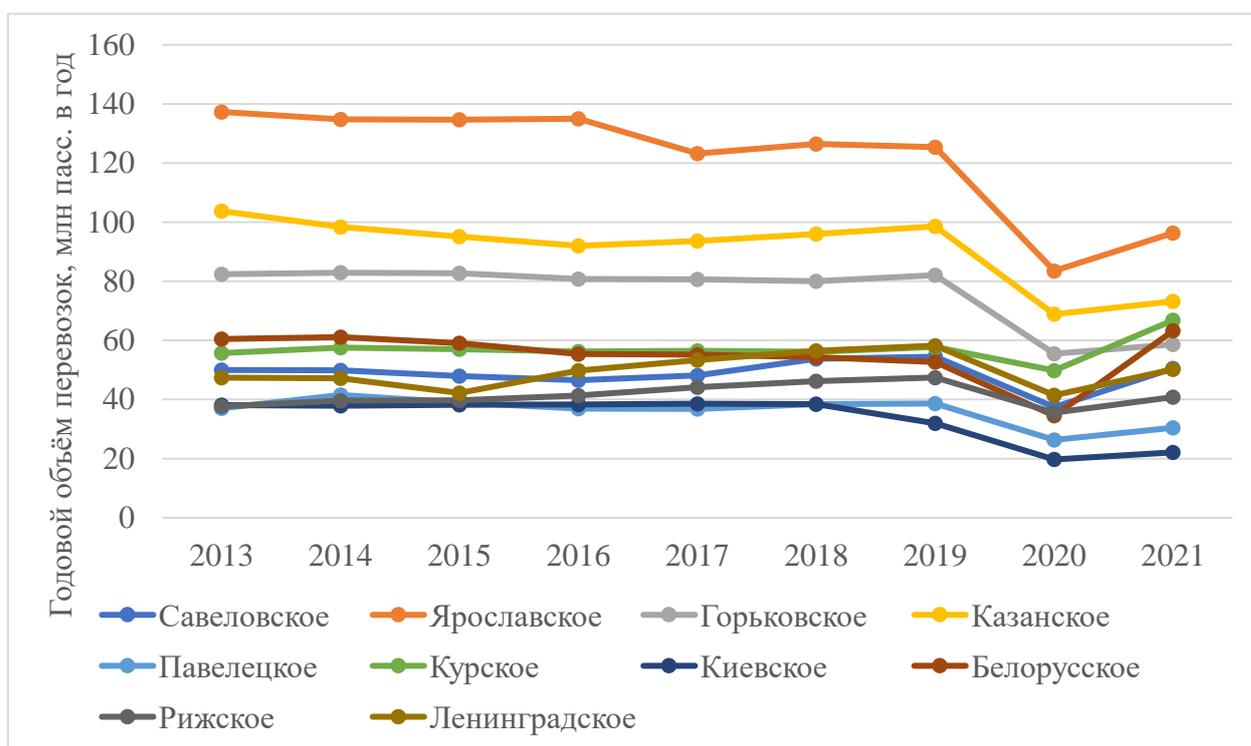


Рисунок 1.3 – Динамика годовых объемов перевозок пассажиров в пригородном сообщении по направлениям МЖУ в период 2013–2021

География перевозок пассажиров в пригородном сообщении распределена неравномерно, наибольшие объемы перевозок пассажиров в пригородном сообщении в Московской агломерации осуществляются на Ярославском и Казанском направлениях МЖУ. С 2021 года значительный рост объемов перевозок произошел на Курском и Белорусском направлениях. Наименьшие объемы перевозок в МЖУ осуществляются на Киевском и Павелецком направлениях. Динамика изменения величины годовых пассажиропотоков в пригородном сообщении по направлениям МЖУ по

сравнению с предшествующим отчетным периодом представлена в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Динамика изменения величины годовых пассажиропотоков в пригородном сообщении по направлениям МЖУ по сравнению с предшествующим отчетным периодом

Направление	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>В целом по узлу</b>	-0,0%	-2,5%	+0,1%	-0,2%	+1,3%	+0,7%	-30,2%	+22,0%
<b>Савеловское</b>	-0,2%	-4,0%	+3,5%	+4,9%	+3,4%	+1,3%	-31,3%	<b>+35,1%</b>
<b>Ярославское</b>	-1,8%	-0,1%	+0,2%	<b>-8,7%</b>	+2,7%	-0,8%	-33,4%	+15,3%
<b>Горьковское</b>	+0,7%	-0,2%	-2,4%	-0,1%	-0,8%	+2,6%	-32,4%	+5,6%
<b>Казанское</b>	-5,2%	-3,3%	-3,3%	+1,8%	+2,6%	+2,7%	-30,2%	+6,3%
<b>Павелецкое</b>	+12,3%	-6,2%	-5,2%	-0,2%	+4,2%	+0,6%	-31,8%	+15,6%
<b>Курское</b>	+3,3%	-0,9%	-1,4%	+0,4%	-0,6%	+3,0%	<b>-13,8%</b>	<b>+34,1%</b>
<b>Киевское</b>	-0,6%	+0,8%	+0,4%	+0,6%	-0,4%	<b>-17,0%</b>	-38,3%	+12,2%
<b>Белорусское</b>	+1,1%	-3,3%	-6,2%	-0,4%	-1,6%	-3,0%	-34,4%	<b>+83,2%</b>
<b>Рижское</b>	+5,2%	+0,5%	+3,9%	+6,8%	+4,7%	+2,8%	<b>-25,1%</b>	+14,8%
<b>Ленинградское</b>	-0,4%	<b>-10,7%</b>	<b>+18,2%</b>	<b>+7,0%</b>	<b>+6,0%</b>	+3,1%	-28,9%	+21,1%

В 2014 году началось строительство 4 главного пути на участке Москва – Крюково с предоставлением технологических окон и отменой части электропоездов. Последующий рост объемов перевозок, уже является результатом развития технического оснащения, а также увеличением размеров движения экспрессов Москва – Крюково и обновлением парка подвижного состава.

Падение объем перевозок на 17% на Киевском направлении в 2019 г. по сравнению с 2018 годом связано с открытием в 2019 году участка Московского метрополитена между станциями «Раменки» – «Расказова» Солнцевской линии, которая в значительной мере дублирует маршрут следования электропоездов Киевского направления МЖУ.

Анализ динамики изменения величины годовых пассажиропотоков по направлениям следования и сопоставление с качественными и количественными внутренними и внешними преобразованиями позволяет сделать вывод об эластичности спроса на пригородные железнодорожные перевозки. Объемы перевозок пассажиров в пригородном сообщении зависят

от параметров организации движения ПЭП. Анализ внешних и внутренних факторов, влияющих на величину осваиваемого пассажиропотока, представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Анализ внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на объемы осваиваемого пассажиропотока в пригородном сообщении в МЖУ

Изменение объема перевозок на направлении МЖУ	Внешний или внутренний фактор
Падение объема перевозок на 17% на Киевском направлении в 2019 г. по сравнению с 2018 г.	Открытие участка «Раменки» - «Расказовка» Солнцевской линии Московского метрополитена, дублирующего часть станций Киевского направления МЖУ
Падение объем перевозок на 8,7% на Ярославском направлении в 2017 г. по сравнению с 2016 г.	Реконструкция с участка автомагистрали М-8 (16 км – 20 км) от МКАД до Олимпийского проспекта (расширение полотна с 3+3 до 5+5 полос) в период с 2012 по 2015 Реконструкция путепровода на 24 км М-8 (расширение полотна с 3+3 до 5+5 полос) в период с 2014 по 2016
Падение объема перевозок на 10,7% на Ленинградском направлении в 2015 г. по сравнению с 2014 г.	Строительство 4 главного пути на участке Москва – Крюково с предоставлением технических окон, отменой части электропоездов
Рост объемов перевозок на 18,2%, 7% и 6% за период с 2016 по 2018 года соответственно (рост перевозок пассажиров ускоренных поездов, 258%, 19,2% и 23 % соответственно)	Результат строительства 4 главного пути, рост размеров движения экспрессов Москва – Крюково и обновление парка подвижного состава на ЭС1
Падение объемов перевозок на Курском и Рижском направлениях в 2020 году по сравнению с другими направлениями и большой рост объемов перевозок на Курском, Белорусском, Савеловском и Рижском направлениях в 2021 на фоне пандемии коронавируса	Последствия реализации комплексного развития пригородных перевозок в ближней зоне (МЦД)

Пассажиропоток в пригородном сообщении характеризуется пространственной неравномерностью, т.е. густота пассажиропотока в различных сечениях пригородного железнодорожного направления различна. Под густотой пассажиропотока подразумевается количество пассажиров, проезжающих в рассматриваемом сечении железнодорожного направления за установленный период времени.

В моноцентрических агломерациях на радиальных маршрутах густота пассажиропотока снижается при удалении от головной станции, причем динамика изменения густоты пассажиропотока принимает нелинейную зависимость и зависит от расположения пассажирообразующих станций и остановочных пунктов, которые как правило расположены в центрах городов-спутников. В полицентрических агломерациях густота пассажиропотока повышается при приближении к ядрам агломерации, а её снижение происходит на центральных участках маршрута. Причем в зависимости от размера ядра густоты на подходах к нему могут значительно отличаться. На рисунке 1.4 показана густота пассажиропотока на Ярославском направлении МЖД, на котором можно увидеть снижение густоты пассажиропотока при удалении от центра моноцентрической городской агломерации.

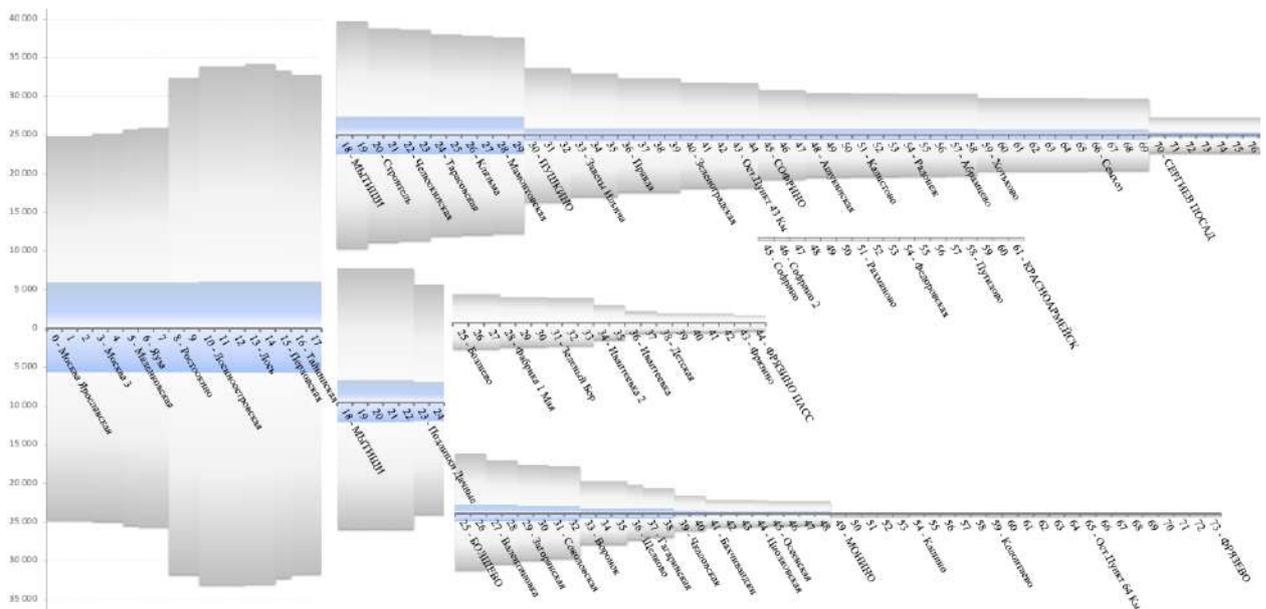


Рисунок 1.4 – Густота пассажиропотока на Ярославском направлении Московского железнодорожного узла

Пространственная неравномерность густот пассажиропотоков является причиной необходимости применения зонного графика движения ПЭП, с помощью которого регулируется соответствие размеров движения ПЭП густотам пассажиропотока.

Кроме пространственной неравномерности пассажиропоток в пригородном сообщении характеризуется временной неравномерностью, то

есть объемы перевозок пассажиров изменяются в зависимости от месяца, дня недели, периода суток. Следует выделять внутригодовую (по месяцам), внутринедельную (по дням недели) и внутрисуточную (по часам) неравномерность.

Внутригодовая неравномерность пассажиропотока связана с изменением объемов перевозок пассажиров в пригородном сообщении в зависимости от месяца. Так, например, в летний сезон пассажиропоток в рабочие дни снижается, что связано с периодом отпусков у работников и учащихся. В соответствии с проведенным анализом месяцем максимальных перевозок в МЖУ является октябрь, а минимальный пассажиропоток зафиксирован в августе. Снижение объемов перевозок пассажиров в рабочий день в августе составляет 22% от уровня перевозок в рабочий день в октябре. На рисунке 1.5 представлена диаграмма, характеризующая внутригодовую неравномерность пассажиропотока в пригородном сообщении.

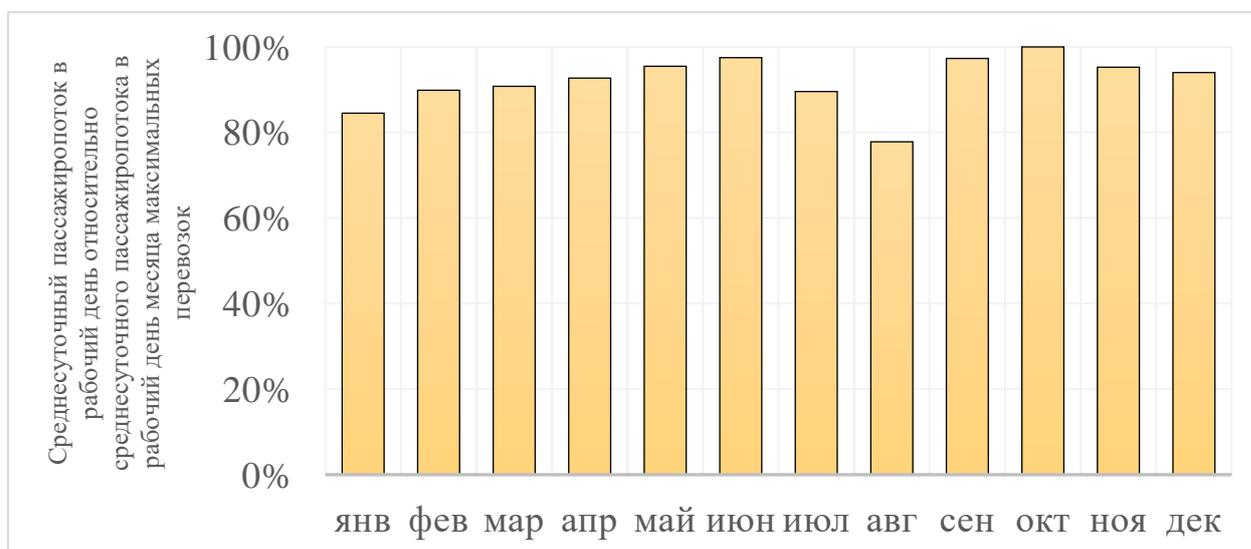


Рисунок 1.5 – Внутригодовая неравномерность пассажиропотока в пригородном сообщении

Внутринедельная неравномерность пассажиропотока характеризует динамику объемов перевозок пассажиров в течении недели. Проведенный анализ показал, что объемы перевозок пассажиров значительно снижаются в выходные дни. Суммарное падение объемов перевозок в субботу составляет

35%, а в воскресенье 46% от уровня перевозок в будний день (понедельник-четверг). Днем максимальных перевозок является пятница из-за увеличения количества пассажиров, выезжающих из агломерации, на 10%. Пассажиропоток въезжающих в агломерацию в пятницу находится на уровне остальных будних дней. Совокупный рост объемов перевозок пассажиров в пятницу составляет 6% от уровня буднего дня. На рисунке 1.6 представлена диаграмма, характеризующая внутринедельную неравномерность пассажиропотока в пригородном сообщении.

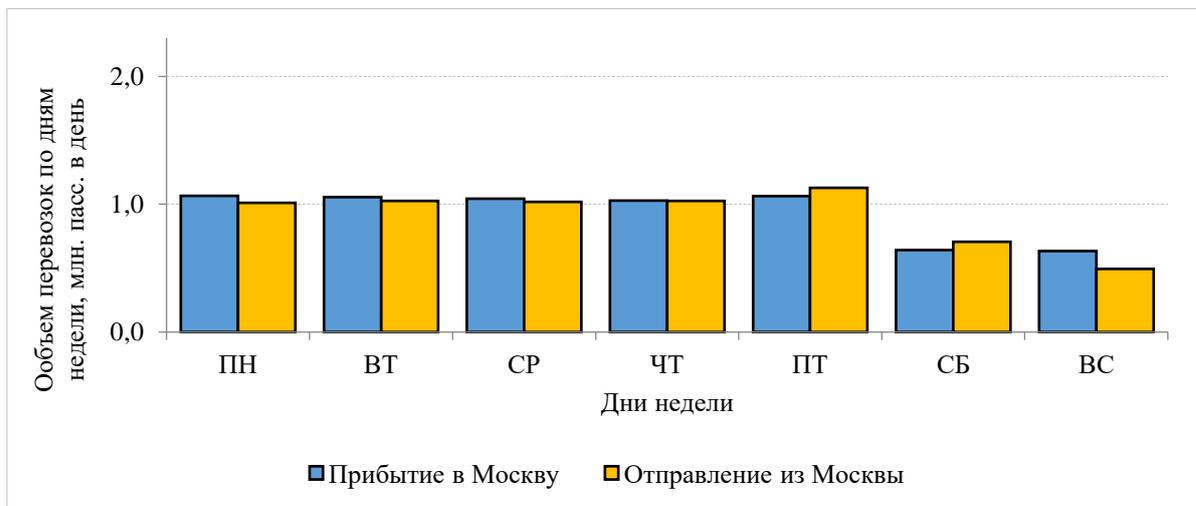


Рисунок 1.6 – Внутринедельная неравномерность пассажиропотока в пригородном сообщении

Внутрисуточная неравномерность характеризуется наличием пиковых периодов прибытия и отправления пассажиров. В моноцентрических агломерациях выделяют утренний пиковый период по прибытию в центр городской агломерации и вечерний пиковый период по отправлению из центра. Особенностью утреннего пикового периода является то, что он является более концентрированным, нежели более размытый вечерний. Одной из причин наличия пиковых периодов движения является характер пригородных перевозок в агломерации – обеспечение трудовых миграций, и как следствие пиковые периоды образуются только в будние дни. В выходные дни пассажиропоток равномерен на протяжении всего периода суток. В будние дни из-за наличия технологического окна в дневной период происходит падение пассажиропотока в дневной период. В пятницу по отправлению из

агломерации вечерний пиковый период смещается на более ранний период. На рисунке 1.7 представлен график, характеризующий внутрисуточную неравномерность пассажиропотока в пригородном сообщении.

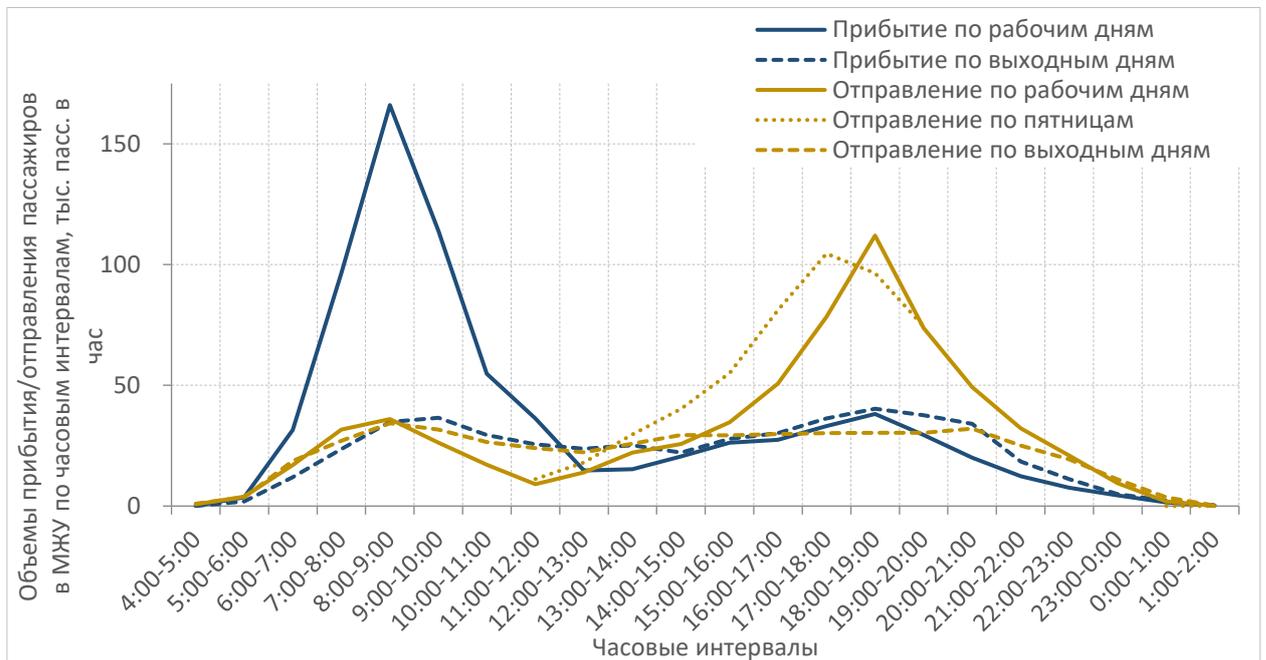


Рисунок 1.7 – Внутрисуточная неравномерность пассажиропотока в пригородном сообщении

Неравномерность пассажиропотока по времени вынуждает перевозчика создавать вариативные графики движения ПЭП. Текущей технологией предусмотрена разработка ядра графика движения ПЭП, в котором их часть может быть проложена только по рабочим или выходным дням. Например, в выходные дни проложены дополнительные поезда в то время, когда в рабочий день предусмотрено дневное технологическое окно. В рабочий день в пиковые периоды проложены дополнительные поезда на пассажиронапряженных участках, которые обеспечивают пиковые перевозки. При этом необходимо отметить что текущей вариативностью не учитывается внутригодовая неравномерность.

Еще одной особенностью пассажиропотока является то, что пассажиры в пригородном сообщении подстраиваются под расписание ПЭП и не прибывают на остановочные пункты равномерно. Более подробное описание

данной особенности будет изложено в третьей главе «Исследование транспортного поведения пассажира в пригородном сообщении».

На основании проведенного анализа сформулированы особенности пассажиропотока в пригородном железнодорожном сообщении:

1. Пассажиропоток в пригородном железнодорожном сообщении эластичен, а объемы перевозок зависят от параметров организации движения ПЭП и конкурирующих видов транспорта.

2. Пассажиропоток неравномерен в пространстве. В агломерациях на радиальных направлениях густота пассажиропотока снижается при удалении от головной станции.

3. Пассажиропоток неравномерен по времени. Выделяют внутригодовую, внутринедельную, внутрисуточную неравномерность пассажиропотока.

4. Пассажиры в пригородном сообщении подстраиваются под расписание движения ПЭП.

#### **1.4. Анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов в области организации пригородных перевозок**

Вопросам организации пассажирских перевозок в пригородном сообщении на железнодорожном транспорте посвящено множество работ отечественных и зарубежных учёных. Теоретическая научная база функционирования системы пригородных железнодорожных перевозок формировалась такими учеными как Ф.П. Кочнев, Н.И. Бещева, В.П. Кобзев [47], Ю.О. Пазойский, Н.В. Правдин, В.Г. Шубко, Д.Ю. Роменский [53, 78, 117-118]. Существенный вклад в развитие научного знания о принципах функционирования пригородных перевозок внесли и другие авторы [23, 42, 44, 48, 77, 99-100, 113].

В.Н. Образцовым заложены основы научных подходов к транспортному планированию при организации интенсивных пассажирских перевозок в

крупных городах. В его трудах еще в первой половине 20 века была предложена концепция организации диаметральных маршрутов пригородно-городских поездов в Москве [74, 114].

Основоположником научного направления в области организации пассажирских перевозок является профессор Ф. П. Кочнев. Автор, в своих работах [58-59] изучал вопросы организации пригородных перевозок, в том числе проблемы построения графика движения пригородных поездов и графика оборота составов, отмечал, что главным принципом организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте является обеспечение наилучшего обслуживания пассажиров с наименьшей себестоимостью. Автором решались задачи определения потребных размеров движения; организации зонного движения; распределения электропоездов по часам суток, в зависимости от пассажиропотока; обеспечение «комфортной» частоты движения электропоездов, при которой обеспечивается снижение времени ожидания пассажирами. Также автор отмечал, что при составлении расписания движения поездов необходимо обеспечить полное удовлетворение спроса пассажиропотока, в том числе в пиковые часы суток, равномерную населенность и минимальное время ожидания. [56]

Работы [18-22] Бещевой Н.И. посвящены организации пригородных и пригородно-городских перевозок, в том числе формированию диаметральных маршрутов в городских агломерациях. Автором сформирован комплекс требований к инфраструктуре, подвижному составу и организации движения электропоездов. Автор предлагает подход к определению размеров движения электропоездов за сутки с распределением по отдельным часам на основании пригородных пассажиропотоков. В предложенном подходе не учитывается возможность проезда пассажиров ближних зон в электропоездах более дальних зон, поэтому размеры движения по первым зонам при параллельном графике получаются завышенными, а, следовательно, подход применим только для классического зонного графика.

Значительный вклад в развитие теории организации пригородных перевозок и их оптимизации внес профессор Пазойский Ю.О [79-85]. В работе [80] решен ряд оптимизационных задач, в том числе: выбор оптимального числа технических зон и их размещение на участке; определение оптимальных размеров движения пригородных электропоездов по участкам обращения. Большое внимание автор уделял вопросам составления графика оборота подвижного состава и методам его оптимизации. Ряд задач оптимизации решаются с помощью линейного программирования. Всесторонность решаемых автором задач позволяет комплексно оценить эффективность выбранных параметров организации пригородных перевозок. Для решения поставленных задач принимались определенные допущения, например, объем перевозок пассажиров и интенсивность пассажиропотока устанавливались постоянными, не зависящими от размеров движения и параметров организации пригородных перевозок. Автор отмечал, что для обеспечения минимизации времени ожидания пассажиров в пригородном сообщении должна обеспечиваться равномерная прокладка пригородных электропоездов. В более поздних работах [84-85] автор отмечал, что равномерная прокладка пригородных электропоездов приводит к росту населенности дальнепригородных электропоездов в ближней пригородной зоне, и предлагал новые подходы к расчету оптимальных размеров движения пригородных электропоездов.

Развитию автоматизации и планирования перевозочного процесса в метрополитенах посвящены работы Л.А. Баранова, В.Г. Сидоренко, А.И. Сафронова, М.В. Новиковой [71]. Труды Баранова Л.А. [14-17, 54] посвящены внедрению беспилотных технологий в управлении движением городских рельсовых транспортных средств. Вклад в развитии автоматизации проектирования графиков движения поездов, на примере метрополитенов, внесен Сидоренко В.Г. [76, 87, 102-109]. В работах автора сформированы методологические и алгоритмические подходы к автоматизации процесса составления графика движения электропоездов и графика их оборота.

Основными требованиями культуры обслуживания пассажиров, установленными автором являются: обеспечение равных интервалов движения электропоездов и обеспечение равномерного изменения парности движения за счёт ввода/снятия составов через равные промежутки времени. В более поздних работах [108,109] автором исследована возможность применения генетических алгоритмов при автоматизации составления плановых графиков движения пассажирских электропоездов и графиков оборота поездов для метрополитена. Применение генетических алгоритмов при проектировании графиков движения электропоездов также находит отражение в трудах отечественных [115] и зарубежных авторов [120].

Многочисленные научные труды Вакуленко С.П., в соавторстве с Колиным А.В., Роменским Д.Ю., Айсиной Л.Р., Куренковым П.В. и др. [2-3, 29-31, 33-36, 42, 52, 62-63, 65, 94-98, 101, 115] внесли значительный вклад в формирование научного представления и перспектив развития пригородных, пригородно-городских и внутригородских перевозок.

Важность стратегического планирования при организации движения пригородных электропоездов и учитывающая потребности пассажиров посвящена работа [121]. В работе [126] формируется задача динамического планирования движения электропоездов, ориентированная на фактический спрос пассажиров.

Исходными данными при организации транспортного обслуживания населения и принятия управленческих решений о развитии технического оснащения являются прогнозные данные о величине пассажиропотока. Исследования закономерностям формирования пассажиропотоков были посвящены труды Н.В. Правдина, В.Я. Негрея, А.П. Артынова, Е.П. Локтева, Вакуленко С.П. [27,32] и других авторов [7-8].

Н. В. Правдин и В. Я. Негрей в своих работах [93-97] излагали проблемы прогнозирования величины пассажиропотока. Часть исследований была посвящена краткосрочному (внутристрочному) планированию пассажиропотоков, при этом прогнозные модели обеспечивали

прогнозирование только среднечасовых пассажиропотоков. Ученые отмечали важность прогнозирования величины пассажиропотоков для обеспечения эффективности пассажирских перевозок. А. П. Артынов [4] описывал способы получения количественных данных о величинах пассажиропотоков. Е. П. Локтев в работе [64] уделял внимание анализу факторов, оказывающих влияние на формирование пригородных пассажиропотоков.

Ряд зарубежных авторов изучали вопросы эластичности спроса пассажиропотока в пригородном сообщении и процесс подхода пассажиров на остановочные пункты [119, 124]. Исследование [122] посвящено изучению гибкости пассажиропотока в процессе подстраивания под расписание движения пригородных электропоездов.

Исследованию и разработке методов прогнозирования и моделирования пассажиропотоков, с использованием методов математического моделирования посвящены труды [5, 25, 37, 38, 45, 61]. Изучением методов управления транспортным поведением жителей мегаполиса посвящена работа Пищиковой О.В. [87].

Копылова Е.В. в работах [56-57, 76] на базе методов динамической транспортной задачи предложила технологию организации пассажиропотоков в пригородном сообщении. В работе предложена оптимизационная модель в которой с помощью управления ритмами отправления транспортных средств осуществляется переход к организованному пассажиропотоку. В более ранних работах автор исследовал интермодальные перевозки в пригородном сообщении [28, 44, 55].

Терзи В.И. в своей работе [111] на основе полученных статистических данных определил колебания, пространственную составляющую пассажиропотока в пригородном сообщении и предложил методы оптимизации пригородных перевозок: рационализация размеров движения пригородных электропоездов и продления маршрутов следования. Под продлением маршрутов следования автор понимал продление части пригородных электропоездов в Новосибирском узле на смежные участки до

ближайшей станции оборота, т.е. создание диаметральных маршрутов для обеспечения увеличения размеров движения пригородных электропоездов в ближней пригородной зоне.

В работе [67] Н.А. Муковнина изложила гипотезу, что доля пассажиропотока между корреспонденциями устойчива независимо от сезона и суммарной величины пассажиропотока. Автором рассмотрены алгоритмы выбора оптимального варианта организации движения пригородных электропоездов на участках с произвольным распределением пассажиропотоков и сферы применения схем работы засылочных составов пригородных электропоездов в зависимости от параметров участка и экономических факторов. В работе [68] рассматривается вопрос совершенствования пригородных перевозок за счет использования засылочных пригородных составов.

В работе О.А. Медведь [65] на основании сформированной структуры пассажиропотока и внешних процессов, влияющих на пользовательские предпочтения пассажиров, предлагается скорректировать точки прибытия пригородных электропоездов на головную станцию и назначать дополнительные пригородные электропоезда «целевого назначения», обслуживающие только целевую корреспонденцию пассажиропотока. В качестве критериев эффективности организации такого движения рассматривается сокращение времени нахождения в пути пассажиров, следующих в электропоездах «целевого назначения». Подход автора, учитывающий пользовательские предпочтения пассажиров, заслуживает внимания и детальной проработки, но предлагаемые методы удовлетворения потребностей для части пассажиров могут значительно ухудшить условия проезда для других пассажиров. Пропуск остановок пригородными электропоездами должен быть обоснован более детальным анализом корреспонденций, учитывающем не только увеличение времени ожидания электропоездов пассажирами пропускаемых корреспонденций, но и

количество пассажиров, которые вследствие ухудшения транспортной услуги откажутся от поездки железнодорожным транспортом.

Исследованию экономической и маркетинговой составляющей организации пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении, а также вопросам конкуренции с другими видами сообщения посвящены работы [24, 51, 60, 69, 71, 73, 116].

Изучением процессов формирования и функционирования городских агломераций, проблем их законодательного регулирования, определению агломерационных эффектов посвящены труды многих авторов [1, 26, 46, 75].

### **Выводы к 1 главе**

1. Транспорт ключевой элемент процесса формирования и развития городов, городских агломераций и урбанизированных территорий. Дальнейший рост и успешное функционирование городских агломераций и регионов можно обеспечить эффективно функционирующим железнодорожным транспортом.

2. Анализ отечественного и зарубежного опыта организации пригородных перевозок железнодорожным транспортом показал, что в России они обладают значительным и в настоящий момент нереализованным потенциалом.

3. Анализ пассажиропотоков в системах пригородного железнодорожного транспорта позволил выявить его особенности: эластичность, неравномерность во времени и пространстве, а также гибкость в подстраивании под расписание движения пригородных электропоездов.

4. Анализ выполненных исследований отечественными и зарубежными авторами показал, что в них рассмотрены и решены задачи определения экономической эффективности перевозок, прогнозирования величины пассажиропотока и спроса на перевозки, организации движения электропоездов, планирования перевозок и др.

## **2. ФОРМИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ И КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

### **2.1. Определение потребительских параметров качества сервиса перевозок в пригородном сообщении**

Потребительские параметры качества сервиса пригородных перевозок зависят от потребностей пассажиров в перевозках в пригородном сообщении, возникающих в моменты совершения маятниковой миграции. Маятниковая миграция – условное название регулярных, обычно ежедневных поездок населения из одного населённого пункта (места жительства) в другой (на работу или учёбу) и обратно. Маятниковая миграция является результатом несоответствия размещения производства и расселения людей. Особенно развита маятниковая миграция в пригородных зонах крупных городов, городских агломерациях, мегаполисах.

Потребности – вид функциональной или психологической нужды. Каждому пассажиру, совершающему поездку в пригородной сообщении, важно иметь возможность совершить поездку за определенное время, за определенную стоимость, с определенным уровнем комфорта. Таким образом, совокупность потребностей пассажиров, возникающих в моменты совершения поездки в пригородном сообщении, определяется следующими параметрами [11]:

- возможность совершить поездку;
- скорость поездки (время в пути);
- стоимость поездки;
- комфорт поездки.

Значимость тех или иных параметров зависит от нескольких факторов. Прежде всего необходимо отметить, что пригородные перевозки постоянно находятся в конкуренции с автомобильным транспортом, как личным, так и

общественным. Поэтому значимость параметров будет зависеть от уровня предоставляемого сервиса конкурирующих видов транспорта, уровня развития улично-дорожной сети (УДС) в транспортном коридоре, дальности поездки и время в пути.

Параметр «возможность совершить поездку» является базовым и должен отвечать на вопрос: «может ли пассажир сейчас совершить поездку?». Параметр определяется характеристиками расписания движения пригородных электропоездов в части режима работы (времени работы) и уровня надежности сервиса пригородных перевозок. К данному параметру относятся следующие показатели:

- наличие перерывов в движении;
- надежность работы сервиса пригородных перевозок;
- время открытия движения;
- время закрытия движения.

Дневной перерыв в движении пригородных электропоездов в будние дни связан с технологическим перерывом, необходимым на железнодорожных участках для проведения технических осмотров и текущих ремонтов. Наличие технологического перерыва днем связано с тем, что ранее установленными требованиями необходимо было выделять это время в светлое время суток. Наличие перерывов в движении негативно сказывается на оценке сервиса пригородных перевозок и неудовлетворенности спроса. Выполнение осмотров и ремонта железнодорожной инфраструктуры в современных условиях возможно в ночные периоды, поэтому технологические перерывы на участках с интенсивным движением пригородных электропоездов должны быть перенесены на ночь.

Надежность работы заключается в безотказности работы всех систем сервиса пригородных перевозок, в том числе безусловное выполнение расписания движения электропоездов. Пригородный сервис должен работать без сбоев, поэтому в графике движения поездов должны быть заложены резервы, обеспечивающие гибкость графика.

Время открытия движения определяется как время отправления первых электропоездов на ключевых конечных станциях в каждом направлении. Время закрытия движения определяется как время отправления (прибытия) последних электропоездов на ключевых конечных станциях в каждом направлении следования. Режим работы должен соответствовать транспортному спросу.

Параметр «скорость поездки» учитывает общую продолжительность поездки. Для пригородного пассажира общее время поездки включает в себя следующие элементы:

- время пешего подхода или подъезда от начальной точки до остановочного пункта;
- время ожидания пригородного электропоезда на остановочном пункте;
- время в движении;
- время на совершение пересадок;
- время пешего подхода или подъезда от остановочного пункта до конечной точки, маршрута следования пассажира.

Время пешего подхода зависит от расположения остановочных пунктов. Время ожидания пригородного электропоезда на остановочном пункте определяется как пассажиро-часы ожидания и зависит от равномерности прокладки ПЭП. Минимальные значения пассажиро-часов ожидания достигаются при тактовом графике движения.

Тариф определяет стоимость поездки. Стоимость и время в пути являются ключевыми параметрами, в сравнении которых пассажир выбирает вид транспорта при совершении маятниковой миграции. Соотношение стоимости и времени поездки аналогично выбору человека в вопросах цена-качество при покупках.

Комфорт является самым субъективным показателем, который для каждого пассажира уникален и зависит уровня жизни населения. Кроме того, восприятие уровня комфорта зависит от наличия и уровня сервиса

конкурирующего транспорта. Уровень комфорта зависит от следующих факторов:

- величина населенности составов пригородных электропоездов в пути их следования;
- эксплуатируемый моторвагонный подвижной состав (его состояние и возраст);
- состояние пассажирских обустройств;
- состояние транспортно-пересадочных узлов.

Оценить значимость тех или иных потребностей для пассажиров, совершающих поездку в пригородном сообщении, проблематично, они различаются для пассажиров различных пригородных зон. При совершении поездок на короткие дистанции более значимым показателем становится время ожидания пригородного электропоезда на остановочном пункте, потому что доля время ожидания в общем времени поездки увеличивается на коротких корреспонденциях. При совершении поездок на средние и длинные расстояния более значимым показателем становятся время в пути и комфорт в пути следования.

## **2.2. Разработка принципов оценки эффективности организации пригородных перевозок**

График движения поездов – основной нормативно-технологический документ, регламентирующий работу подразделений железнодорожного транспорта. От графика движения поездов зависит эффективность работы линейных подразделений железнодорожного транспорта, в том числе пригородных пассажирских компаний, которые осуществляют перевозку пассажиров в пригородном сообщении. Расписание движения ПЭП формируется в процессе разработки нормативного или проектного графика движения поездов, в котором ПЭП прокладываются во взаимосвязке с поездами других категорий: пассажирских и грузовых. От параметров

формируемого расписания движения ПЭП зависит не только удобство сервиса для пассажиров, которые для перевозчика пропорциональны объемам перевозок, но и прочие косвенные социально-экономические эффекты, важные для устойчивого развития территорий и городских агломераций.

Существует ряд показателей, характеризующих параметры разрабатываемого графика движения поездов, которые подразделяются на количественные и качественные. К количественным показателям относятся провозная и пропускная способность железнодорожной линии, к качественным – техническая и участковая скорость движения пассажирских и грузовых поездов, коэффициент участковой скорости. Данные показатели позволяют оценивать нормативные и проектные графики движения поездов на предмет качества прокладки грузовых, и отчасти пассажирских поездов, но не пригородных электропоездов.

Для проведения комплексной оценки проектируемых графиков движения поездов необходимо разработать подходы к оценке расписаний движения ПЭП, которая бы учитывала все нюансы и особенности организации движения ПЭП. Для этого необходимо определить принципы оценки эффективности организации железнодорожных перевозок в пригородном сообщении.

Оценка эффективности организации пригородных перевозок необходима для выбора и обоснования целевой функции, принимаемой при решении оптимизационных задач по организации пригородного сообщения. Эффективность зависит от того, для какого участника перевозочного процесса она устанавливается. Участниками перевозки пассажиров в пригородном сообщении, кроме пассажиров, являются пригородная пассажирская компания, владелец инфраструктуры и субъект федерации.

Пригородные пассажирские компании (ППК) были созданы в процессе реформирования железнодорожного транспорта, начавшегося в 2003 году. Основной функцией ППК является организация перевозок пассажиров в пригородном сообщении, а главным критерием их эффективности – прибыль

компании перевозчика. Функция, определяющая эффективность функционирования пригородных пассажирских компаний, описывается формулой 2.1.

$$\sum D - \sum R \rightarrow \max \quad (2.1)$$

где  $\sum D$  – доходы от пригородных перевозок, руб;

$\sum R$  – расходы на осуществление пригородных перевозок, руб;

Прибыль компании перевозчика определяется как разница между доходами от продаж билетов и расходами на организацию перевозок компании перевозчика. Одной из особенностей оптимизационных задач, решаемых отечественной железнодорожной наукой, было допущение того, что пассажиропоток, а, следовательно, и доходы от продажи билетов, являются исходными данными. В таком случае доходы становились фиксированной величиной, и задача сводилась к минимизации расходной части, с выполнением заданных ограничений, как показано в формуле 2.2.

$$\sum R \rightarrow \min \quad (2.2)$$

Недостатком такой постановки задачи является предположение, что пассажиропоток является постоянной величиной и не зависит от параметров организации движения ПЭП. Параметрами организации перевозок прежде всего являются размеры движения ПЭП и реализуемые межпоездные интервалы. С учетом того факта, что объемы перевозок пассажиров зависят от параметров организации перевозок, условная «оптимизация» расходов перевозчика зачастую приводила к снижению размеров движения, увеличению межпоездных интервалов и как следствие снижению пассажиропотока. Снижение пассажиропотока в свою очередь приводит к возникновению потребности в новой «оптимизации» и в конечном итоге к значительному снижению объемов перевозок.

Представленная выше функция не учитывает социальную значимость пригородных перевозок. Пригородные железнодорожные перевозки обеспечивают транспортную связанность районов агломераций и региона,

дают возможность населению осуществлять ежедневные трудовые поездки. Кроме того, создание качественной транспортной услуги позволяет обеспечить развитие территорий, рост уровня жизни и прочих агломерационных эффектов. Поэтому в целевую функцию эффективности организации пригородных перевозок должны быть включены дополнительные показатели, характеризующие удобство расписания для пассажиров.

Другим способом определения эффективности организации пригородных перевозок является подход с установлением целевой функции, ориентированной на максимизацию удельного финансового результата (в социально значимом проекте — минимизация отрицательного финансового результата), приходящегося на один пассажиро-км ( $Al$ ). Целевая функция с максимизацией удельного финансового результата приведена в формуле 2.3.

$$\frac{\sum D - \sum R}{\sum Al} \rightarrow \max \quad (2.3)$$

где  $Al$  – пассажирооборот, пассажиро-км;

Обе рассматриваемые целевые функции не учитывают того, что пригородные перевозки, 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. Убыточность пригородных перевозок осложняет использование предложенных выше подходов для определения параметров разрабатываемых расписаний движения электропоездов. Приведенные выше подходы определения эффективности пригородных перевозок являются причиной значительного сокращения размеров движения и их деградации по всей сети железных дорог России, за исключением МЖУ.

Одним из критериев оценки организации пригородных перевозок, который бы учитывал их социальную значимость, является объем перевозок пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном сообщении. Объем перевозок пассажиров может быть применим как критерий

эффективности при сравнении проектных графиков движения электропоездов. В таком случае исходные данные должны быть одинаковыми, для сравниваемых графиков. В общем виде предлагаемый подход описывается формулой 2.4.

$$\begin{cases} \sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}(K) \rightarrow \max \\ G, T, M, a^t, N_{i,j}^{r,d,p,t} = \text{const} \end{cases} \quad (2.4)$$

где  $K$  – качество построения графика движения пригородных поездов с точки зрения пассажира;

$G$  – топология транспортной сети, включающая в себя начальную и конечные станции сети, участки примыкания, зонные станции, количество путей отстоя и оборота, расположение и емкость депо;

$T$  – тарифное меню на перевозку пригородных пассажиров;

$M$  – парк моторвагонного подвижного состава;

$a^t$  – расчетная пассажировместимость моторвагонного подвижного состава соответствующего класса транспортного обслуживания;

$N_{i,j}^{r,d,p,t}$  – размеры движения пригородных электропоездов;

$i$  – станция отправления;

$j$  – станция назначения;

$r$  – режим остановок;

$d$  – день недели;

$p$  – период суток отправления пригородного электропоезда;

$t$  – характеристика класса транспортного обслуживания.

Для такой оценки необходимо проводить моделирование привлекаемого пассажиропотока проектным расписанием движения электропоездов.

В описанном выше выражении вводится величина  $K$  – качество построение проектного графика движения ПЭП с точки зрения пассажира. Параметр качества расписания движения ПЭП характеризует привлекательность расписания для пассажиров и прямо пропорционален объему привлечения пассажиров на сервис пригородных перевозок при

неизменных параметрах, характеризующих данный сервис (топология сети, тарифное меню, парк моторвагонного подвижного состава), как установлено в формуле 2.5.

$$K_i = \frac{\sum AL_i}{\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}}} \quad (2.5)$$

$K_i$  – качество расписания движения пригородных поездов в  $i$  – проектном графике движения поездов;

$\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}_i$  – количество привлеченных пассажиров в пригородном сообщении в  $i$  – проектном графике движения поездов, пасс-км;

$\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}}$  – емкость рынка пассажирских перевозок в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении, пасс-км.

У пассажиров, как правило, существуют устоявшиеся транспортные привычки и маршруты маятниковой миграции, а смена места приложения труда или проживания происходит в течении продолжительного периода. Данный факт осложняет возможность применения предлагаемого подхода, ведь эффекты от предлагаемых графиковых мероприятий могут быть оценены не ранее чем через 5-10 лет. Поэтому при оценке качества расписания для пассажиров необходимо учитывать, как оно удовлетворяет его базовым потребностям в перевозке.

Не всегда задаваемые параметры организации пригородного сообщения являются оптимальными. Размеры движения пригородных электропоездов являются одним из ключевых эксплуатационных параметров организации их движения, который прямо влияет на объемы привлекаемого пассажиропотока. При отсутствии движения ПЭП по участку величина пассажиропотока равна нулю. При последовательном росте размеров движения ПЭП величина пассажиропотока увеличивается условно прямо пропорционально, до достижения определенного уровня насыщения, при котором каждый дополнительный ПЭП привлекает меньше пассажиров. При полном удовлетворении спроса на перевозки повышение размеров движения не

обеспечивает привлечение дополнительного пассажиропотока. Общий вид графика зависимости величины привлекаемого пассажиропотока от размеров движения пригородных электропоездов представлен на рисунке 2.1. Формируемая на рисунке область функциональной зависимости является отражением параметра качества построения графика, от которого зависит величина привлекаемого пассажиропотока при равных исходных данных.

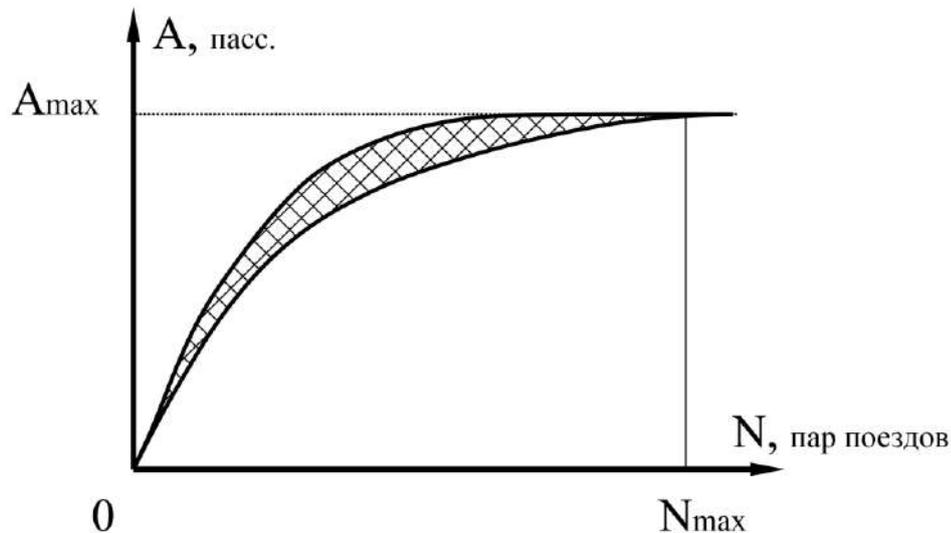


Рисунок 2.1 – Общий вид графика зависимости величины привлекаемого пассажиропотока от размеров движения пригородных электропоездов при неизменных параметрах системы организации движения

Необходимо отметить, что данный подход не учитывает в какие периоды суток (пиковый или непиковый) прокладываются ПЭП и является достаточно условным. В общем виде размеры движения ПЭП должны находиться в диапазоне между обеспечивающими условное ( $N_{min}$ ) и полное ( $N_{max}$ ) насыщение рынка перевозок в пригородном сообщении.

Исходя из описанного выше подхода можно сформировать определение для понятия **комфортный межпоездной интервал**. Комфортный интервал - интервал движения ПЭП, обеспечивающих полное освоение/привлечение пассажиропотока в пригородном сообщении. Учитывая, что размеры движения обратно пропорциональны среднему межпоездному интервалу между ПЭП в рассматриваемый период, значение комфортного межпоездного

интервала, обеспечивающего максимум привлечения пассажиров, можно описать следующим выражением:

$$I_{\text{кофм}} \rightarrow \max(I) \text{ при } AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}} \approx AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}} \quad (2.6)$$

где  $I_{\text{кофм}}$  – интервал движения пригородных электропоездов, обеспечивающий полный охват рынка пригородных перевозок, мин;

Значение комфортного межпоездного интервала в рамках данного диссертационного исследования будет формироваться в рамках изучения плотности вероятности подхода пассажиров на остановочный пункт и определения пороговых значений интервала движения пригородных пассажиров.

### **2.3. Формирование перечня показателей, определяющих качество расписания движения пригородных электропоездов**

Показателем эффективности организации пригородных перевозок, как на высокоинтенсивных, так и мало интенсивных пригородных направлениях должны быть достигаемые социально-экономические эффекты, поэтому разрабатываемая методика оценки расписания движения ПЭП должна быть комплексной и учитывать, как экономические, так и социальные показатели.

Эффективность расписания движения ПЭП может быть определена набором показателей, оценивающим его общее качество для конечных потребителей транспортного продукта – пассажиров и других участников перевозочного процесса. При разработке технического задания на составление графика движения пригородных электропоездов (ГДПЭП) могут задаваться целевые значения параметров, так и пределы возможных допущений. Набор целевых качественных параметров ГДПЭП может быть определен, исходя из стандарта качества обслуживания пассажиров, разработанного перевозчиком или органом исполнительной власти. [13]

Соблюдая постулат «качество (стандарт) – это деньги (расходы)», необходимо также в набор показателей ГДПЭП для сравнительного анализа

включать оценки эффективности расходных параметров, а также отслеживать динамику доходов перевозок в различных горизонтах участка обращения электропоездов. Система оценок должна позволять вести сравнительный анализ различных вариантов ГДПЭП при проектировании и концептуальной проработке масштабных проектов развития транспортных систем, например, МЦД или ВСМ в МЖУ, а также проводить ретроспективный анализ и оценивать степень воздействия качества расписания на спрос.

Набор целевых качественных параметров графика движения должен учитывать привлекательность расписания движения ПЭП для всех участников перевозочного процесса: пассажиров, перевозчика, владельца инфраструктуры, заказчика перевозок. Для каждого из участников существуют ключевые показатели, определяемые их потребностями.

#### ***Показатели для оценки качества построения графика пассажиров***

Для пассажиров, пользователей сервиса пригородных перевозок ключевой потребностью является необходимость прибытия на станцию назначения ровно в необходимое пассажиру время с максимальной скоростью, без ожидания на остановочном пункте, без пересадок в пути следования, с комфортом, за минимальную стоимость и без задержек. Комфорт поездки характеризуется населенностью пригородных электропоездов на различных участках в различные периоды суток, а также отсутствием вынужденных пересадок в пределах одной линии, вызванных выбранным режимом остановок пригородных электропоездов разных маршрутов. Скорость поездки или время в пути в первую очередь характеризуется выбранным режимом остановок для ПЭП различных маршрутов, а также зависит от времени ожидания ПЭП на станции. Кроме того, необходимо отметить, что для пользователя транспортного пригородного сервиса также важен параметр надежности выполнения графика движения, наличие резервов, позволяющий пользователям планировать свои поездки. Исходя из вышесказанного, показатели, определяющие качество ГДПЭП для пассажира, должны характеризовать:

- время ожидания электропоезда на остановочном пункте;
- время в пути (маршрутная скорость);
- время на совершение пересадок в пределах одного направления;
- населенность пригородного электропоезда;
- надежность расписания движения поездов.

С помощью представленных выше показателей можно охарактеризовать общий уровень удовлетворенности организации пригородных перевозок железнодорожным транспортом со стороны пассажиров. Однако, общий уровень удовлетворённости имеет прямую зависимость с величиной привлекаемого пассажиропотока, поэтому при возможности проведения моделирования величины привлекаемого пассажиропотока для различных вариантов организации движения пригородных электропоездов, предложенный перечень должен быть заменен на единый критерий:

- количество перевезенных пассажиров (пассажирооборот);

***Показатели для оценки качества построения графика перевозчиком***

Для перевозчика, выполняющего заказ субъекта федерации в части выполнения заданного объема перевозок, ключевыми показателями, характеризующими график движения поездов, являются пассажирооборот и эффективность использования перевозочных ресурсов. От объема перевезенных железнодорожным транспортом в пригородном сообщении пассажиров зависят доходы перевозчика, поэтому ему важно обеспечить привлекательность своей услуги. Эффективность использования перевозочных ресурсов определяется задействованием наименьшего количества составов ПЭП (эффективность использования подвижного состава), минимизацией простоев локомотивных бригад (эффективность использования локомотивных бригад), при обеспечении заданных объемов перевозок. Исходя из вышесказанного, показатели, определяющие качество ГДПЭП для перевозчика, должны характеризовать:

- количество перевезенных пассажиров (пассажирооборот);
- эффективность использования подвижного состава;

– эффективность использования локомотивных бригад.

### ***Показатели для оценки качества построения графика владельцем инфраструктуры***

Для владельца инфраструктуры пригородные перевозки являются не единственным видом деятельности. Кроме пригородного движения на магистральных участках курсируют также пассажирские и грузовые поезда, при этом основные доходы владелец инфраструктуры получает именно от грузовых перевозок. Пригородные перевозки выполняют важнейшие социальные функции и поэтому субсидируются государством посредством прямых выплат субсидий перевозчику, а также косвенно, с помощью предоставления 99% скидки на пользование инфраструктурой. Природа данной скидки является элементом перекрестного субсидирования пригородных перевозок грузовыми перевозками, именно поэтому для владельца инфраструктуры важно обеспечить возможность прокладки грузовых ниток на участках с интенсивным движением пригородных электропоездов, чтобы обеспечить эффективность коммерческой деятельности.

Параметры грузового движения зависят также от выбранной схемы организации пригородных перевозок. В случаях организации пригородных перевозок по существующей инфраструктуре без развития дополнительной инфраструктуры параметры грузовых перевозок могут значительно ухудшаться, вплоть до полной отмены грузового движения на участке обращения пригородно-городских электропоездов. [66]

Невозможность пропуска грузовых поездов между пригородными электропоездами объясняется большим временем, необходимым на разгон и замедление грузовых поездов, а также на опробование их тормозов на перегоне. Это особенно касается местных сборных грузовых поездов, имеющих несколько остановок на участке для выполнения операций по прицепке – отцепке вагонов. Одним из возможных решений осуществления

грузового движения на участках с интенсивным движением пригородных поездов является уменьшение весовых норм и длин грузовых поездов. [73]

При реализации программы развития пригородно-городских перевозок в ЦТУ по участкам обращения пригородно-городских электропоездов размеры движения местных грузовых поездов были снижены, нитки грузовых поездов были перенесены на ночное время, что отразилось на показателях работы Московской железной дороги (МЖД). При этом на ночной период также был перенесен технологический перерыв, что дополнительно снизило возможности для пропуска грузовых поездов. [6]

При ограничении пропуска грузовых поездов в «ночной» период суток происходит их «сгущение». Это приводит к нарушению ритмичного пропуска грузовых поездов всех категорий, что, в свою очередь, приводит к:

- концентрации маневровой работы на технических станциях, связанных с процессом окончания формирования грузовых поездов;
- концентрации грузовой работы в ночной период на грузовых станциях (грузовые операции необходимо выполнить за «ночной» период, для того чтобы не допустить задержки вагона в узле на сутки);
- увеличению ресурсов, требуемых для осуществления перевозочной деятельности и местной грузовой работы (поездных локомотивов, маневровых локомотивов, локомотивных бригад, ПРМ и т.п.);
- необходимости в развитии станционной инфраструктуры (потребность в увеличении путей парков технических и грузовых станций, длины путей грузовых фронтов);
- уменьшению производительности работы работников железнодорожного транспорта и коэффициента использования локомотивов, ПРМ и т.п;
- увеличению времени нахождения вагонов в узле (связано с увеличением времени ожидания нитки графика на технических и грузовых станциях).

Для обеспечения круглосуточного развоза местного груза рекомендуется специализация главных путей, предусматривающая внутреннее расположение путей для движения пригородно-городских поездов и внешнее для поездов остальных категорий, которая позволит организовать продвижение сборных поездов до промежуточных станций независимо от движения пригородно-городских поездов. [49]

Исходя из вышесказанного параметром, определяющим качество прокладки грузовых поездов в графике движения в силу специфики работы технических и грузовых станций, является равномерность прокладки ниток грузовых поездов. Также важными параметрами являются скорость и размеры движения грузовых поездов в графике движения. На участках с интенсивным движением пригородно-городских электропоездов параметры пропуска грузовых поездов (равномерность пропуска грузовых поездов, в том числе сборных, обеспечение пропуска заданных размеров движения в грузовом сообщении) зависят от графика движения поездов. В графике движения должны быть предусмотрены слоты для пропуска грузовых поездов, в том числе местных, для обеспечения грузовой работы на участке.

Кроме пропуска грузовых поездов владельцу инфраструктуры важно обеспечить пропуск пассажирских поездов, также выполняющих социальные функции и связывающие регионы страны между собой. Особенностью прокладки на графике пассажирских поездов является совпадение их пиковых периодов отправления и прибытия с пиковыми периодами пригородных перевозок. При этом зачастую из-за установленных приоритетов в прокладке ниток в нормативном графике движения поездов и пропуске поездов в фактическом (пассажирские поезда имеют более высокий приоритет) именно пригородные перевозки страдают от движения пассажирских поездов. На участках с интенсивным движением пригородных электропоездов они должны иметь приоритет на уровне пассажирских поездов, при этом отказываться от пропуска пассажирских поездов недопустимо. При разработке графика движения поездов необходимо предусматривать такой

такт графика пригородных электропоездов, который будет учитывать необходимость прокладки пассажирских поездов.

Параметрами, определяющими качество прокладки пассажирских поездов в графике движения в силу специфики организации пассажирского движения, являются величина временных сдвижек времени прибытия/отправления пассажирских поездов от нормативного графика и величина общего времени замедления пассажирских поездов от нормативной скорости движения.

Кроме того, в соответствии с договором об организации движения пригородно-городских электропоездов, включающего пункты о финансовых рисках владельца инфраструктуры и перевозчика перед заказчиком перевозок за несоблюдение нормативного графика движения поездов, надежность графика движения поездов, то есть резервы пропускной способности, тоже являются важным фактором для владельца инфраструктуры. Исходя из вышесказанного показателями, определяющими качество графика движения поездов для владельца инфраструктуры, должны характеризовать:

- качество прокладки ниток пассажирских поездов (скорость пассажирских поездов, размеры движения пассажирских поездов, отклонение времени прибытия пассажирских поездов от планируемых значений);
- качество прокладки ниток грузовых поездов (скорость грузовых поездов, размеры движения грузовых поездов, равномерность прокладки ниток грузовых поездов, наличие резервов пропускной способности);
- надежность графика движения поездов.

***Показатели для оценки качества построения графика заказчиком перевозок***

В соответствии с практикой организации пригородных пассажирских перевозок их заказчиком являются субъекты федерации. Региональные департаменты транспорта представляют интересы пассажиров и поэтому показатели, определяющие качество ГДПЭП, с одной стороны будут соответствовать требованиям пассажиров. С другой стороны, заказчик

перевозок в силу убыточности пригородных перевозок субсидирует перевозчика, и поэтому показатели качества ГДПЭП, важные для перевозчика, будут также применимы и для региональных департаментов транспорта.

Важным показателем для региональных властей является то, насколько пригородные перевозки железнодорожным транспортом осваивают рынок перевозок пассажиров в пригородном сообщении. В соответствии с классификацией «PAM, TAM, SAM, SOM» [123] рынок перевозок пассажиров в пригородном сообщении можно классифицировать следующим образом (рисунок 2.2):

PAM (Potential Available Market) – потенциально доступный рынок перевозок в пригородном сообщении с учетом предполагаемого роста численности населения.

TAM (Total Addressable Market) – общий объем рынка поездок в пригородном сообщении (включает совершаемые поездки на личном и общественном транспорте в рассматриваемом транспортном коридоре.)

SAM (Served/Serviceable Available Market) – доступный объем рынка перевозок пассажиров общественным транспортом в пригородном сообщении. (включает в себя объем перевозок автобусами и электропоездами).

SOM (Serviceable & Obtainable Market) – реально достижимый объем перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении.



Рисунок 2.2 – Рынок перевозок пассажиров в пригородном сообщении

При оценке доли рынка перевозок пассажиров в пригородном сообщении, осваиваемого железнодорожным транспортом акцент должен быть сделан на реально достижимый объем перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении (SOM). И хотя между рассматриваемыми видами транспорта существуют конкуренция, они должны обеспечивать транспортную доступность для населения и дополнять друг друга. В случае если пригородные перевозки не до конца используют свой потенциал, то пассажиропоток перераспределяется между другими видами транспорта: личными автомобилями и автобусами. И если автобусное сообщение дополняет пригородные железнодорожные перевозки, то поездки на личном автотранспорте приводят к возникновению заторов на улицах города, увеличению потребности инвестиций в дорожное строительство и ряд других негативных факторов. Необходимо отметить, что пригородный железнодорожный транспорт не должен полностью осваивать SOM, а обеспечивать такие размеры движения, при которых будет достигаться экономическая целесообразность организации движения.

Исходя из вышесказанного показателями, определяющими качество ГДПЭП для заказчика перевозок, являются:

- субсидий пригородным пассажирским компаниям;
- освоение реально достижимого рынка пассажирских перевозок в пригородном сообщении железнодорожным транспортом.

Более детально параметры, характеризующие качество расписания движения электропоездов, и методы их расчета и оценки рассмотрены в приложении В. Схема, иллюстрирующая перечень критериев, определяющих привлекательность расписания движения электропоездов для всех участников перевозочного процесса приведена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Перечень критериев, определяющих привлекательность расписания движения пригородных электропоездов для всех участников перевозочного процесса

Все критерии, характеризующие график движения пригородных электропоездов условно разделены на четыре категории:

1. Критерии, характеризующие потребительские параметры качества расписания движения пригородных электропоездов;
2. Критерии, характеризующие эффективность использования перевозочных ресурсов;
3. Критерии, характеризующие параметры прокладки ниток пассажирских поездов;
4. Критерии, характеризующие параметры прокладки ниток грузовых поездов.

Разрабатываемый порядок оценки ГДПЭП ориентирован на оценку проектных графиков движения поездов, построенных для пригородного направления, с горизонтом оценки на сутки. При этом могут возникать ситуации, когда необходима оценка ГДПЭП не по направлению целиком, а по определенному участку или маршруту, либо оценка расписания по отдельному остановочному пункту. Временным горизонтом оценки графика может

служить год, сутки, час, либо любой другой установленный период. Также при особых условиях оценка может производиться отдельно по направлению следования, либо в оба направления.

В зависимости от размеров рассматриваемого полигона оценка графика движения пригородных электропоездов может производиться для:

- подразделения, полигона перевозчика, железнодорожного узла, железной дороги или региона;
- пригородного железнодорожного направления в определенных границах (ограниченное маршрутами следования пригородных электропоездов);
- целевого расчетного маршрута движения (под маршрутом понимается выделенный от остального движения сервис, который эксплуатируется на определенном маршруте, например, маршрут экспресса или аэроэкспресса), либо целевой корреспонденции пассажиропотока (под целевой корреспонденцией понимается выделенная корреспонденция, например, Москва – Крюково и т.п.);
- участка обращения поездов – группа перегонов между смежными или несмежными зонными станциями;
- остановочного пункта или станции.

В зависимости от продолжительности рассматриваемого периода оценка графика движения пригородных электропоездов может производиться на: год; сутки (в зависимости от дня недели расчет может производиться для рабочего, либо выходного дня); или период суток (в зависимости от пассажиропотока период суток может быть пиковый, либо непиковый; период расчёта может находиться в диапазоне от 30 минут до 3 часов).

В зависимости от особенностей расчета оценка графика движения пригородных электропоездов может осуществляться для: одного (по направлению следования – «к центру агломерации» или «от центра агломерации») или обоих направлений.

Перечень критериев методики оценки ГДПЭП с указанием возможности применения показателей в зависимости от размера рассматриваемого полигона, горизонта расчета и других особенностей расчета представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Перечень критериев для оценки графика движения пригородных поездов с указанием возможности применения показателей в зависимости от размера рассматриваемого полигона, горизонта расчета и других особенностей оценки

Наименование показателя	Полигон				Горизонт		Особенности	
	Направление	Маршрут	Участок	Ост. пункт	Сутки	Период	В оба напр.	Одно напр.
<b>Оценка потребительских параметров расписания движения (1 вариант)</b>								
Пассажирооборот (пассажиро-км)	+	+	+	-	+	+	+	+
Пассажиропоток (пасс.)	-	-	-	+	+	+	+	+
Населенность пригородных электропоездов по участкам	+	+	-	-	+	+	+	+
<b>Оценка потребительских параметров расписания движения (2 вариант)</b>								
Скорость сообщения	-	+	+	-	+	+	+	+
Математическое ожидание межпоездного интервала	-	+	+	+	-	+	+	+
Коэффициент вариации межпоездного интервала	-	+	+	+	-	+	+	+
Количество корреспонденций, не имеющих прямого пригородного сообщения	+	-	-	-	+	+	+	+
<b>Эффективность использования перевозочных ресурсов</b>								
Пробег составов пригородных электропоездов	+	+	+	-	+	+	+	+
Простой составов пригородных электропоездов под оборотом	-	-	+	+	+	+	+	-
Время работы локомотивных бригад	+	+	+	-	+	+	+	+
Коэффициент рабочего времени локомотивных бригад	+	+	-	-	+	-	+	-
Расчетное количество составов пригородных электропоездов	+	+	-	-	+	-	+	-
<b>Параметры прокладки ниток пассажирских поездов</b>								
Поездо-часы замедления скорости следования пассажирских поездов, относительно исходного, при разработке расписания движения пригородных электропоездов	+	-	+	-	+	-	+	+
Поездо-часы сдвижек времени прибытия/отправления пассажирских поездов, относительно исходного, при разработке расписания движения пригородных электропоездов	+	-	-	+	+	-	+	+
<b>Параметры прокладки ниток грузовых поездов</b>								
Размеры движения	+	-	+	-	+	-	+	+
Маршрутная скорость	+	-	+	-	+	-	+	+
Равномерность прокладки	+	-	+	-	+	-	+	+
+/- указывает возможность применения показателя в зависимости от размера рассматриваемого полигона, горизонта расчета и других особенностей								

В таблице 2.1 указывается возможность применения показателей в зависимости от размера рассматриваемого полигона, горизонта расчета и

других особенностей. Для включения показателя в итоговый перечень необходимо, чтобы он был применим для каждого из трех условий. Для сравнения показателей может быть применена методика единичных расходных ставок, либо методика весовых коэффициентов.

Для определения ряда показателей оценки: пассажирооборота и населенности пригородных электропоездов, требуется проведение исследования транспортного поведения пассажиров в пригородном сообщении. Необходимо определить, как расписание влияет на привлекаемый пассажиропоток, как распределяются пассажиры между ПЭП и другие поведенческие предпочтения пассажиров в пригородном сообщении. Исследованию транспортного поведения пассажиров в пригородном сообщении посвящена 3 глава диссертации.

Проведенный анализ позволяет сформировать принципы оценки качества построения проектных графиков движения пригородных электропоездов:

- подход к оценке качества построения графика движения пригородных электропоездов должен быть комплексным, т.е. используемые при оценке показатели должны учитывать интересы всех участников перевозочного процесса: пассажира, пригородной пассажирской компании, владельца инфраструктуры и заказчика перевозок;

- учет интересов владельца инфраструктуры должен производиться при оценке проектных графиков, построенных на инфраструктуре общего пользования в условиях дефицита пропускной способности, с помощью системы показателей, учитывающих параметры прокладки ниток грузовых и пассажирских поездов;

- потребительские параметры качества проектного графика движения пригородных электропоездов должны оцениваться через величину перевезённого или привлеченного пассажиропотока;

- в случае невозможности определения величины пассажиропотока для различных вариантов проектного графика учет потребительских

параметров качества может осуществлять с помощью ряда показателей, учитывающих различные аспекты совершаемой пассажиром поездки;

– итоговое сравнение вариантных графиков движения, оценённых с помощью предложенных показателей, может осуществляться с помощью метода единичных расходных ставок или весовых коэффициентов, определяемых экспертами.

## **2.4. Формирование требований к организации пригородного сообщения**

На основании сформированного перечня показателей, определяющих качество ГДПЭП для всех участников перевозочного процесса, разработаны требования к графику движения пригородных электропоездов:

1. График движения пригородных электропоездов должен обеспечивать минимизацию времени ожидания пассажирами пригородных электропоездов, т.е. равномерно обслуживать корреспонденции пассажиропотока рассматриваемого направления.

2. Размеры движения пригородных электропоездов по участкам с одной стороны должны обеспечивать не превышение допустимой населенности пригородных электропоездов, а с другой не должно возникать ситуаций, при которых низкая населенность пригородного электропоезда не обеспечивает экономическую целесообразность организации движения.

3. График движения пригородных электропоездов должен обеспечивать ускорение ПЭП дальних зон, за счет пропуска остановок в средней и ближней пригородной зоне. При этом должно выполняться условие, при котором снижаемые суммарные пассажиро-часы в движении для ускоряемых корреспонденций пассажиропотока превышают возникающие суммарные пассажиро-часы ожидания пересадки.

$$A_{1-i-1}^{i+1-n} \cdot T_{\text{движ}}^{\text{уск}} > \left( A_i^{i+1-n} \left( T_{\text{пер } i}^{\text{возн}} + T_{\text{ож } i}^{\text{уб}} \right) \right) + \left( A_{1-i-1}^i \left( T_{\text{пер } 1-i-1}^{\text{возн}} + T_{\text{ож } 1-i-1}^{\text{уб}} \right) \right) \quad (2.7)$$

$A_{1-i_{-1}}^{i_{+1}-n}$  – пассажиропоток, следующий с участка  $1 - i_{-1}$  на участок  $i_{+1} - n$ , пасс.;

$A_i^{i_{+1}-n}$  – пассажиропоток, следующий со станции  $i$  на участок  $i_{+1} - n$ , пасс.;

$A_{1-i_{-1}}^i$  – пассажиропоток, следующий с участка  $1 - i_{-1}$  на станцию  $i$  пасс.;

$T_{\text{движ}}^{\text{уск}}$  – время ускорения движения при пропуске станции  $i$ , час;

$T_{\text{пер}}^{\text{возн}}$  – время на возникающие необходимые пересадки, час;

$T_{\text{ож}}^{\text{ув}}$  – время увеличивающегося ожидания пригородного поезда, час.

4. График движения пригородных электропоездов должен не ухудшать параметры прокладки поездов других категорий: пассажирских и грузовых.

Построение графика движения поездов с учетом приведенных выше требований позволяет достичь наилучших параметров качества транспортного обслуживания населения. В соответствии с представленными выше требованиями сформированы следующие принципы организации движения ПЭП на пригородных направлениях с высокой интенсивностью движения:

1. применение тактового расписания движения;
2. систематизация режима остановок пригородных поездов;
3. организация движения без перерывов в движении (перенос дневного технологического окна на ночной период);
4. применение параллельного графика движения поездов на головном участке для достижения его максимальной пропускной способности;
5. интенсификация размеров движения пригородных электропоездов на головных участках в пиковые периоды в приоритетном направлении.

Тактовое расписание – это расписание, при котором общественный транспорт движется с постоянными интервалами, в отличие от расписания, составляемого в зависимости от пассажиропотока в конкретное время и

имеющего нерегулярные интервалы. Целью тактового расписания является повышение привлекательности и гибкости общественного транспорта.

Тактовое движение организуется на всех видах общественного транспорта, однако наибольшая эффективность от реализации движения с постоянными интервалами достигается только при обеспечении высокой надежности соблюдения графика движения. Это возможно только в изолированных системах: трамвай на выделенном полотне, метрополитен, железная дорога (при условии выделения путей под конкретный вид перевозок). Эти системы практически или полностью не зависят от движения иных видов транспорта, имеют минимальные задержки.

Тактовые расписания впервые были введены в конце 19 века для городского общественного транспорта: трамваев, метрополитена, железной дороги в окрестностях больших городов. В настоящее время во многих странах, имеющих развитые пригородно-городские и городские железнодорожные системы, используется тактовое расписание движения поездов.

Тактовое расписание применяется и на железнодорожном транспорте, например, за рубежом при организации пригородного и межрегионального сообщения, а также на некоторых пригородных маршрутах и участках в Москве и Санкт-Петербурге. Особенностью организации тактового расписания в пригородном сообщении является наличие зонного движения, а также применение непараллельного графика, что в значительной мере усложняет процесс планирования тактового расписания. Т.е. если вы организуете тактовое расписание на определенном автобусном маршруте, то вам достаточно выбрать интервал движения. Для пригородного направления вам необходимо выбрать размеры движения, последовательность пропуска электропоездов, их режим остановок и время прибытия/отправления на головную станцию направления, а также увязать это все с пропуском пассажирских и грузовых поездов.

Для железнодорожного транспорта определение тактового графика можно сформулировать следующим образом. **Тактовый график движения пригородных электропоездов** – график движения, обеспечивающий систематизированное, повторяемое через установленный период в течении суток расписание движение пригородных электропоездов на всем протяжении пригородного направления.

Виды тактовых графиков движения в зависимости от выделения периодов с повышенной интенсивностью движения:

1. график движения с постоянными интервалами в течении суток;
2. график движения с выделением пиковых периодов.

Выделение пиковых периодов движения пригородно-городских поездов необходимо в случаях наличия выжаренного роста пассажиропотока в определенные периоды суток для обеспечения транспортного обслуживания населения.

Систематизация режима остановок движения пригородных электропоездов должна происходить одновременно с вводом тактовых расписаний, так как при систематизации выравнивается время хода пригородных электропоездов по участкам, что необходимо для обеспечения равномерности. При систематизации режима остановок появляется логика порядка обслуживания транспортных пунктов.

Применение параллельного графика движения поездов на головном участке для достижения его максимальной пропускной способности и интенсификация размеров движения на головных участках в пиковые периоды в приоритетном направлении должны происходить в случаях наличия транспортного спроса на перевозки в данные периоды движения поездов.

Преимущества тактового графика движения:

1. Равномерность движения пригородных электропоездов обеспечивает минимизацию времени ожидания на остановочных пунктах.

2. Предсказуемость для пассажиров выражается в простоте понимания логики расписания движения и в отсутствии необходимости подстраиваться под расписание.

3. Возможность создания узнаваемого бренда пригородной перевозочной компании.

4. Повышение эффективности использования подвижного состава и локомотивных-бригад за счет систематизации и оптимизации времени оборота составов на зонных станциях.

### **Выводы к 2 главе**

1. Анализ показал, что на сегодняшний день не существует единой утвержденной методики оценки расписания движения пригородных электропоездов, а применяемые пригородными пассажирскими компаниями не учитывают все нюансы и особенности организации движения.

2. Определены участники перевозочного процесса и сформирован перечень показателей, которые должны учитывать привлекательность расписания движения пригородных электропоездов для каждого из них: пассажира, перевозчика, владельца инфраструктуры, заказчика перевозок.

3. Определено, что потребительские параметры качества могут оцениваться величиной привлеченного пассажиропотока, либо совокупностью параметров, которые учитывают возможность пассажиром совершить поездку, её продолжительность (скорость), стоимость и комфорт. Величина пассажиропотока зависит от качества расписания движения пригородных электропоездов.

4. Сформированы требования к организации движения пригородных электропоездов. Применение графика движения с тактовым расписанием движения пригородных электропоездов, обеспечивает достижение наилучших параметров качества транспортного обслуживания населения.

### **3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПОВЕДЕНИЯ ПАССАЖИРОВ В ПРИГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ**

#### **3.1. Исследование закономерностей подхода пассажиров на остановочные пункты пригородных электропоездов**

При решении оптимизационных задач организации пригородных перевозок принимаются определенные допущения. Например, величина интенсивности зарождения пассажиропотока задается постоянной в течении пикового или непикового периода при решении задачи выбора схемы прокладки поездов на графике и для решения оптимизационных задач с критерием минимума пассажиро-часов ожидания. Однако, как показал анализ, интенсивность подхода пассажиров неравномерна, пассажиры подстраиваются под расписание движения пригородных электропоездов. Подвозящий автотранспорт тоже подстраивает свое прибытие на станцию или остановочный пункт к отправлению пригородного электропоезда.

Для более точного определения населенности пригородных электропоездов, параметров пассажиро-часов ожидания, пассажиро-часов в движении при построении оптимизационных моделей организации пригородных перевозок необходимо уточнение параметров подхода пригородных пассажиров к станции или остановочному пункту.

Цель исследования заключается в определении закономерностей прибытия пригородных пассажиров на пассажирские остановочные пункты для определения технико-технологических параметров организации пригородных перевозок. [7]

#### ***Анализ данных о проходах пассажиров на остановочные пункты***

Для исследования был выбран полигон Октябрьского направления МЖД, включающий в себя участки Москва-Пассажирская – Тверь, Решетниково – Конаково ГРЭС. Данный полигон был выбран по следующим критериям:

1. На полигоне отсутствует тактовое движение пригородных электропоездов, что позволяет определить зависимость подхода пассажиров от межпоездного интервала с точностью до 1 минуты.

2. На направлении, вследствие наличия скоростного движения, возникают перерывы в движении пригородных электропоездов, в том числе и в пиковые периоды, что позволит лучше выявить существующие зависимости подхода пассажиров.

3. На полигоне достаточно развиты ускоренные пригородные перевозки по повышенному тарифу, что позволит проследить зависимость неравномерности подхода пассажиров от категории тарифа на перевозку.

4. На полигоне значительное число остановочных пунктов оборудовано турникетами, что позволит использовать данные о проходах пассажиров через турникетные комплексы. Возможность получения дополнительных данных о пассажирах является одним из преимуществ сплошного контроля оплаты проезда с помощью турникетов [110].

Использовались данные прохода пассажиров через турникетные комплексы на основных пассажирообразующих станциях рассматриваемого полигона в период с 12 декабря 2021 по 30 апреля 2022 года с момента ввода нового графика движения. За данный период было совершено более 5,1 млн. проходов на рассматриваемых остановочных пунктах. При обработке статистической информации учитывались следующие параметры:

- станция отправления;
- станция назначения;
- время прохода;
- дата прохода;
- категория тарифа.

Собранная статистическая информации была обработана, а проходы пассажиров через турникетные линейки по каждой станции были сегментированы с учетом пункта назначения (остановочные пункты были разбиты на зоны, соответствующие маршрутам пригородных поездов), дня

недели (учитывались рабочий/выходной день) и применяемого тарифа (обычный/повышенный). После этого данные по проходам пассажиров по каждой станции и каждому остановочному пункту для каждого рассматриваемого сегмента были сопоставлены с действующим расписанием ПЭП для каждого сегмента данных (день недели, тариф).

При обработке данных производилась их коррекция для исключения влияния следующих факторов:

1. Пассажиры могут покупать билеты одного тарифа, а следовать в пригородных электропоездах другого класса. Так, пассажиры, купившие билет по повышенному тарифу (разовый билет или абонемент), совершают поездки в электропоездах, следующих со всеми остановками, если данный маршрут более предпочтителен для них, а пассажиры, купившие билет по обычному тарифу, могут совершать поездку в ускоренной электропоезде, не оплатив проезд. Такая особенность наблюдалась при межпоездных интервалах, превышающих 45 минут.

2. В рассматриваемый период на исследуемом полигоне происходили значительные изменения в расписании следования пригородных электропоездов из-за предоставления окон для проведения технических работ.

На основании обработанных результатов были получены данные об интервале поступления пассажиров на остановочных пункт до прибытия пригородного электропоезда. Исследованием установлено, что на распределение подхода пассажиров на остановочный пункт оказывает влияние межпоездной интервал до и после отправления пригородного электропоезда. В зависимости от величины межпоездного интервала изменяются параметры распределения подхода пассажиров. Выделим характерные ситуации (сценарии) расписания движения и распределения подхода пассажиров. [8]

1. Малая интенсивность движения пригородных электропоездов. Межпоездной интервал до и после отправления ПЭП более 60 минут. Распределение характеризуется низкой интенсивностью подхода пассажиров

на остановочный пункт в период более 30 минут до отправления и резким падением после. Мода графика распределения подходов пассажиров находится в диапазоне 10 – 15 минут до отправления ПЭП.

2. Средняя интенсивность движения пригородных электропоездов.

Межпоездной интервал до и после отправления ПЭП находится в диапазоне от 15 до 30 минут в течении рассматриваемого периода. График распределения подхода пассажиров является менее растянутым, чем при низкой интенсивности. Мода графика находится в диапазоне 5-10 минут до отправления пригородного электропоезда. Интенсивность подхода пассажиров на протяжении всего периода не снижается ниже 30% от максимальной интенсивности подхода пассажиров в рассматриваемый период.

3. Высокая интенсивность движения пригородных электропоездов.

Межпоездной интервал до и после отправления ПЭП не превышает 15 минут в течении рассматриваемого периода. График распределения подхода пассажиров остается волнообразным, но стремится к линейной зависимости. Мода графика находится в диапазоне 3-7 минут до отправления пригородного электропоезда. Интенсивность подхода пассажиров на протяжении всего периода не снижается ниже 80% от максимальной интенсивности подхода пассажиров в рассматриваемый период.

4. Неравномерная интенсивность движения пригородных электропоездов. При отправлении двух ПЭП подряд (в интервале, не превышающем 5-10 минут) при интервалах более 30 минут до и после отправления рассматриваемой пары электропоездов график распределения видоизменяется. Так для первого из двух отправляемых в паре электропоездов мода графика распределения смещается ближе ко времени отправления с 10-15 минут в интервал 4-8 минут до отправления, а мода второго теоретически может находиться за пределами периода межпоездного интервала. При этом совместный график распределения подхода пассажиров является симметричным остальным.

На рисунках 3.1 – 3.4 приведены примеры гистограммы подхода пассажиров, соответствующие описанным выше характерным ситуациям.

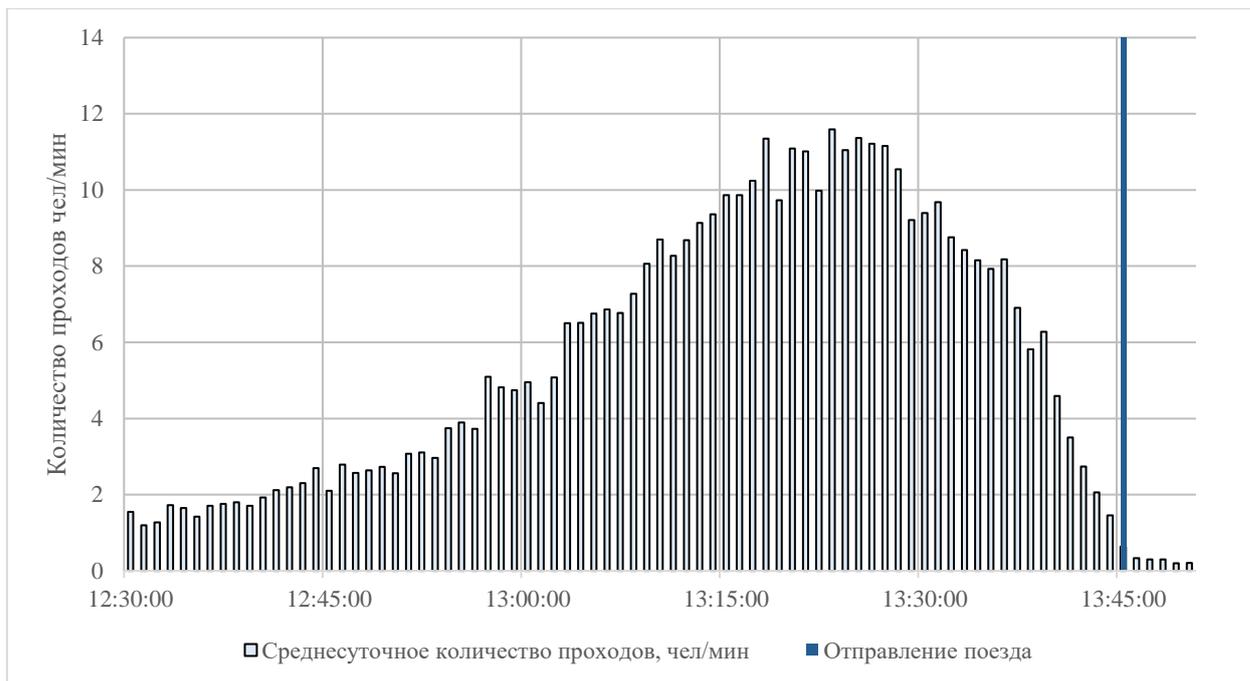


Рисунок 3.1 – Гистограмма подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, следующих на остановочный пункт Тверь, в выходной день по повышенному тарифу с 12:30 по 13:50

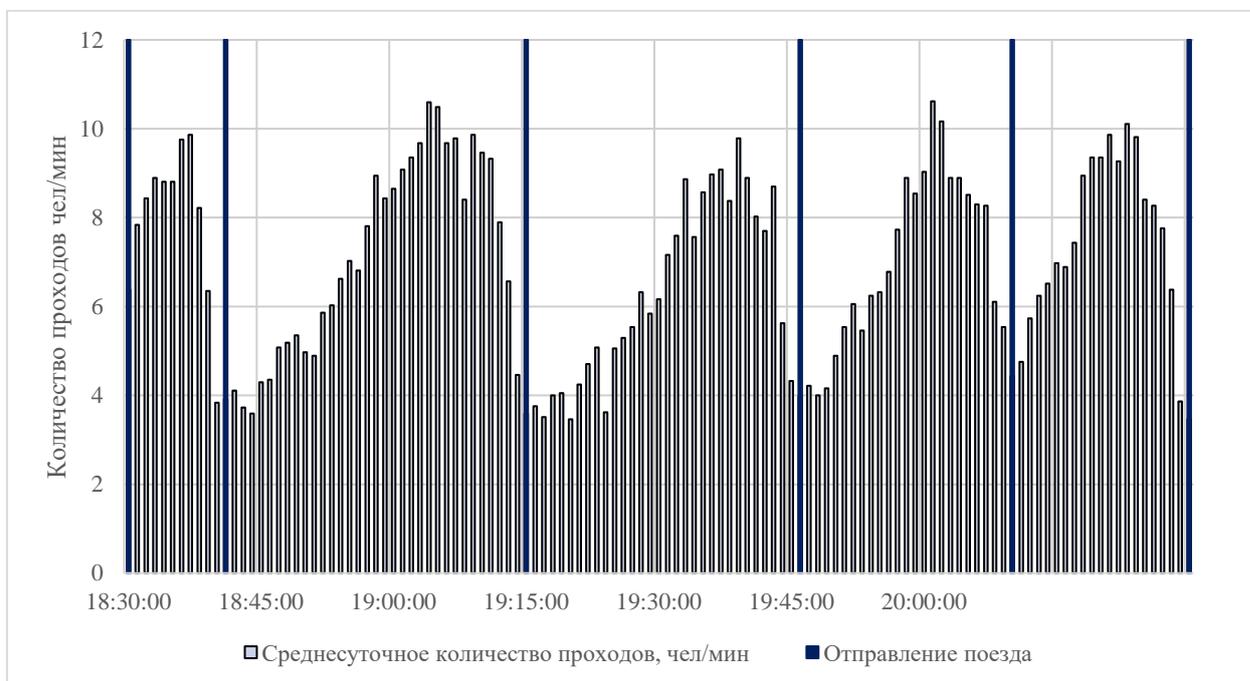


Рисунок 3.2 – Гистограмма подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, следующих на остановочные пункты Химки, Сходня, Крюково, в выходной день по повышенному тарифу с 18:30 по 20:30

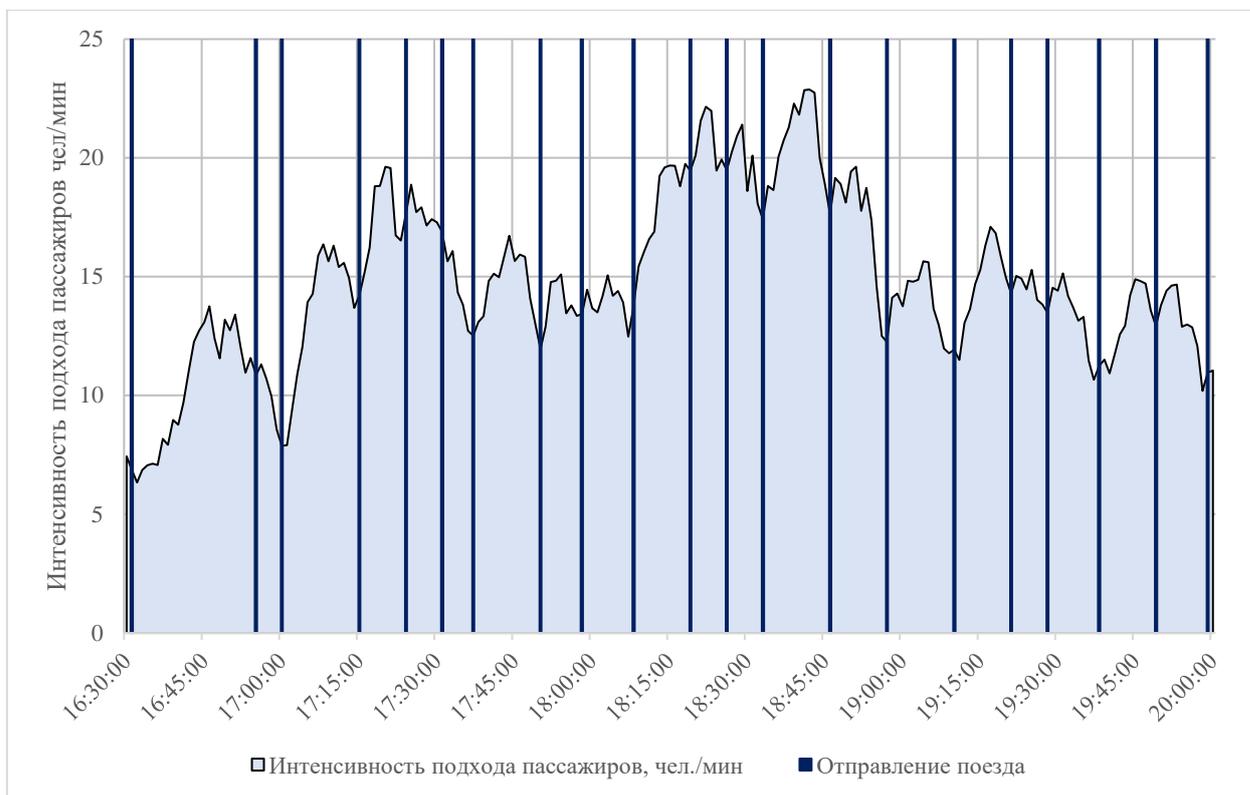


Рисунок 3.3 – Интенсивность подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, следующих на остановочные пункты Химки, Сходня, Крюково, в рабочий день по обычному тарифу с 16:30 по 20:00

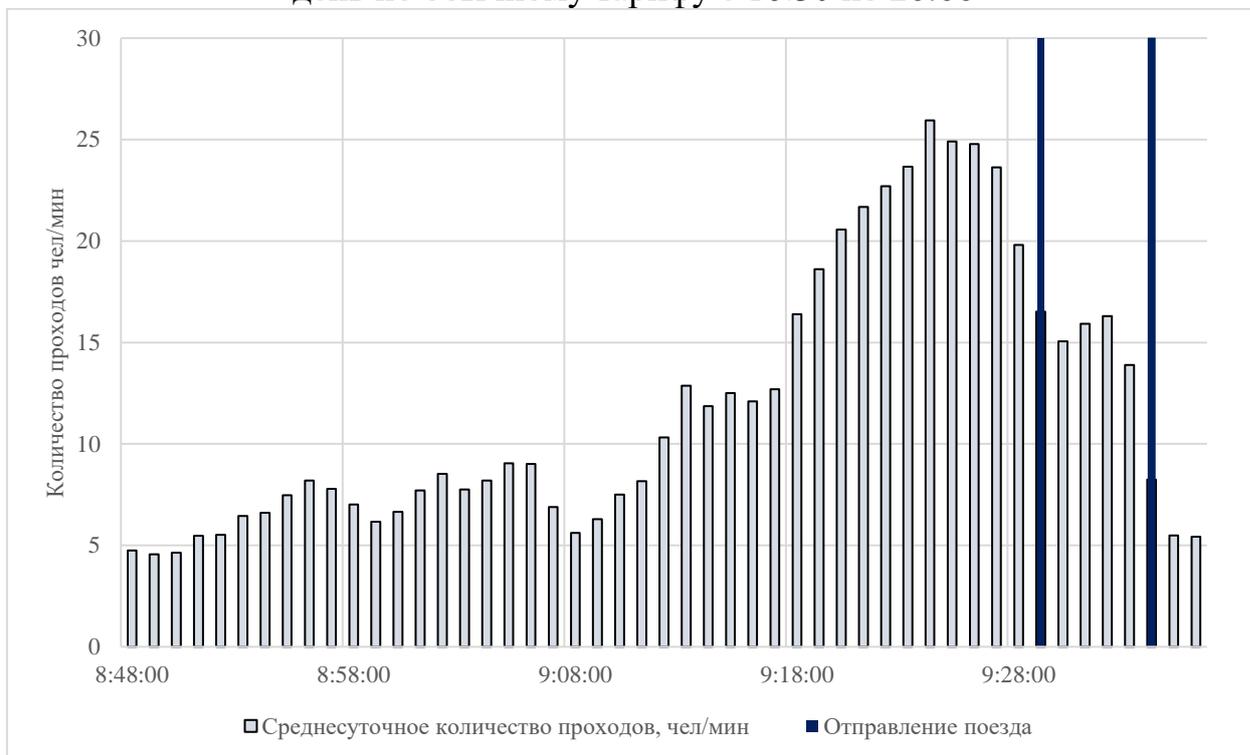


Рисунок 3.4 – Гистограмма подхода пассажиров на о.п. Крюково, следующих по направлению в Москву, в выходной день по повышенному тарифу с 8:48 по 9:36

Распределение подходов пассажиров различается в зависимости от описанных выше сценариев. При малой интенсивности движения пригородных электропоездов (рисунок 3.1) прослеживается правосторонняя асимметричность распределения подходов пассажиров. Распределение характеризуется низкой интенсивностью подхода пассажиров на остановочный пункт в период более 30 минут до отправления поезда и резким падением после. Мода распределения подхода пассажиров находится в диапазоне 10 – 15 минут до отправления пригородного электропоезда.

При интенсивном движении электропоездов с интервалами, не превышающими 15 минут (рисунок 3.3), распределение подхода пассажиров остается правосторонне асимметричным, но при этом распределения подхода пассажиров становится концентрированным, мода распределения находится в диапазоне 3-7 минут до отправления пригородного электропоезда. Интенсивность подхода пассажиров на протяжении всего периода не снижается ниже 30% от максимальной интенсивности подхода пассажиров в рассматриваемый период.

При отправлении двух пригородных электропоездов подряд в интервале, не превышающем 5-10 минут (рисунок 3.4), при интервалах более 30 минут до и после отправления рассматриваемой пары электропоездов, график распределения становится похожим на плотность распределения при малой интенсивности движения, но при этом для первого из двух отправляемых в паре электропоездов мода распределения смещается ближе ко времени отправления с 10-15 минут в диапазон 4-8 минут до отправления, а мода второго теоретически находится за пределами периода межпоездного интервала. Совместное распределение подхода пассажиров является правосторонне асимметричным.

На рисунке 3.5 представлены многоугольники распределения подхода пассажиров на посадку в электропоезд в зависимости от величины межпоездного интервала перед отправлением электропоезда. При построении принято условие, что пригородный электропоезд отправляется в конце

минуты, указанной в расписании, а пассажир, приходящий на пассажирскую платформу в ту же самую минуту, прибывает за 0,5 минут до отправления электропоезда.

Ось абсцисс задана временем, относительно времени отправления пригородного электропоезда, а ось ординат вероятностью подхода пассажира пригородного электропоезда в интервал времени, продолжительностью одна минута. На рисунке представлено распределение подхода пассажиров в период от 0 до 20 минут до отправления электропоезда, а также 5 минут после отправления. Распределение подхода пассажиров на остановочный пункт определялось по формулам 3.1 и 3.2.

$$P_k(x) = \frac{N_x^k}{N_k} = 1 \quad (3.1)$$

$$N_k = \sum_{0,5}^{k-0,5} N_x^k \quad (3.2)$$

$$x \in \{-4,5; -3,5; \dots \dots 0,5; 1,5; 2,5; \dots \dots k - 0,5\}$$

где  $P_k(x)$  – вероятность подхода пассажира на остановочный пункт в интервал времени  $x$  до отправления пригородного электропоезда;

$N_x^k$  – количество случаев прохода пассажиров на остановочный пункт в интервал времени  $x$  до отправления пригородного электропоезда, пасс;

$N_k$  – суммарное количество случаев прохода пассажиров на остановочный пункт в период до отправления пригородного электропоезда, пасс.;

$k$  – межпоездной интервал перед отправлением пригородного электропоезда (на рисунке 3.5 представлены значения от 5 минут до диапазона 61-1440 минут), мин.

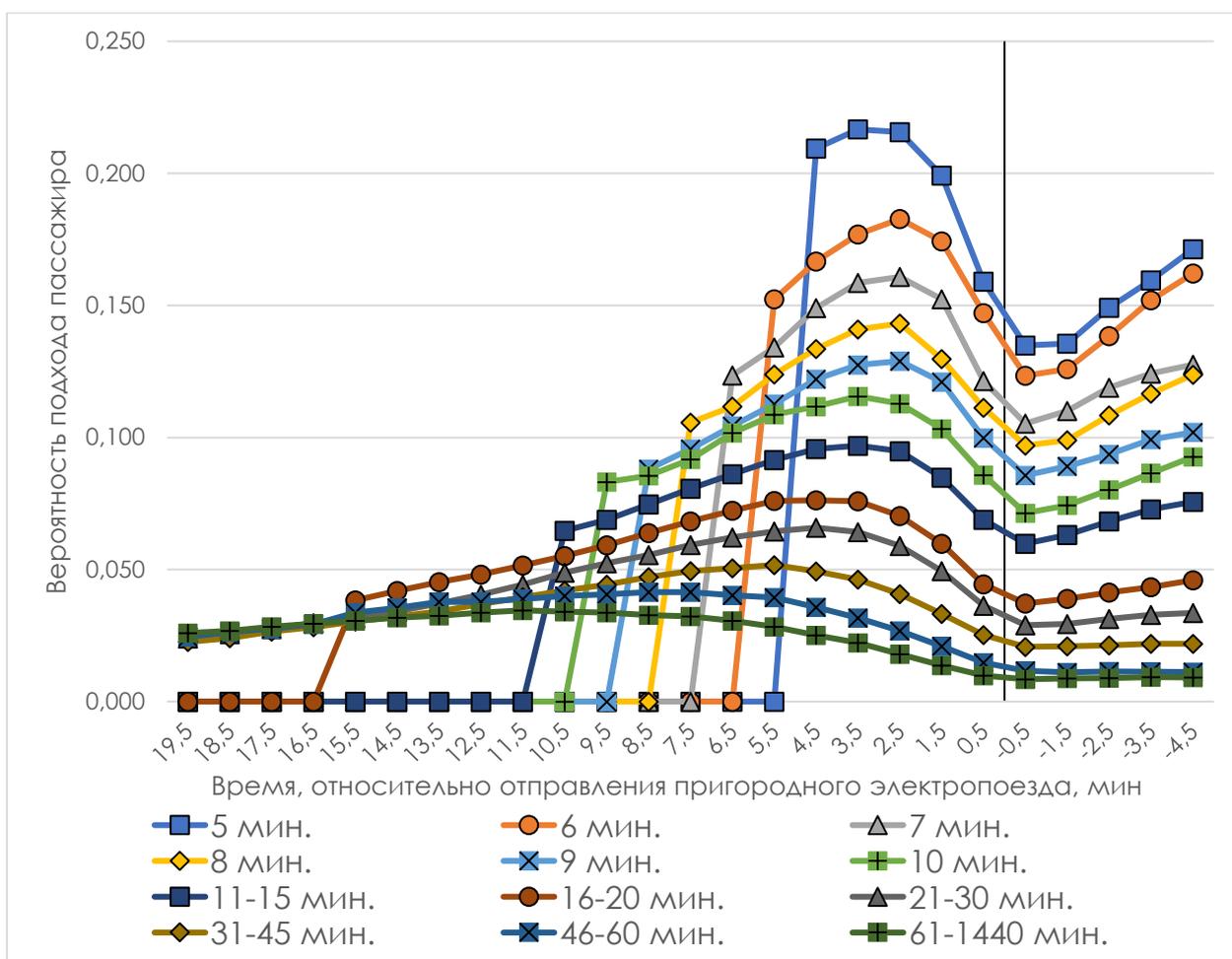


Рисунок 3.5 – Многоугольники распределений подхода пассажиров на посадку в электропоезд в зависимости от межпоездного интервала перед отправлением электропоезда

***Аппроксимация функции распределения подхода пассажиров на остановочный пункт в зависимости от межпоездного интервала***

При отправлении пригородного электропоезда через незначительный интервал после отправления рассматриваемого электропоезда (до 15 минут) искажаются параметры распределения подходов пригородных пассажиров, поэтому для аппроксимации функции плотности распределения необходимо исключить влияние подхода пассажиров к другим пригородным электропоездам, отправляющимся позже. Для аппроксимации функции будут учитываться только те статистические данные, в которых после отправления пригородного электропоезда следующий отправляется не ранее чем через 30 минут (рисунок 3.6).

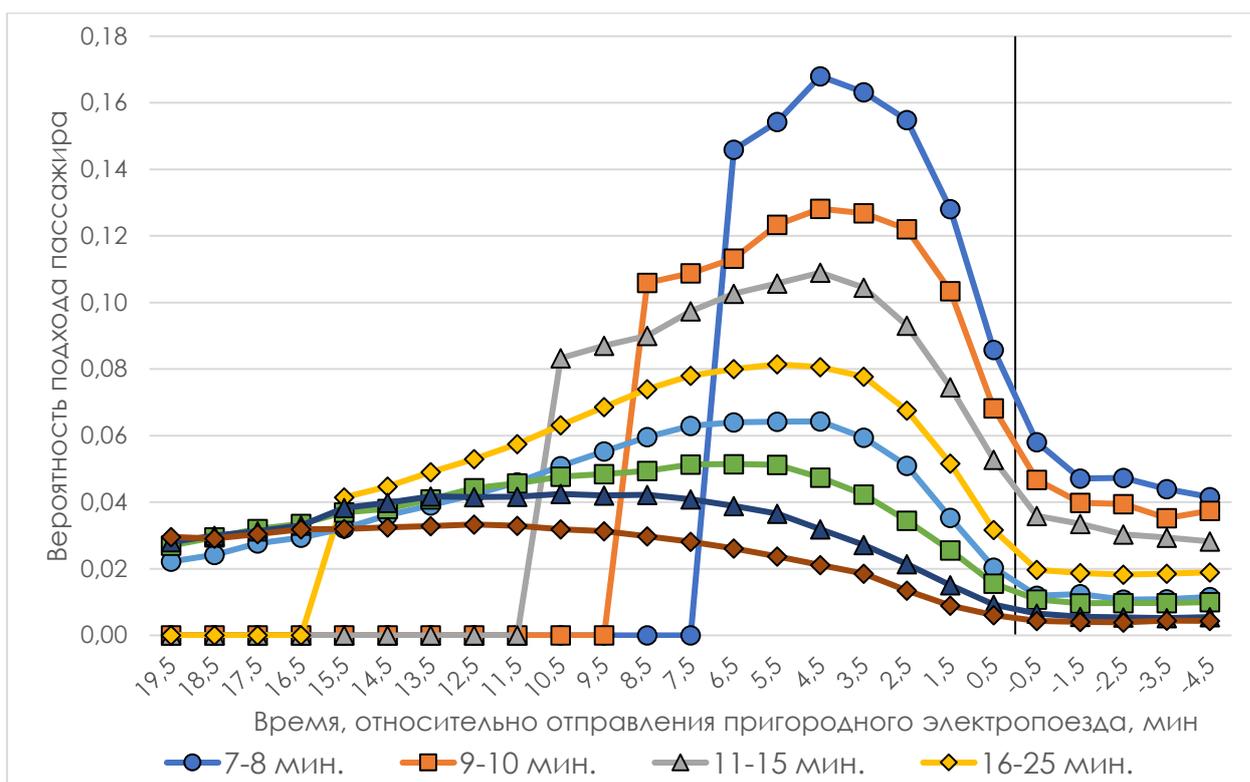


Рисунок 3.6 – Многоугольники распределений подхода пассажиров на посадку в электропоезд в зависимости от межпоездного интервала перед отправлением электропоезда в ситуациях, при которых следующий электропоезд отправляется более чем через 30 минут

На рисунке 3.6 представлены полученные в результате обработки статистических данных распределения. Распределения имеют выраженный экстремум, который при уменьшении межпоездного интервала смещается ближе к оси  $Y$ , но при этом не достигает нулевого значения. Распределение подходов пассажиров на остановочный пункт является ассиметрично правосторонним распределением. Необходимо отметить, что распределение подхода без учета опаздывающих пассажиров, происходит от 0 до бесконечности, что соответствует полубесконечному носителю распределения. Наиболее подходящими для аппроксимации данного распределения являются **гамма-распределение**, **логнормальное распределение** и **логлогистическое распределение**.

Полученные данные показывают, что часть пассажиров опаздывает ко времени отправления электропоезда. Поэтому при аппроксимации функции плотности для рассматриваемых распределений необходимо добавлять

коэффициент сдвига ( $k$ ) по оси  $X$ . Часть пассажиров при межпоездном интервале до 30 минут приходит на остановочный пункт до отправления предыдущего пригородного электропоезда, поэтому в рассматриваемый диапазон попадает только часть пассажиров и, следовательно, необходимо ввести дополнительный параметр (коэффициент охвата ( $c$ )), характеризующий распределение и показывающий, какая часть пассажиров приходит на пассажирскую платформу в установленный межпоездной интервал. Коэффициент охвата ( $c$ ) необходим только для подбора значений других параметров.

Формула плотности распределения гамма-распределения при добавлении коэффициента сдвига и коэффициента охвата принимает вид:

$$f(x|a, \beta, k, c) = (x + k)^{a-1} \frac{e^{-\beta(x+k)} \beta^a}{\Gamma(a)} \cdot \frac{1}{c} \quad (3.3)$$

для  $x > 0$ ;  $a, \beta > 0$ ;  $k \in \mathbb{R}$ ;  $c \in (0; 1]$

Формула плотности распределения логнормального распределения при добавлении коэффициента сдвига и коэффициента охвата принимает вид:

$$f(x|\mu, \sigma, k, c) = \frac{1}{(x + k)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln(x+k)-\mu)^2/2\sigma^2} \cdot \frac{1}{c} \quad (3.4)$$

для  $x > 0$ ;  $\sigma > 0$ ;  $\mu, k \in \mathbb{R}$ ;  $c \in (0; 1]$

Формула плотности распределения логлогистического распределения при добавлении коэффициента сдвига и коэффициента охвата принимает вид:

$$f(x|a, \beta, k, c) = \frac{(\beta/a)((x+k)/a)^{\beta-1}}{(1 + ((x+k)/a)^\beta)^2} \cdot \frac{1}{c} \quad (3.5)$$

для  $x > 0$ ;  $a > 0$ ;  $\beta > 0$ ;  $k \in \mathbb{R}$ ;  $c \in (0; 1]$

Для выбора аппроксимирующей функции плотности распределения подхода пассажиров на остановочный пункт был проведен регрессионный анализ и подобраны параметры описанных распределений. Подобранные значения приведены в приложении Г в таблицах Г.1-3. У подобранных распределений и статистических данных совпадают экстремумы, а также лево и право сторонняя кривизна имеют сходство.

Оценка степени согласованности статистических данных и теоретических распределений проверялось по критерию  $\chi^2$  Пирсона. При оценке степени согласованности не учитывались значения после и за одну минуту до отправления рассматриваемого электропоезда и значения после отправления электропоезда, предшествующего рассматриваемому (от 1 до 5 в зависимости от продолжительности межпоездного интервала). Вероятность того, что распределение  $\chi^2$  со степенью свободы 331 превзойдет меру расхождения  $\chi^2$  рассматриваемых распределений составляет: для гамма- и логнормального распределения менее 0,01, для логлогистического – 0,82. На основании данных значений можно признать гипотезу, что подход пассажиров под посадку описывается плотностью распределения логлогистического распределения, правдоподобной. Данный факт объясняется более «тяжелыми» хвостами данного распределения, по сравнению с рассматриваемыми.

На рисунке 3.7 представлены гистограммы плотности распределения подхода пассажиров на посадку в электропоезд при межпоездном интервале 11-15, 26-30 и 61-90 минут перед отправлением и межпоездном интервале более 30 минут после, а также графики аппроксимирующей функцией плотности логлогистического распределения соответственно.

Для данного распределения необходимо определить, как изменяются переменные (параметры масштаба  $a$  и формы  $\beta$ , а также коэффициент сдвига  $k$ ) в функции в зависимости от величины межпоездного интервала после отправления пригородного электропоезда.

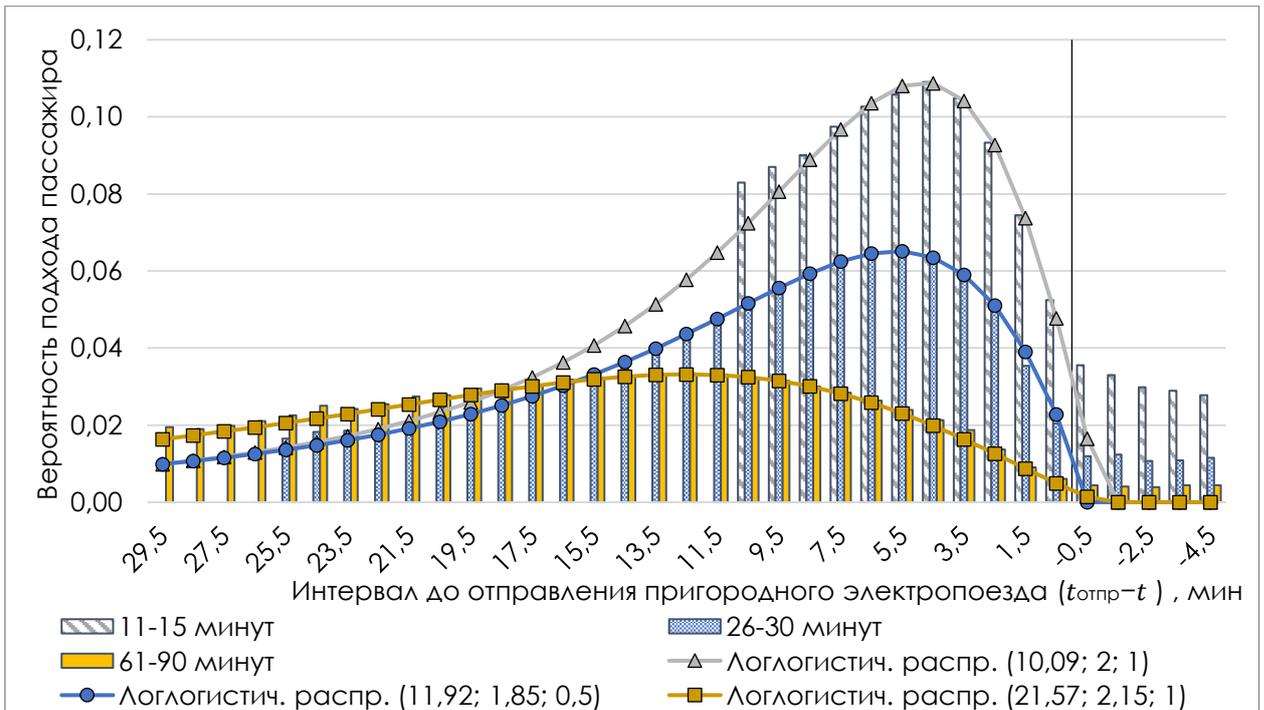


Рисунок 3.7 – Гистограммы распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при межпоездном интервале до отправления 11-15, 26-30 и 61-90 минут перед и более 30 минут после отправления электропоезда и аппроксимированные графики плотности распределения

***Функции распределения подхода пассажиров в зависимости от интервала до и после отправления пригородного электропоезда***

Плотность распределения подхода пассажиров на остановочный пункт соответствует плотности логлогистического распределения с добавлением третьего параметра - коэффициента сдвига ( $k$ ). Функция плотности вероятности логлогистического распределения в таком случае выглядит следующим образом:

$$A_{\text{подх}}(t|t_{\text{отпр}}, a, \beta, k) = \frac{(\beta/a)((t_{\text{отпр}} - t + k)/a)^{\beta-1}}{\left(1 + ((t_{\text{отпр}} - t + k)/a)^\beta\right)^2} \quad (3.6)$$

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

где  $A_{\text{подх}}(t)$  – плотность распределения подхода пассажиров на посадку в электропоезд;  $t_{\text{отпр}}$  – время отправления пригородного электропоезда, мин;  $a$  – параметр масштаба логлогистического распределения;  $\beta$  – параметры формы логлогистического распределения;  $k$  – коэффициент сдвига.

Очевидно, что параметры  $a, \beta, k$  зависят от величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда. Введем дополнительные переменные  $i_{до}$  и  $i_{после}$ , обозначающие значение величины межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда. Для определения зависимости переменных  $a, \beta, k$  от значений  $i_{до}$  и  $i_{после}$  был проведен регрессионный анализ для различных значений  $i_{после}$  (более 30, от 10 до 30 и менее 10 минут). Подобранные значения приведены в приложении Г в таблицах Г.4-5. Проведенный регрессионный анализ функций распределения плотности распределения позволяет сделать выводы о характере зависимости параметров аппроксимирующей функции.

Параметр  $\beta$  для всех значений  $i_{до}$  и  $i_{после}$  находится в диапазоне от 1,75 до 2,25. С учетом бессистемного колебания значения параметра в исследовании предлагается принять значение данного параметра как константу. Среднее значение параметра для значений  $i_{после} \leq 10$  составляет 1,868, для  $i_{после} \in [11; 30 \text{ минут}]$  составляет 2,0055, для  $i_{после} > 30$  составляет 2,081. Очевидно, что при увеличении  $i_{после}$  увеличивается значение рассматриваемого параметра.

Данный фактор можно объяснить тем, что при уменьшении значения параметра  $\beta$  при неизменном значении моды распределения хвосты распределения становятся более «тяжелыми», что в свою очередь оказывает влияние на распределение пассажиров для рассмотренных отправок электропоездов. То есть имеется в виду, что при меньших значениях  $i_{после}$  на статистические распределения оказывали влияние хвосты предыдущих распределений, делая распределения более размытыми, тем самым уменьшая значение параметра  $\beta$ . Поэтому для аппроксимируемой функции независимо от значений  $i_{до}$  и  $i_{после}$  предлагается применять значение параметра как постоянное значение:

$$\beta = 2,081 \quad (3.7)$$

Коэффициент сдвига в подобранных значениях функции принимает значение 2 для значений межпоездного интервала после отправления менее 30

минут, а для значений межпоездного интервала после отправления более 30 минут – 1. Коэффициент сдвига необходим для учета опаздывающих пассажиров и одним фактором его снижения с увеличением  $i_{\text{после}}$  являются временные потери для пассажиров в случае опоздания. Из-за отсутствия более точных данных подберем для коэффициента сдвига линейную аппроксимирующую функцию с помощью метода наименьших квадратов. Очевидно, что значение коэффициента не может быть меньше 0, поэтому при величине  $i_{\text{после}}$  больше установленного значения коэффициент сдвига принимает значение 0. Полученные коэффициенты линейной функции представлены в следующей формуле:

$$k = \begin{cases} 2,22165 - 0,019588 \cdot i_{\text{после}} & \text{для } i_{\text{после}} < 133,421 \\ 0 & \text{для } i_{\text{после}} \geq 133,421 \end{cases} \quad (3.8)$$

Необходимо отметить, что параметр  $a$  логлогистического распределения является параметром масштаба, т.е. характеризует статистическую дисперсию распределения вероятности. Чем больше параметр масштаба, тем более разбросано распределение.

Свойством данного распределения является взаимосвязь параметров  $a, \beta$  и моды распределения случайной величины. Свойство является очень удобным для проведения регрессионного анализа, так как отбрасывает необходимость определения одного изменяющегося параметра. Мода логлогистического распределения определяется по следующей формуле:

$$M_o = a \frac{(\beta - 1)^{1/\beta}}{(\beta + 1)} \quad (3.9)$$

где  $M_o$  – мода распределения подхода пассажиров на остановочный пункт.

Исходя из формул 3.7 и 3.9 параметр  $a$  можно определять по следующей формуле:

$$a = M_o / \frac{(\beta - 1)^{1/\beta}}{(\beta + 1)} = M_o / 0,337 = 2,9678 M_o \quad (3.10)$$

Для определения параметра  $a$  необходимо установить функциональные зависимости моды распределения от значений  $i_{до}$  и  $i_{после}$ . Для этого были собраны статистические значения моды распределения в зависимости от  $i_{до}$  для трех значений  $i_{после}$ . На основании моды распределения подобранных функций можно сделать предположения о характере подбираемой функции:

- подбираемая функция должна быть положительна для всех значений аргумента;
- значение функции не должно снижаться при увеличении аргумента;
- функция должна стремиться к определенному значению (максимальному значению моды) при стремлении аргумента к бесконечности.

На основании обозначенных выше требований и проведенного регрессионного анализа подходящей функцией для описания изменения моды выбрана степенная функция. На рисунке 3.8 представлен мода плотности распределения подхода пассажиров в зависимости от значений  $i_{до}$  и  $i_{после}$ . В соответствии с полученной зависимостью моды плотности распределения можно определять значения параметра  $a$  логлогистического распределения, описывающего процесс подхода пассажиров на посадку в электропоезд.

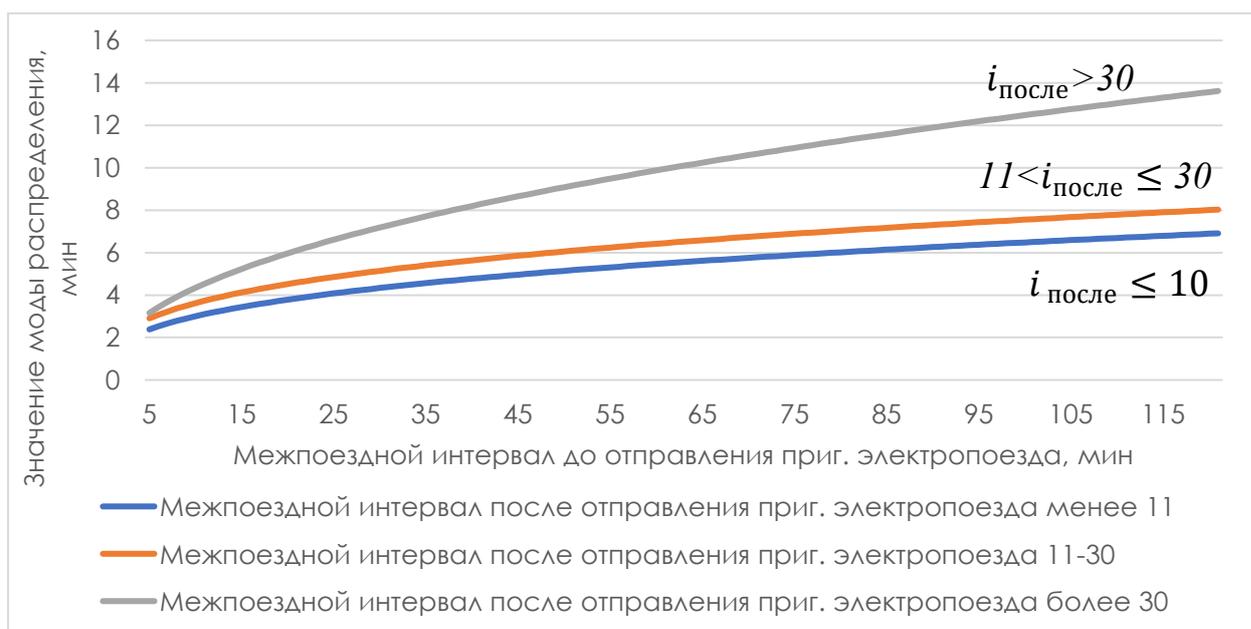


Рисунок 3.8 – Мода плотности распределения подхода пассажиров в зависимости от значений  $i_{до}$  и  $i_{после}$

### *Моделирование распределения подхода пассажиров при равномерном движении пригородных электропоездов*

Для оценки применимости полученных результатов было проведено моделирование распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при равномерном движении пригородных электропоездов и соответственно равномерным распределением пассажиров между пригородными электропоездами. Результаты приведены на рисунке 3.9.

Моделирование выполнено для оценки схожести полученных функций с собранными эмпирически данными распределения подхода пассажиров на остановочный пункт. Полученная в результате моделирования результирующая кривая интенсивности подхода пассажиров имеет сходство с кривой интенсивности подхода пассажиров на Ленинградский вокзал, купивших билет повышенного тарифа на остановочные пункты Химки, Сходня, Крюково, в выходной день с 18:30 по 20:30 (рисунок 3.2). Это отражает корректность полученных результатов.

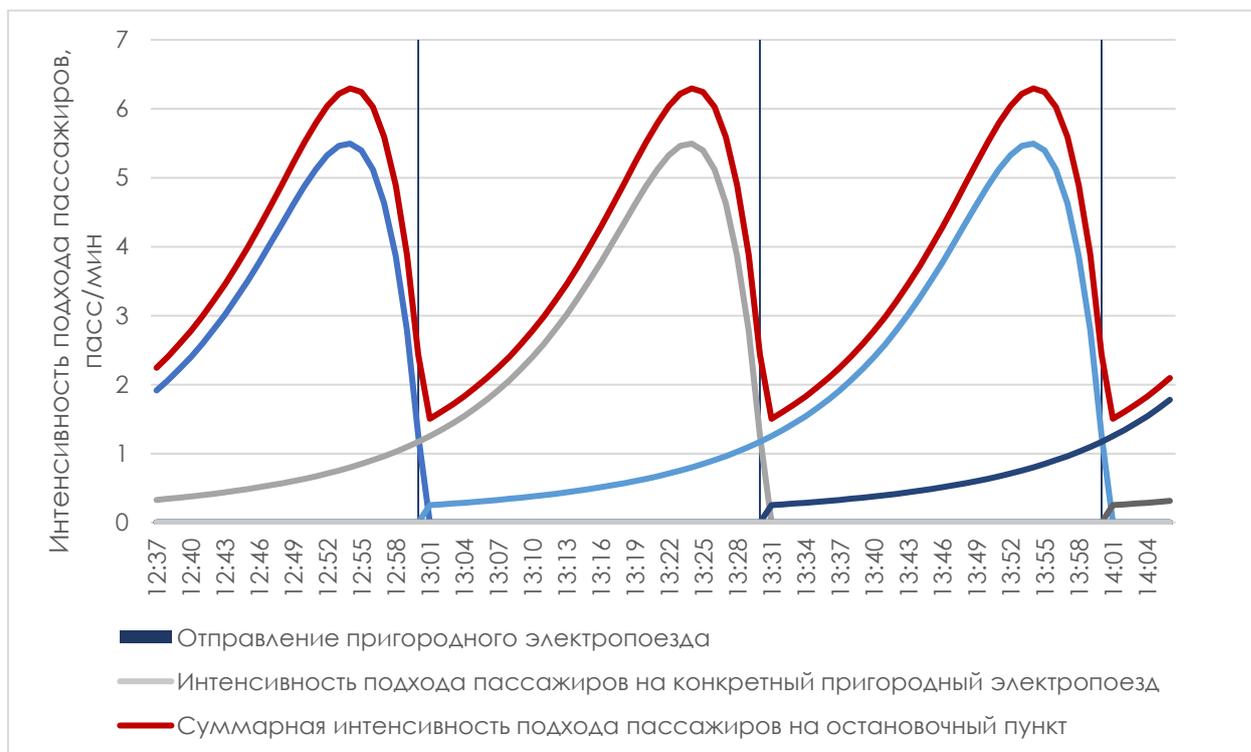


Рисунок 3.9 – Моделирование интенсивности подхода пассажиров на остановочный пункт при 30 минутном тактовом интервале движения пригородных электропоездов

Проведенное исследование показывает нелинейность подхода пассажиров на остановочный пункт. При этом, существует такое значение межпоездного интервала, при котором пассажиры перестают подстраиваться под расписание и распределение подхода пассажиров принимает линейный характер. В зарубежных источниках указывают, что данный интервал равен 6 минутам [125]. На рассматриваемом полигоне отсутствуют периоды суток, в которые межпоездной интервал не превышает 6 минут. Наиболее приближенным по параметрам является период суток пикового отправления с вокзала в вечерний период суток (рисунок 3.3). В таком случае возникает вопрос о допустимости использования предложенного подхода для периодов суток с высокоинтенсивным движением пригородных электропоездов.

На рисунке 3.10 показаны результаты моделирования интенсивности подхода пассажиров на остановочный пункт при 5 минутном тактовом интервале движения пригородных электропоездов.

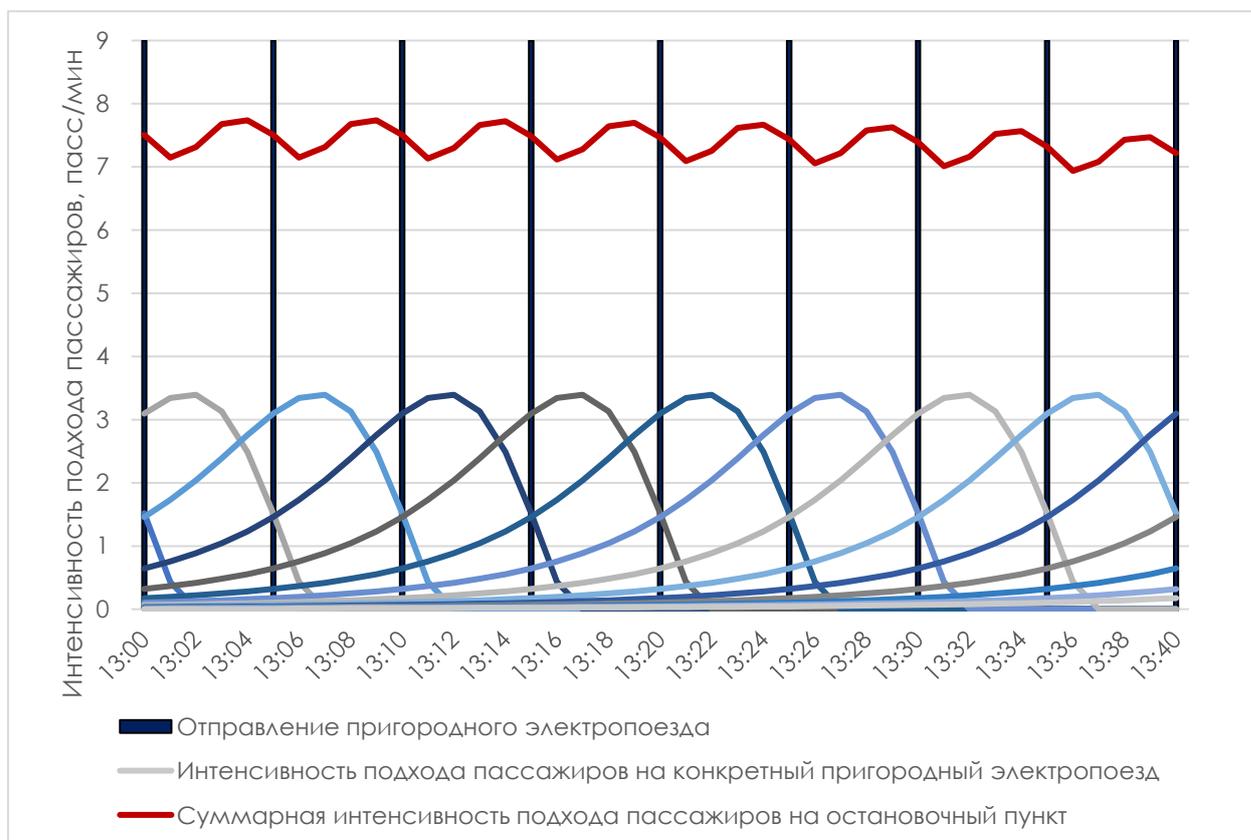


Рисунок 3.10 – Моделирование интенсивности подхода пассажиров на остановочный пункт при 5 минутном тактовом интервале движения пригородных электропоездов

Моделирование процесса подхода пассажиров на остановочный пункт аппроксимированной функцией показало, что при тактовом высокоинтенсивном графике движения (межпоездной интервал 6 минут и менее) результирующая плотность подхода пассажиров, складывающаяся из распределений подхода пассажиров к каждому конкретному пригородному электропоезду, стремится к линейному характеру. Это позволяет сделать выводы о том, что полученная в предыдущем разделе аппроксимирующая функция может быть использована для математического моделирования процесса подхода пассажиров и при высокой интенсивности движения (5-минутном тактовом графике).

Исследованием было выявлено, что на распределение подхода пассажиров на остановочный пункт оказывает влияние величина межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда. В зависимости от значений межпоездного интервала изменяются параметры распределения подхода пассажиров. На основании полученного распределения подхода можно прогнозировать величину залпового подхода пассажиров на остановочный пункт под посадку на ПЭП, время ожидания пассажиров и количество пассажиров, находящихся в ожидании на остановочном пункте. С помощью полученных значений можно проводить расчеты технического оснащения пассажирских устройств остановочных пунктов: количество билетных касс, количество турникетов, вместимость залов ожидания, площадь навесов для защиты от атмосферных осадков.

Полученные в результате исследования закономерностей подхода пассажиров на остановочные пункты пригородных электропоездов позволяют моделировать распределение подхода пассажиров на остановочный пункт, но не отвечает на вопрос как пассажиропоток зависит от расписания движения пригородных поездов и как происходит распределение пассажиров между пригородными поездами. На сегодняшний день не существует инструментов оценки привлечения пассажиропотока при изменении параметров расписания движения.

## **3.2. Исследование пороговых значений времени ожидания пассажира в пригородном сообщении**

### **3.2.1. Описание алгоритма выбора пассажиром пригородного электропоезда**

Транспортное поведение пригородных пассажиров различается в зависимости от интенсивности движения пригородных электропоездов. Пассажиры либо подстраиваются под расписание движения пригородных электропоездов, либо подходят на остановочный пункт равномерно. Анализ подхода пассажиров на остановочные пункты МЖУ показал, что пассажиры зачастую подстраиваются под расписание движения электропоездов. Пассажиры не подстраиваются под расписание движения электропоездов при соблюдении трех условий:

- график движения электропоездов на протяжении рассматриваемого периода тактовый;
- межпоездной интервал не превышает 4-6 минут;
- обеспечивается высокая надежность исполнения расписания движения электропоездов.

При обеспечении таких условий интенсивность подхода пассажиров принимает линейную зависимость. Во всех остальных случаях пассажиры выбирают конкретный электропоезд и подходят на остановочный пункт для посадки именно на него.

Для большинства пассажиров станция назначения не является конечным пунктом маршрута, пассажиры при планировании поездки определяют необходимое время прибытия на конечную станцию маршрута с учетом времени следования в городском общественном транспорте. После определения необходимого времени прибытия на конечную станцию, пассажиры выбирают конкретный пригородный электропоезд. Это может быть поезд, который прибывает точно в необходимое для пассажира время,

либо, в случае отсутствия такого поезда, тот, который прибывает ранее. В случаях неинтенсивного движения, когда в расписании отсутствует подходящий электропоезд для прибытия на станцию назначения, пассажир может скорректировать свои планы и выбрать пригородный электропоезд, который прибывает позже необходимо времени прибытия. Также в случаях, когда в расписании нет приемлемых вариантов, пассажир вовсе может отказаться от поездки железнодорожным транспортом в пользу альтернативных видов транспорта.

Данное описание применимо для поездок с установленным для пассажира временем прибытия в пункт назначения, например, в случаях поездки на работу/учебу. В случаях совершения поездки после работы или учебы транспортное поведение пассажира обратное: в приоритете он будет стремиться совершить поездку на ближайшем следующем пригородном электропоезде, а, случае его отсутствия, он может скорректировать свои планы и уехать раньше, либо поехать на альтернативном транспорте.

Для математического описания рассматриваемой задачи необходимо ввести следующие пояснения и определения. **Станция зарождения** ( $i$ ) и **станция погашения** ( $j$ ) пассажиропотока соответствуют станциям отправления и назначения пригородного пассажиропотока. **Время погашения** ( $t_j$ ) – есть необходимое пригородному пассажиру время прибытия на станцию назначения. Задав **расчетное время следования** ( $\tau$ ) между станцией зарождения ( $i$ ) и погашения ( $j$ ) пассажиропотока можно определить **время зарождения пассажиропотока** ( $t_i$ ) – необходимое время отправления пассажира со станции. Расчетное время следования равно среднему времени хода пригородного электропоезда для рассматриваемой корреспонденции (можно принять как время следования пригородного электропоезда со всеми остановками). Совокупность значений моментов зарождения всех пассажиропотоков рассматриваемой корреспонденции в единицу времени есть **интенсивность зарождения пассажиропотока**. Аналогично определяется и **интенсивность погашения пассажиропотока**. Динамика

изменения интенсивности зарождающегося пассажиропотока в зависимости от времени соответствует графику неравномерности отправления пригородных пассажиров в течении суток, представленной на рисунке 1.8. На рисунке 3.11 изображено, как соотносится интенсивность зарождения и погашения пассажиропотоков через расчетное время следования.

При высокой интенсивности движения пригородных электропоездов (межпоездной интервал менее 10 минут) при следовании на работу/учебу пассажир выберет пригородный электропоезд, который прибывает ранее, чем необходимое время прибытия. На рисунке 3.12 представлена визуализация процесса выбора пассажиром пригородного поезда для поездки на работу/учебу при высокой интенсивности движения. При следовании после работы/учебы приоритетным для пассажира является ближайший отправляющийся пригородный электропоезд.

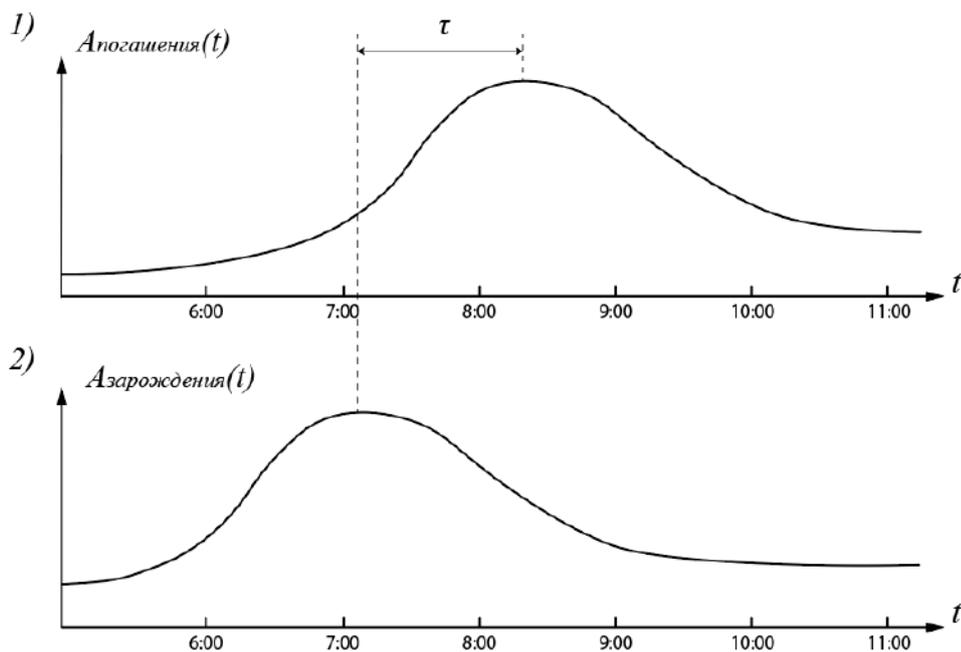


Рисунок 3.11 – Графическое изображение соотношения интенсивности погашения (1) и зарождения (2) пассажиропотока через расчетное время следования ( $\tau$ )



Рисунок 3.12 – Визуализация процесса выбора пассажиром пригородного электропоезда при высокой интенсивности движения для поездки на работу/учебу

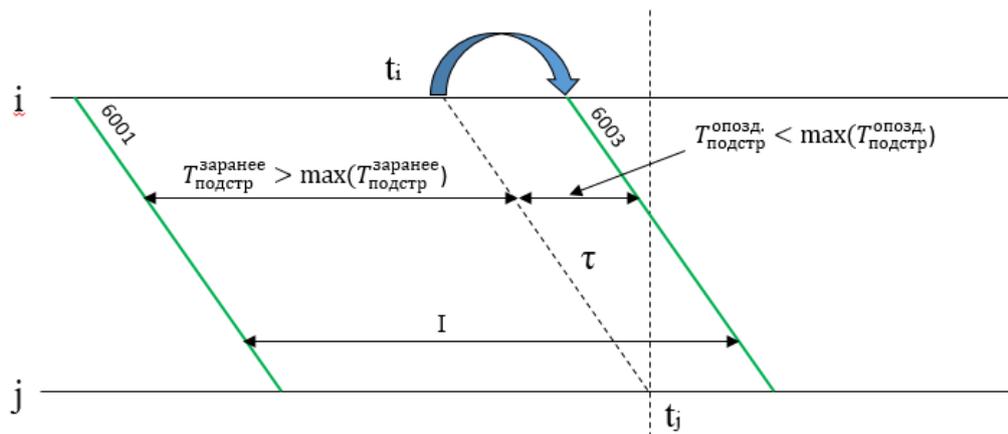
При низкой интенсивности движения пригородных электропоездов (межпоездной интервал более 60 минут) в зависимости от времени прибытия/отправления пригородных электропоездов относительно необходимого времени прибытия/отправления на/со станции назначения/отправления ( $T_{\text{подстр}}^{\text{приб.ранее}}$  и  $T_{\text{подстр}}^{\text{приб.позже}}$ ) пассажиры могут выбрать пригородный электропоезд, следующий как ранее, так и позже необходимого. При следовании на работу и прибытии на станцию назначения позже необходимого, а также при следовании после работы и отправление ранее необходимого пассажирам необходимо корректировать свои планы.

**Время подстройки при прибытии ко времени** – время, на которое пассажиру необходимо скорректировать свое время прибытия в пункт назначения, т.е. разница между временем прибытия ПЭП относительно необходимого времени прибытия на станцию назначения. Отдельно

учитывается время подстройки пассажира под ПЭП, прибывающий ранее, и под прибывающий позже. **Пороговое значение прибытия ранее** ( $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{приб.ранее}})$ ) – максимальное значение времени подстройки под прибывающий ранее ПЭП, при превышении которого пассажиры выбирают ПЭП, отправляющийся позже, либо вообще отказываются от поездки пригородным железнодорожным транспортом. **Пороговое значение прибытия позже** ( $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{приб.позже}})$ ) – максимальное значение времени опоздания в пункт назначения, при превышении которого пассажиры выбирают ПЭП, отправляющийся ранее, либо отказываются от поездки пригородным железнодорожным транспортом.

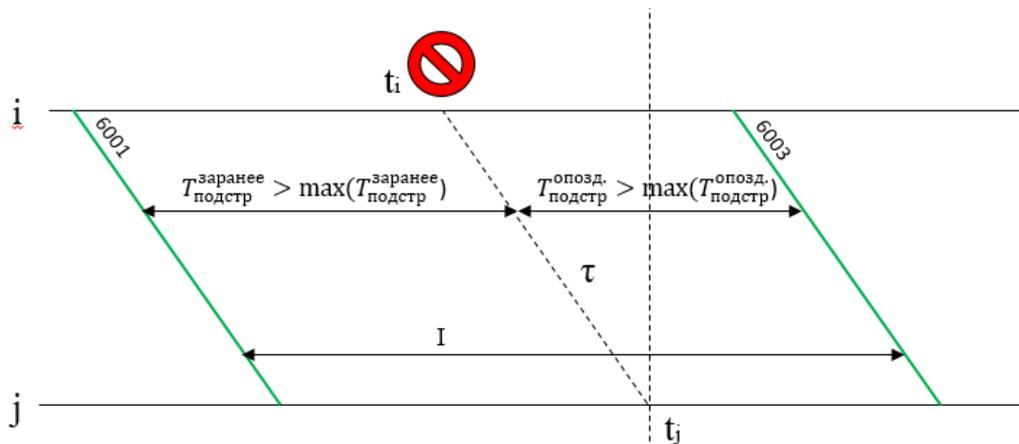
Аналогично определяются пороговые значения при отправлении после рабочего дня. В таких случаях **время подстройки при отправлении после окончания рабочего дня** ( $T_{\text{подстр}}^{\text{отпр.ранее}}$  и  $T_{\text{подстр}}^{\text{ож.отпр}}$ ) – разница между временем отправления ПЭП относительно необходимого времени отправления. **Пороговое значение ожидания отправления** ( $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{ож.отпр}})$ ) – максимальное значение время ожидания отправления ПЭП, при превышении которого пассажиры выбирают ПЭП, отправляющийся ранее, либо вообще отказываются от поездки пригородным железнодорожным транспортом. **Пороговое значение отправления ранее** ( $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{отпр.ранее}})$ ) – максимальное значение времени отправления ранее, при превышении которого пассажиры выбирают ПЭП, отправляющийся позже, либо отказываются от поездки пригородным железнодорожным транспортом.

На рисунках 3.13 и 3.14 представлена визуализация процесса выбора пассажиров пригородного электропоезда для поездки на работу/учебу при низкой интенсивности движения.



$i$  – станция отправления;  
 $j$  – станция назначения;  
 $t_i$  – необходимое время отправления;  
 $t_j$  – необходимое время прибытия;  
 $\tau$  – расчетное время следования;  
 $I$  – межпоездной интервал (более 60 минут);  
 $T_{\text{подстр}}^{\text{заранее}}$  – время подстраивания пассажира под расписание (прибытие заранее);  
 $T_{\text{подстр}}^{\text{опозд.}}$  – время подстраивания пассажира под расписание (опоздание в пункт назначения);  
 $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{заранее}})$  – пороговое значение прибытия заранее;  
 $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{опозд.}})$  – пороговое значение опоздания;

Рисунок 3.13 – Визуализация процесса выбора пассажиром пригородного электропоезда при превышении порогового значения прибытия заранее в пункт назначения для поездки на работу/учебу



$i$  – станция отправления;  
 $j$  – станция назначения;  
 $t_i$  – необходимое время отправления;  
 $t_j$  – необходимое время прибытия;  
 $\tau$  – расчетное время следования;  
 $I$  – межпоездной интервал (более 60 минут);  
 $T_{\text{подстр}}^{\text{заранее}}$  – время подстраивания пассажира под расписание (прибытие заранее);  
 $T_{\text{подстр}}^{\text{опозд.}}$  – время подстраивания пассажира под расписание (опоздание в пункт назначения);  
 $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{заранее}})$  – пороговое значение прибытия заранее;  
 $\max(T_{\text{подстр}}^{\text{опозд.}})$  – пороговое значение опоздания;

Рисунок 3.14 – Визуализация процесса выбора пассажиром пригородного электропоезда при превышении порогового значения прибытия заранее и опоздания в пункт назначения для поездки на работу/учебу

В силу неравномерности движения ПЭП, наличия значительных перерывов в движении (дневное технологическое окно) и в целом малых размеров движения на ряде пригородных участков ППК не могут полностью освоить зарождающийся пассажиропоток на обслуживаемых корреспонденциях. Для обеспечения условий полного удовлетворения спроса и освоения пассажиропотоков необходимо разработать новые подходы к оценке величины осваиваемого пассажиропотока проектными ГДПЭП.

Для оценки доли охватываемого/привлекаемого пассажиропотока необходимо ввести новый показатель – ***охват корреспонденции пассажиропотока*** – отношение совокупности пассажиров, совершающих поездку пригородным железнодорожным транспортом, относительно общего зарождающегося пассажиропотока на рассматриваемой корреспонденции. Охват корреспонденции пассажиропотока может оцениваться за сутки, либо определенный период суток. Охват корреспонденции в зависимости от расписания движения пригородных электропоездов в разные моменты времени может принимать значения от 0 до 1, где 1 будет означать, что весь зарождающийся пассажиропоток за рассматриваемый период воспользуется пригородным железнодорожным транспортом. [9]

С учетом того, что пассажиры подстраиваются под расписание движения, охват пассажиропотока необходимо определять для каждого пригородного электропоезда отдельно. При высокой интенсивности движения электропоездов пассажирам может быть удобно воспользоваться сразу несколькими электропоездами, 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 пригородными электропоездами, и фактический  $K_i^{\Phi}(t)$ , определяемый с учетом привлечения пассажиров другими пригородными электропоездами.

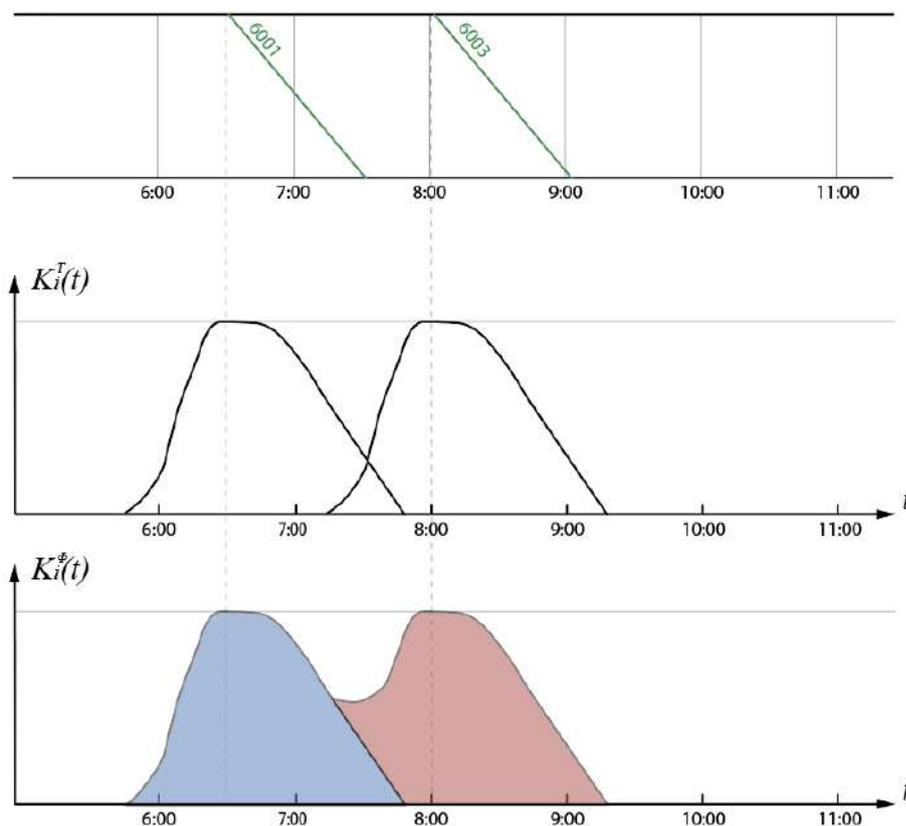


Рисунок 3.15 – Графическое изображение охвата корреспонденции пассажиропотока в первой половине дня, при межпоездном интервале более 60 минут

Результирующий охват  $K(t)$ , является суммой фактических значений охвата пригородных электропоездов, обслуживающих корреспонденцию. Значение результирующего охвата не может превышать единицы.

На рисунках 3.15-16 изображены графики охвата корреспонденции пригородным железнодорожным транспортом. На рисунке 3.15 изображена ситуация, в которой при большом значении межпоездного интервала пассажиропоток корреспонденции осваивается не полностью, на рисунке 3.16 - полностью.

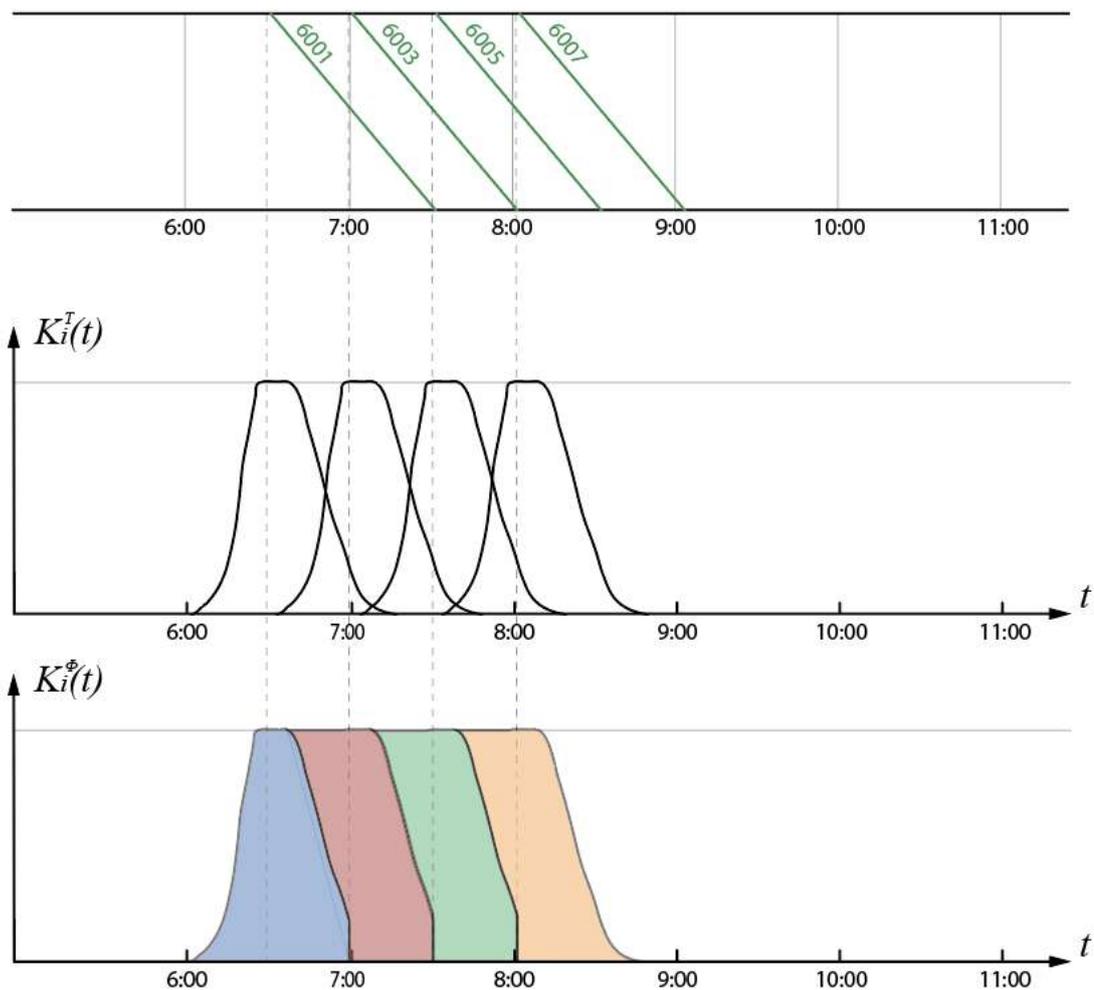


Рисунок 3.16 – Графическое изображение охвата корреспонденции пассажиропотока в первой половине дня, при межпоездном интервале 30 минут

Существует предположение, что из-за существенной неравномерности движения пригородных электропоездов в МЖУ как в ближней, так и в средней и дальней зонах часть пассажиров отказывается от поездок пригородным железнодорожным транспортом в пользу альтернативных видов транспорта, в первую очередь личного автомобиля и автобусов.

Расписание движения электропоездов на Белорусском направлении МЖУ неравномерно. Со станции Кубинка-1 по направлению к Москве в непиковый период 07.10.22 после отправления электропоезда в 7:33 следующие электропоезда идут с интервалом: 9, **47**, 12, 13, 28, 27, 37, 12, 22, **127**, 32, 16, 11, 12, **45**, 8, 22, 15, 20, 20, 20 мин. Интервал в движении электропоездов продолжительностью 127 минут возникает из-за

технологического перерыва. Возможной причиной возникновения интервалов продолжительностью 47 (с 7:42 по 8:29) и 45 (с 15:34 по 16:19) минут могла быть необходимость пропуска скорого пассажирского поезда, но при возникновении подобного перерыва в движении электропоездов перевозчик теряет часть своих пассажиров. При рассмотрении данного вопроса необходимо учитывать возможности альтернативных видов транспорта для рассматриваемой корреспонденции. На данном направлении слабо развито автобусное сообщение, поэтому перевозчик при неравномерном расписании потеряет только ту часть пассажиров, которая может поехать на личном автотранспорте.

Особенностью железнодорожного сообщения Мытищи – Москва является более высокая конкуренция со стороны других видов транспорта. Участок Москва-Пасс.-Ярославская-Мытищи имеет пять главных путей. По первой паре путей осуществляется пропуск пригородных электропоездов со всеми остановками с минимальным межпоездным интервалом в движении 6 минут. По второй паре путей осуществляется пропуск ускоренных пригородных электропоездов с пропуском части остановок на участке Москва-Мытищи. По 5 главному пути осуществляется пропуск пригородных электропоездов в преимущественном направлении. При таком техническом оснащении возможно организовать движение пригородных электропоездов в течение всех суток без перерывов в движении. При этом межпоездные интервалы между отправлением пригородных электропоездов со станции Мытищи по направлению к Москве в непиковый период после отправления электропоезда в 11:03 имеют следующие значения: 6, 6, **21**, 8, **30**, 9, 5 минут. В рассматриваемый период интервал два раза превышает значение 20 минут, хотя в другие рассматриваемые периоды суток редко оказывается выше 10 минут.

Графическое изображение охвата корреспонденции пассажиропотока при возникновении “окна” в расписании движения электропоездов приведено на рисунке 3.17.

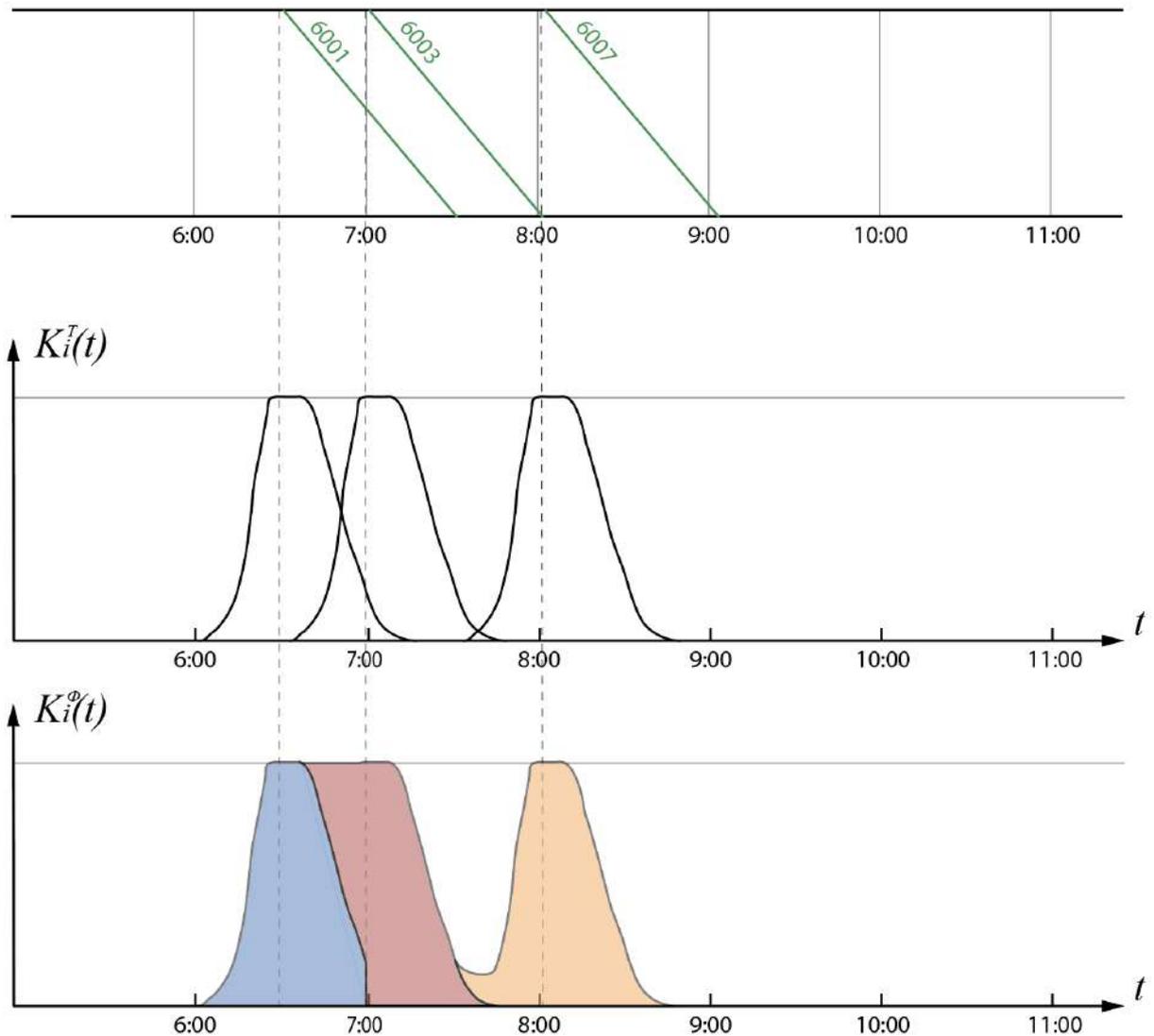


Рисунок 3.17 – Графическое изображение охвата корреспонденции пассажиропотока в первой половине дня, при возникновении перерыва в движении электропоездов

Выбор вида транспорта и способа совершения поездки для каждого 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. Несомненно, ускорение следования пригородного электропоезда увеличивает его привлекательность для пассажиров и, следовательно, при сокращении времени следования увеличивается охват корреспонденции. Визуализация изменения охвата корреспонденции пассажиропотока пригородным электропоездом при его ускорении представлена на рисунке 3.18.

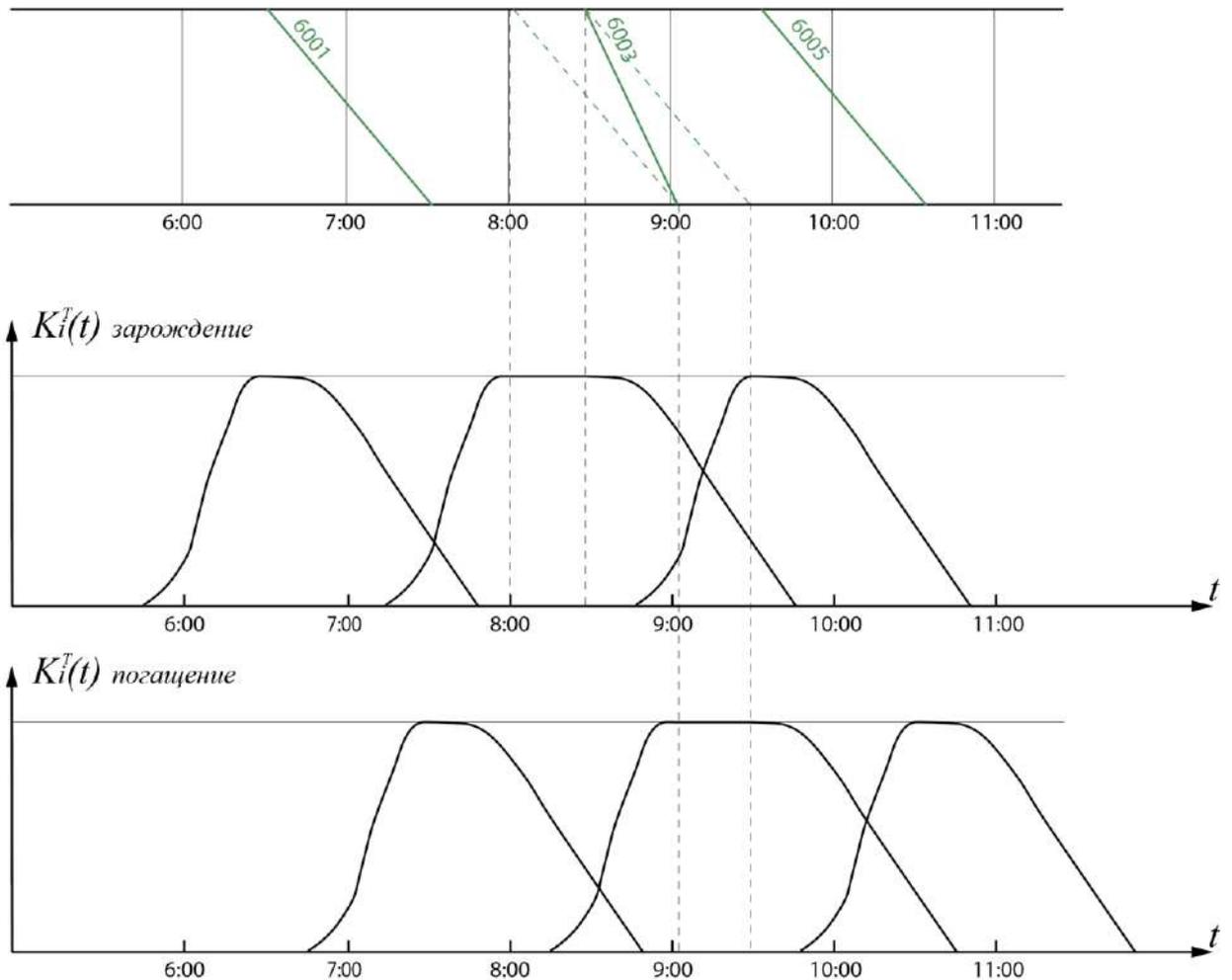


Рисунок 3.18 – Графическое изображение охвата корреспонденции пассажиропотока в первой половине дня, при ускорении проследования пригородного электропоезда

Ускорение пригородных электропоездов в графике движения пригородных поездов осуществляется путем пропуска остановочных пунктов, что приводит к нарушению беспересадочного сообщения и увеличению времени ожидания для ряда корреспонденций. Поэтому при выборе режима пропуска электропоезда должны учитываться влияние на все обслуживаемые корреспонденции пассажиропотока.

Остальные указанные выше факторы выбора вида транспорта и способа совершения поездки в не зависят от параметра графика движения пригородных поездов (тариф, подвижной состав), либо зависят косвенно (комфорт поездки, который может выражаться как уровень населенности).

### **3.2.2. Определение пороговых значений времени ожидания пассажира пригородного электропоезда**

Спрос на пригородные перевозки эластичен. На эластичность спроса целых корреспонденций пассажиропотока на услуги пригородных перевозок оказывают влияние следующие факторы: уровень качества предоставляемых услуг автобусного сообщения, развитость сети автомобильных дорог в рассматриваемом транспортном коридоре, уровень загрузки пропускной способности автомобильных дорог в пиковые периоды. В зависимости от условий функционирования конкурирующих видов транспорта изменяются пороговые значения времени ожидания, при превышении которых пассажиры отказываются от железнодорожного транспорта.

Необходимо определить пороговые значения величин межпоездного интервала движения пригородных электропоездов, при превышении которых пассажиры начинают отказываться от услуг железнодорожного транспорта и переходить на альтернативные виды транспорта. Итогом проводимого исследования должно стать определение функции охвата маятниковых поездок в зависимости от неравномерности расписания движения пригородных электропоездов.

Для проведения данного исследования был проведен опрос пользователей пригородных электропоездов. Опрос проводился посредством сети интернет, распространялся на тематических форумах, группах, каналах. Характеристика статистической выборки приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Характеристики статистической выборки

Показатель	Процентное соотношение
Общее количество респондентов	350 человек
<b>География опроса</b>	
Московский железнодорожный узел	94,85%
<b>Частота пользования пригородными электропоездами</b>	
«практически каждый день»	24,57%
«несколько раз в неделю»	17,14%
«несколько раз в месяц»	24,57%
«несколько раз в год»	33,71%
<b>Продолжительность поездки в пригородном электропоезде</b>	
«до 30 минут»	26,29%
«от 30 минут до 1 часа»	35,43%
«от 1 до 2 часов»	29,71%
«более 2 часов»	8,57%
<b>Воспринимаемый межпоездной интервал на маршруте следования</b>	
«до 10 минут»	26,86%
«от 10 до 20 минут»	28,57%
«от 20 до 30 минут»	12,00%
«от 30 минут до 1 часа»	12,00%
«от 1 до 2 часов»	14,29%
«более 2 часов»	6,29%
<b>Период времени совершения поездок на пригородных электропоездах</b>	
«в час-пик (в рабочие дни с 7 до 10 часов утром, с 17 до 20 часов вечером)»	31,43%
«в непииковые периоды суток»	9,71%
«в зависимости от ситуации»	58,86%
<b>Гибкий график работы</b>	
«да»	24,57%
«нет»	75,43%
<b>Наличие альтернативных способов совершить поездку (личный автомобиль)</b>	
«альтернативы нет»	42,29%
«альтернатива есть, но пользуюсь реже, чем пригородными электропоездами»	46,29%
«альтернатива есть, и пользуюсь чаще, чем пригородными электропоездами»	11,43%
<b>Наличие альтернативных способов совершить поездку (автобус)</b>	
«альтернативы нет»	29,14%
«альтернатива есть, но пользуюсь реже, чем пригородными электропоездами»	61,14%
«альтернатива есть, и пользуюсь чаще, чем пригородными электропоездами»	9,71%
<b>Наличие альтернативных способов совершить поездку (поезд дальнего следования)</b>	
«альтернативы нет»	81,14%
«альтернатива есть, но пользуюсь реже, чем пригородными электропоездами»	15,43%
«альтернатива есть, и пользуюсь чаще, чем пригородными электропоездами»	3,43%

Пользователям сервиса пригородных железнодорожных перевозок было задано два ключевых вопроса касательно порогового значения времени, на которое они готовы подстраиваться под расписание движения в случае отсутствия в расписании подходящего по времени пригородного электропоезда, при превышении которого они выберут альтернативные виды транспорта, либо откажутся от поездки. В первом вопросе пассажиры указывали время, на которое они готовы приехать в пункт назначения заранее, во втором вопросе - насколько они готовы опоздать.

Первый вопрос формулировался следующим образом: «Представьте, что вам нужно приехать к конкретному времени, а подходящего по расписанию электропоезда нет, и вы выбираете электропоезд, который отправляется раньше. Какое для вас максимальное значение для отправления **заранее**, при превышении которого вы выберете другой вид транспорта или откажитесь от поездки?». Второй вопрос формулировался следующим образом: «Представьте, что вам нужно приехать к конкретному времени, а подходящего по расписанию электропоезда нет, и вы выбираете электропоезд, который отправляется позже. Какое для вас максимальное значение для отправления **позже**, при превышении которого вы выберете другой вид транспорта или откажитесь от поездки?».

На основании проведенного опроса было определено значение охвата корреспонденции в каждый момент времени в зависимости от пороговых значений прибытия, как при прибытии заранее, так и при опоздании. Охват корреспонденции – доля от интенсивности пассажиропотока, осваиваемая пригородным железнодорожным транспортом.

Охват корреспонденции определялся по следующей формуле:

$$k^b(x) = \frac{\sum_{x=1}^n N_x^b - \sum_{x=1}^{t-1} N_x^b}{\sum_{x=1}^n N_x^b} \quad (3.11)$$

$$x = 0 - 9, 10 - 19, 20 - 29 \dots n$$

где  $k^b(x)$  – охват корреспонденции пассажиропотока;

$b$  – рассматриваемый параметр группы респондентов (воспринимаемый межпоездной интервал, время в пути и т.п.);

$x$  – временной интервал относительно времени отправления/прибытия пригородного поезда, мин;

$n$  – общее количество рассматриваемых временных интервалов, относительно времени отправления пригородного электропоезда;

$N_x^b$  – количество респондентов, для которых  $x$  является пороговым значением, пасс.

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 пригородном электропоезде. Меньшее влияние оказывает параметр наличия альтернативных видов транспорта. На рисунках 3.18 – 3.20 представлен охват корреспонденций пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени, в единицу времени относительно времени отправления/прибытия пригородного электропоезда в зависимости от изменяемого параметра. График показывает, какая доля от совокупной интенсивности зарождающегося пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени, в момент времени (относительно времени отправления) совершит поездку в конкретном ПЭП.

В зависимости от воспринимаемого интервала движения пригородных электропоездов (межпоездного интервала) изменяется параметр охвата пассажиропотока. Чем больше значение воспринимаемого интервала для пассажиров, тем больше пассажиры готовы подстраиваться под расписание движения (рисунок 3.19), т.е. прибывать в пункт назначения заранее, либо опаздывать относительно первоначально установленного времени прибытия. Такой же вывод можно сделать относительно времени следования в пригородном электропоезде – пассажиры более дальних корреспонденций больше подстраиваются под расписание движения ПЭП (рисунок 3.20).

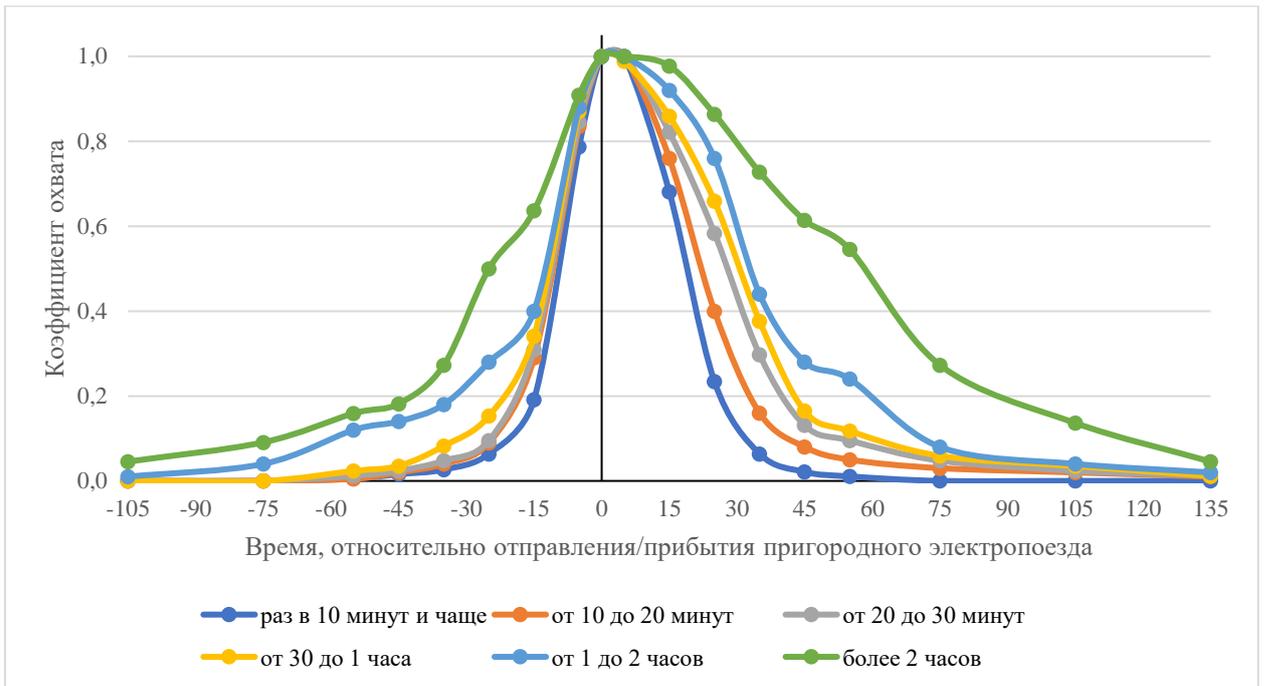


Рисунок 3.19 – График охвата корреспонденции пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени, в единицу времени относительно времени отправления/прибытия пригородного электропоезда в зависимости от воспринимаемого интервала движения пригородных электропоездов

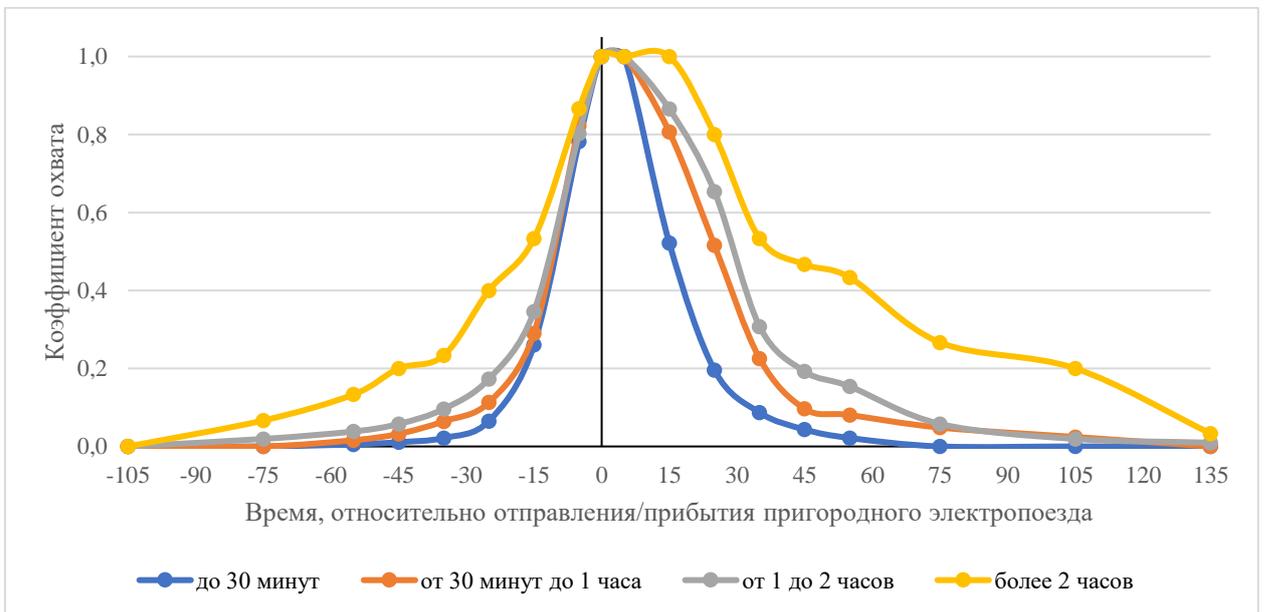


Рисунок 3.20 – График охвата корреспонденции пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени, в единицу времени относительно времени отправления/прибытия пригородного электропоезда в зависимости от времени следования в пригородном электропоезде

Наличие или отсутствие альтернативных маршрутов оказывает меньшее влияние на охват пассажиропотока. На рисунке 3.21 можно увидеть, что охват выше для тех корреспонденций, у которых отсутствуют альтернативные способы совершить поездку. Более явно это проявляется для значений параметра в левой части графика, который показывает, насколько пассажиры готовы опаздывать в пункт назначения. Как видно из графика, пассажиры, у которых отсутствуют альтернативные способы добраться в пункт назначения, чаще готовы опаздывать или корректировать свои планы.



Рисунок 3.21 – График охвата корреспонденции пассажиропотока, следующего в пункт назначения к определенному времени, в единицу времени относительно времени отправления/прибытия пригородного электропоезда в зависимости от наличия альтернативных маршрутов

Параметры интенсивности движения и времени следования с учетом пространственной неравномерности пассажиропотока в МЖУ взаимосвязаны. При удалении от головных пассажирских станций снижается интенсивность движения и увеличиваются межпоездные интервалы. С учетом невозможности определения основополагающего фактора в дальнейших исследованиях основным фактором будет выделяться воспринимаемый межпоездной интервал. Выбор параметра воспринимаемого межпоездного интервала как основополагающего при оценке допустимого интервала

ожидания позволит оценить, как неравномерность движения влияет на осваиваемый пассажиропоток.

Полученные выше графики охвата корреспонденции применимы для корреспонденций пассажиропотока, следующего в пункт назначения к установленному времени, что соответствует ситуациям следования к местам труда и учебы в утренние часы пик. В ситуациях отправления пассажиров в вечерний час пик, непосредственно после работы или учебы, график охвата пассажиропотока теоретически должен быть аналогичным, но отраженным относительно оси ОУ.

### **3.2.3. Определение функции охвата пригородным электропоездом корреспонденции пассажиропотока**

Полученные эмпирические данные об охвате корреспонденции пассажиропотока в зависимости от воспринимаемого интервала могут быть использованы для решения оптимизационных задач с критерием максимума осваиваемого пассажиропотока. Для математического описания полученных значений необходимо подобрать аппроксимирующую кривую функцию. Несомненно, подбираемая функция должна быть кумулятивной функцией распределения случайной величины. Кроме того, необходимо отметить, что для рассматриваемого примера должно быть подобраны две аппроксимирующие функции: для положительных и отрицательных значений. Также с учетом того, что при нулевом значении функция принимает максимум, а при удалении от ординаты может бесконечно приближаться к 0, несомненно, подбираемая функция должна определяться на полубесконечном интервале. С учетом незначительного количества респондентов достоверность подбираемой функции, а также ее аргументов может быть поставлена под сомнение.

Для аппроксимации полученных зависимостей выбрана кумулятивная функция логнормального распределения. Данная функция соответствует

необходимым условиям и с достаточной достоверностью описывает полученные эмпирические данные. Функция выглядит следующим образом:

$$k(t)_i^T = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^t \frac{1}{t} \cdot e^{-\frac{(\log(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt \quad (3.12)$$

где  $k(t)_i^T$  – охват корреспонденции пассажиропотока  $i$  – ым электропоездом в момент времени  $t$ ;

$\mu$  – параметр логнормального распределения (математическое ожидание натурального логарифма нормально распределенной случайной величины);

$\sigma$  – параметр логнормального распределения (среднеквадратическое отклонение натурального логарифма нормально распределенной случайной величины).

Графическое изображение аппроксимированных графиков охвата кумулятивной функцией логнормального распределения представлено на рисунках 3.22 и 3.23. Изменяемыми параметрами распределения являются  $\mu$  и  $\sigma$ , которые зависят от воспринимаемого межпоездного интервала. Графическое изображение подобранных значений изменяемых параметров приведено на рисунке 3.24.

Значения подбираемых параметров пропорционально увеличиваются при увеличении значения воспринимаемого межпоездного интервала, и, следовательно, могут быть описаны линейной функцией. При этом сформированная модель охвата пассажиропотока при описании изменяемых параметров линейной зависимостью показала неправдоподобные результаты охвата при малых (менее 20 минут) и больших (более 60 минут) значения воспринимаемого интервала. Поэтому было принято решение описывать полученную зависимость степенной функцией. Значения коэффициентов степенной функции, описывающие значения параметров, также приведены на рисунке 3.24.

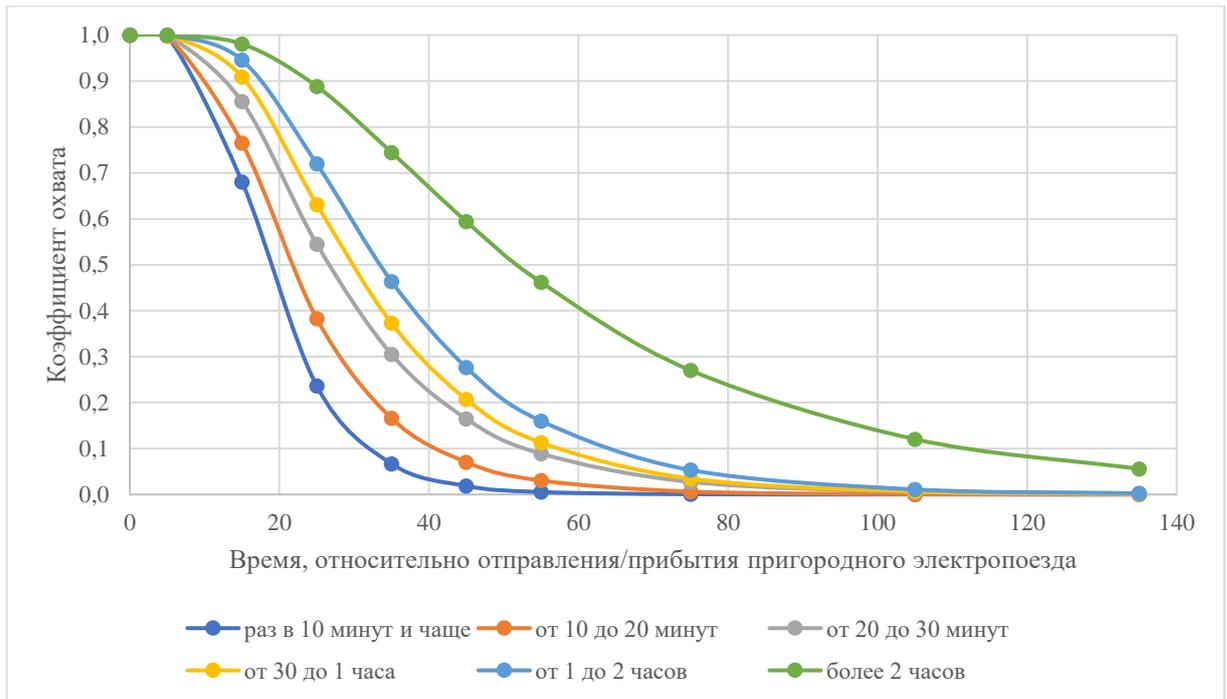


Рисунок 3.22 – Аппроксимированные графики функции охвата корреспонденций пассажиропотока в единицу времени относительно времени отправления/прибытия пригородного электропоезда в зависимости от значения воспринимаемого интервала движения пригородных электропоездов для пассажиров готовых приехать ранее

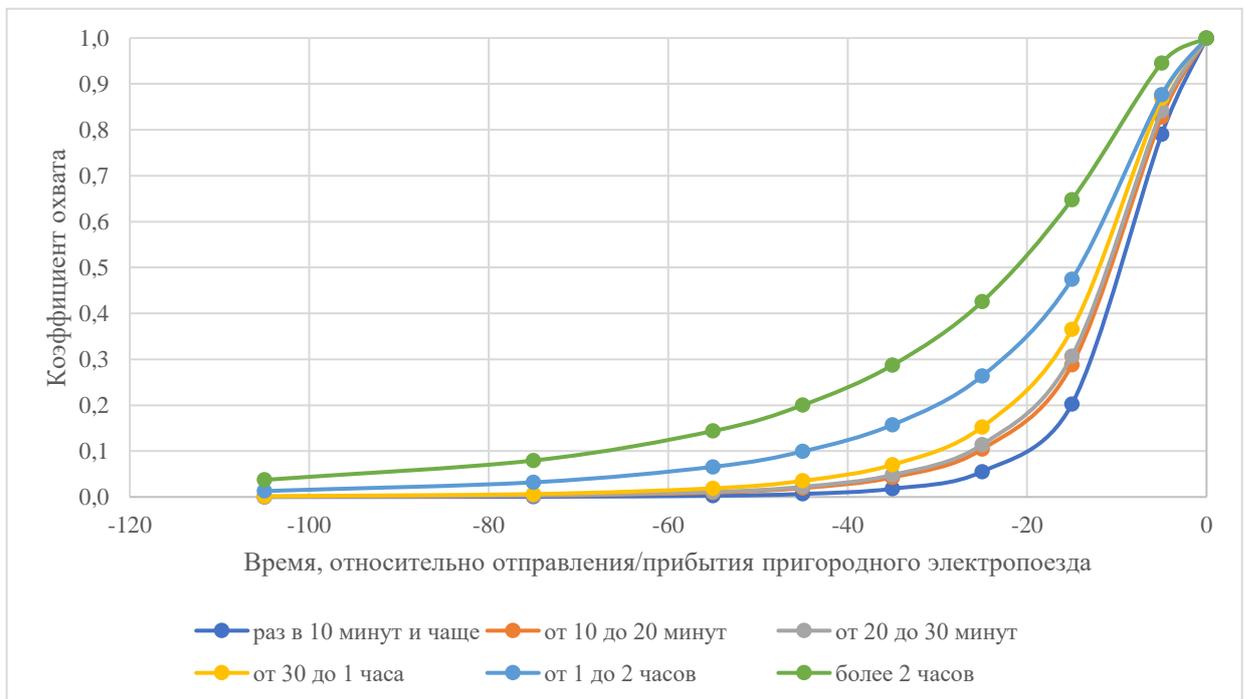


Рисунок 3.23 – Аппроксимированные графики функции охвата корреспонденций пассажиропотока в единицу времени относительно времени отправления/прибытия пригородного электропоезда в зависимости от значения воспринимаемого интервала движения пригородных электропоездов для пассажиров готовых приехать позже

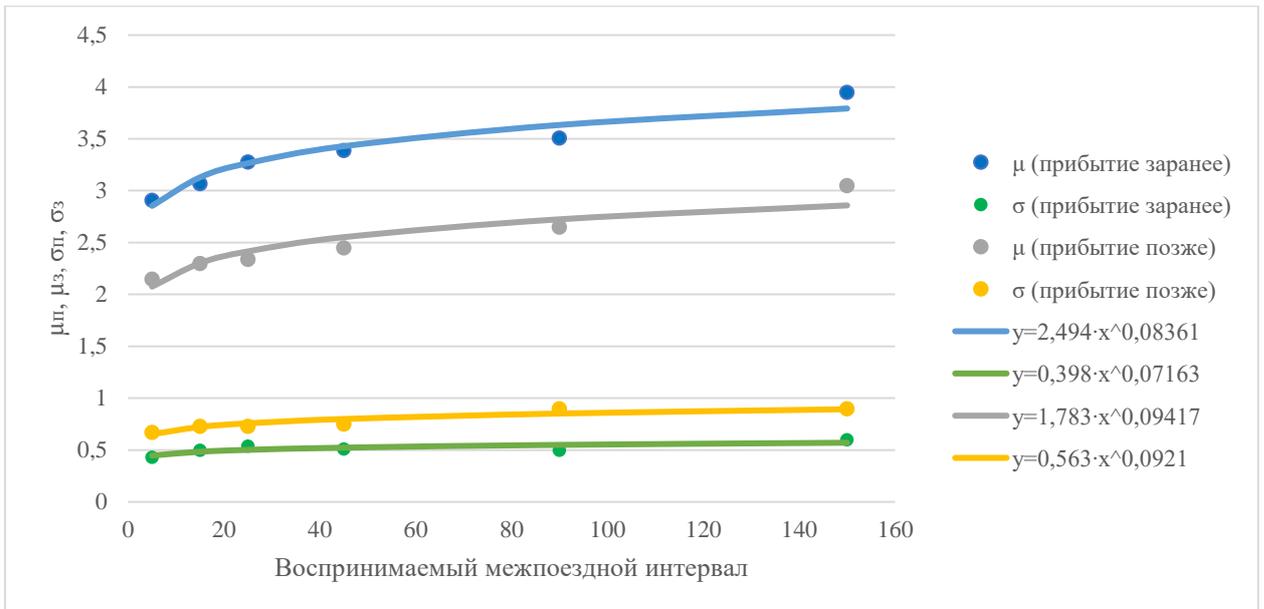


Рисунок 3.24 – Подобранные значения параметров функции охвата корреспонденции в зависимости от воспринимаемого интервала и аппроксимирующие их степенные функции

Охват корреспонденции можно условно разделить на два периода: до и после отправления пригородного электропоезда, один из которых является *преимущественным*, в котором пригородный электропоезд является приоритетным для зарождающегося пассажиропотока, второй – *второстепенным*. В зависимости от периода дня преимущественный и второстепенный периоды меняются. Так в первой половине дня преимущественным для освоения зарождающегося пассажиропотока является период после отправления пригородного электропоезда (в таком случае пассажиры прибывают вовремя или ранее в пункт назначения), а второстепенным – до отправления пригородного электропоезда. Во второй половине дня преимущественным периодом освоения пассажиропотока является период до отправления пригородного электропоезда. Определение теоретического охвата корреспонденции пассажиропотока за определённый период времени следует определять по формулам 3.13 - 3.18.

$$k(t)_{\text{пр}i}^{\tau} = 1 - \delta \cdot \int_{(t_i-t)\frac{(1-\delta)}{2}}^{(t-t_i)\frac{(1+\delta)}{2}} \frac{1}{\sigma_3(I_{\text{воспр}})\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\delta \cdot (t-t_i)} \cdot e^{-\frac{(\log(\delta \cdot (t-t_i)) - \mu_3(I_{\text{воспр}}))^2}{2(\sigma_3(I_{\text{воспр}}))^2}} dt \quad (3.13)$$

$$k(t)_{\text{вТ}i}^{\text{T}} = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t_i-t) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} \frac{1}{\sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}})\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\delta \cdot (t_i - t)} \cdot e^{-\frac{(\log(\delta \cdot (t_i-t)) - \mu_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}))^2}{2(\sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}))^2}} dt \quad (3.14)$$

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

где  $t_i$  – время отправления/прибытия  $i$  – ого электропоезда;

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

$k(t)_{\text{вТ}i}^{\text{T}}$  – теоретический охват корреспонденции пассажиропотока  $i$  – ым пригородным электропоездом в момент времени  $t$  во второстепенный период охвата;

$I_{\text{воспр}}$  – средний воспринимаемый межпоездной интервал для рассматриваемой корреспонденции в рассматриваемый период суток, мин.

$$\mu_{\text{з}}(I_{\text{воспр}}) = 2,494 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,08361} \quad (3.15)$$

$$\sigma_{\text{з}}(I_{\text{воспр}}) = 0,398 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,07163} \quad (3.16)$$

$$\mu_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}) = 1,783 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,09417} \quad (3.17)$$

$$\sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}) = 0,563 \cdot I_{\text{воспр}}^{0,0921} \quad (3.18)$$

Оценка степени согласованности собранных статистических данных и теоретического распределения подобранной функцией проверялось по критерию  $\chi^2$  Пирсона. Вероятность того, что распределение  $\chi^2$  превзойдёт меру расхождения  $\chi^2$  аппроксимирующей функцией составляет 0,98. На основании данных значений можно признать гипотезу, что охват зарождающегося пассажиропотока пригородным электропоездом описывается подобранной функцией, правдоподобной.

Для упрощения записи примем:

$$f(t, \sigma, \mu) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{t} \cdot e^{-\frac{(\log(t)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.19)$$

В таком случае формулы 3.13 и 3.14 примут следующий вид:

$$k(t)_{\text{пр}i}^{\text{T}} = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t-t_i) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} f(\delta \cdot (t-t_i), \sigma_3(I_{\text{воспр}}), \mu_3(I_{\text{воспр}})) dt \quad (3.20)$$

$$k(t)_{\text{вт}i}^{\text{T}} = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t_i-t) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} f(\delta \cdot (t_i-t), \sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}), \mu_{\text{п}}(I_{\text{воспр}})) dt \quad (3.21)$$

При ускорении следования увеличивается охват корреспонденции пригородным электропоездом. Функции охвата корреспонденции с учетом данного параметра примут следующий вид:

$$k(t)_{\text{пр}i}^{\text{T}} = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t-t_i) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} f\left(\delta \cdot (t-t_i) - \frac{(1-\varepsilon)}{2} \cdot t_i^{\text{уск}}, \sigma_3(I_{\text{воспр}}), \mu_3(I_{\text{воспр}})\right) dt \quad (3.22)$$

$$k(t)_{\text{вт}i}^{\text{T}} = 1 - \delta \cdot \int_{(t-t_i) \cdot \frac{(1-\delta)}{2}}^{(t_i-t) \cdot \frac{(1+\delta)}{2}} f\left(\delta \cdot (t_i-t) - \frac{(1+\varepsilon)}{2} \cdot t_i^{\text{уск}}, \sigma_{\text{п}}(I_{\text{воспр}}), \mu_{\text{п}}(I_{\text{воспр}})\right) dt \quad (3.23)$$

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

где  $t_i^{\text{уск}}$  – время ускорения  $i$  – ого пригородного электропоезда относительно времени хода со всеми остановками для рассматриваемой корреспонденции.

### 3.3. Порядок оценки величины неосвоенного пассажиропотока и населенности пригородных электропоездов в зависимости от расписания движения

Учитывая результаты проведенных исследований транспортного поведения пассажиров, общий порядок прогнозирования пассажиропотока можно представить в виде алгоритма:

1. Определение существующей интенсивности зарождения пассажиропотока для каждой корреспонденции рассматриваемого пригородного направления, а случае качественных или количественных изменений предлагаемого транспортного продукта – прогнозирование перспективной его величины.

2. На основании нормативного или проектного графика движения поездов определение охвата корреспонденции и распределение охватываемого пассажиропотока между пригородными электропоездами.

3. На основании определенного охватываемого пассажиропотока и его распределения между пригородными электропоездами определение интенсивности подхода пассажиров на остановочный пункт.

Интенсивность зарождения пассажиропотока на существующих маршрутах должна определяться на основании текущих величин осваиваемого пассажиропотока и интенсивности прохода пассажиров на остановочные пункты через турникеты. На рисунке 3.25 приведен пример фактической интенсивности прохода пассажиров через турникеты на Ленинградском вокзале для отправления на участок Москва-Крюково в рабочий день.

С учетом неравномерности подхода пассажиров на остановочный пункт, т.е. подстраивания пассажиров под расписание, интенсивность зарождения пассажиропотока необходимо определять, как скользящую среднюю фактическую интенсивность подхода пассажиров. Периодом построения (количество временных периодов, по которому осуществляется усреднение) предлагается использовать величину среднего межпоездного интервала.

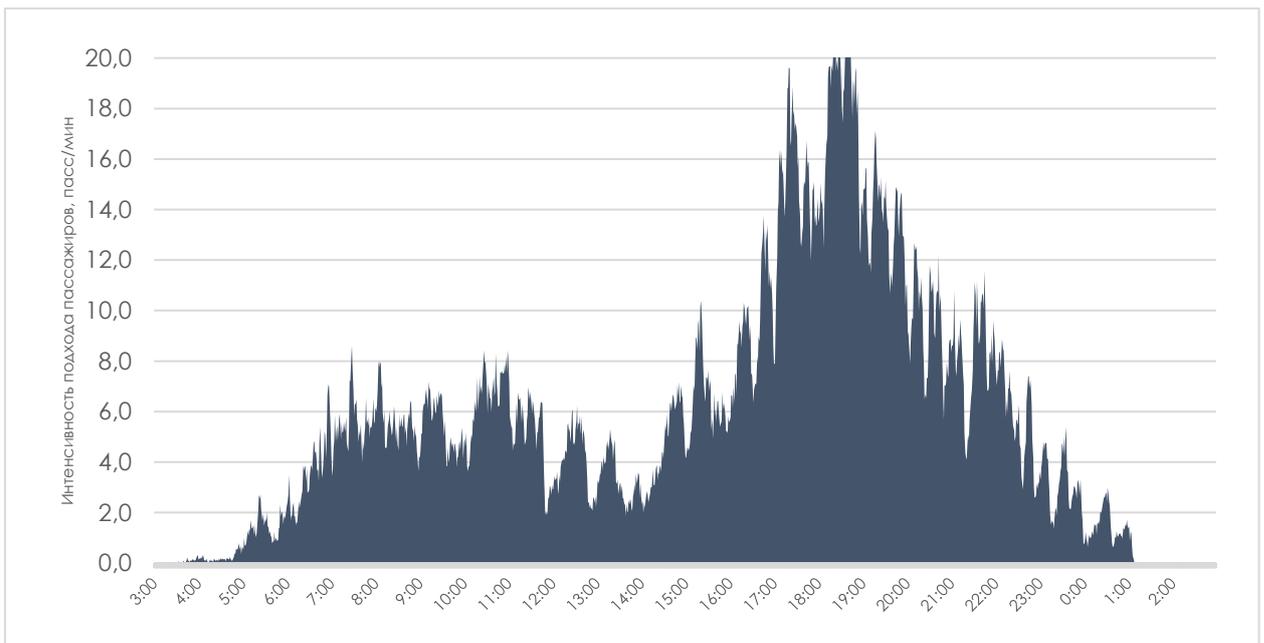


Рисунок 3.25 – Интенсивность подхода пассажиров на Ленинградский вокзал для отправления на участок Москва-Крюково в рабочий день

$$I(t)_{\text{зарожд.}} = \frac{\int_{t-T_{\text{пер}}/2}^{t+T_{\text{пер}}/2} I_{\text{сущ}}(t) dt}{T_{\text{пер}}} \quad (3.24)$$

где  $I(t)_{\text{зарожд.}}$  – интенсивность зарождающегося пассажиропотока в единицу времени, 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.

Сглаженные значения интенсивности подхода пассажиров отражают фактическую интенсивность зарождения пассажиропотока (рисунок 3.26). Полученные значения интенсивности зарождающегося пассажиропотока, рассчитанные для каждой корреспонденции, должны отражать реальные значения возникающего пассажиропотока. В случаях неравномерности пропуска пригородных электропоездов из-за перерывов в движении, например, дневного технологического перерыва, значения интенсивности должны быть скорректированы с учетом прогноза не осваиваемого пассажиропотока. Кроме того, интенсивность зарождения пассажиропотока должна быть равномерной, а, следовательно, должна быть сглажена (рисунок 3.27).

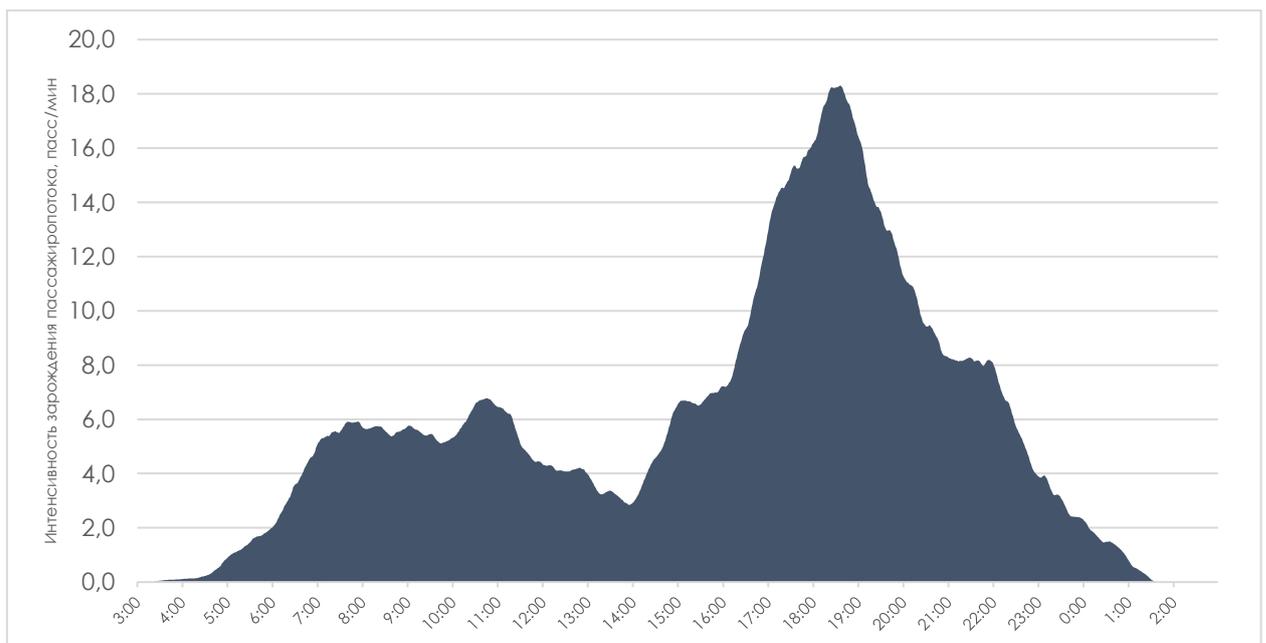


Рисунок 3.26 – Интенсивность зарождения пассажиропотока в корреспонденции Москва – участок Москва-Крюково в рабочий день

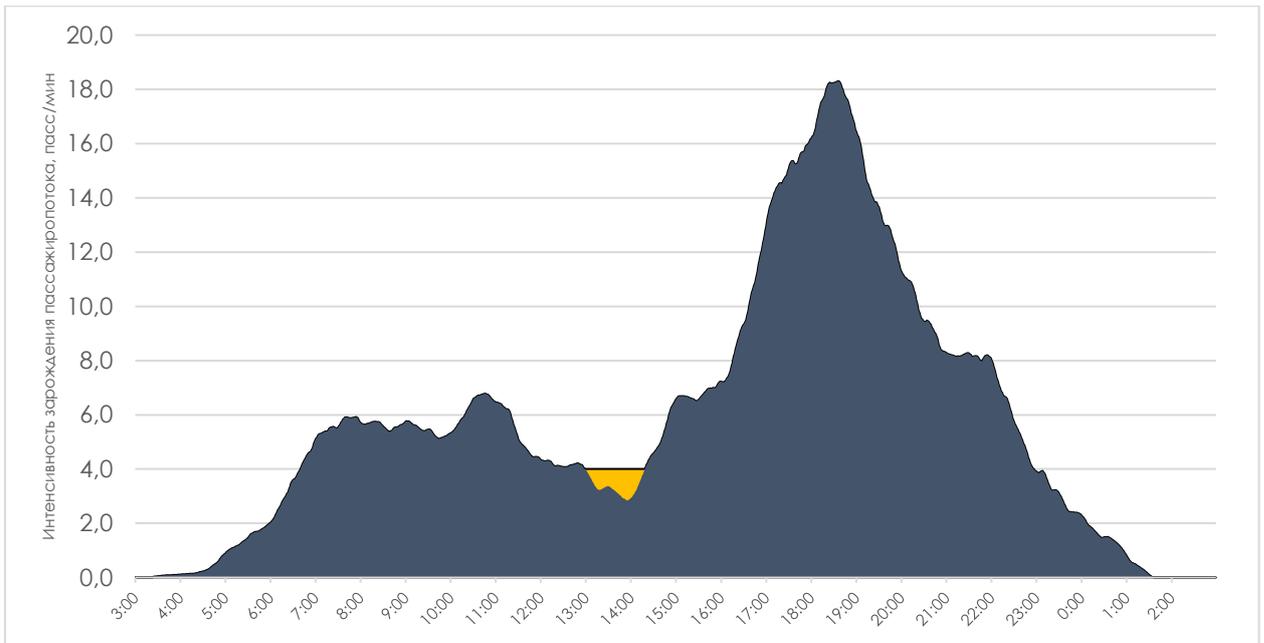


Рисунок 3.27 – Скорректированная интенсивность зарождения пассажиропотока в корреспонденции Москва – участок Москва-Крюково в рабочий день с учетом предположения о неосвоенной емкости рынка

На основании полученных и скорректированных интенсивностей зарождения пассажиропотока для каждой корреспонденции можно оценить емкость рынка перевозок в пригородном сообщении.

$$A_{\text{рынка}}^{\text{емкость}} = \sum_{j=1}^n \int_0^{1440} I(t)_{\text{зарожд. } j}^{\text{корр.}} dt \quad (3.25)$$

где  $A_{\text{рынка}}^{\text{емкость}}$  – ёмкость рынка перевозок пассажиров в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении, пасс.;

$n$  – количество корреспонденций на рассматриваемом направлении;

$I(t)_{\text{зарожд. } j}^{\text{корр.}}$  – интенсивность зарождения пассажиропотока в  $j$  – ой корреспонденции с учетом коррекции в момент времени  $t$ , пасс.

Максимально достигаемый пассажирооборот по линии можно рассчитать по следующей формуле:

$$AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}} = \sum_{j=1}^n L_j \cdot \int_0^{1440} I(t)_{\text{зарожд. } j}^{\text{корр.}} dt \quad (3.26)$$

$AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}}$  – максимальный достигаемый пассажирооборот в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении, пасс-км;

$L_j$  – дальность перевозки в  $j$  – ой корреспонденции, км.

Для оценки привлекаемого пассажиропотока расписанием движения пригородных электропоездов необходимо использовать значение результирующего охвата пригородными электропоездами. В таком случае формула охвата пассажиропотока будет выглядеть следующим образом:

$$A_{\text{рынка}}^{\text{охват}} = \sum_{j=1}^n \int_0^{1440} I(t)_{\text{зарожд. } j}^{\text{корр.}} \cdot k(t)_{\text{результ } j} dt \quad (3.27)$$

где  $A_{\text{рынка}}^{\text{охват}}$  – охватываемый пассажиропоток в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении, пасс.;

$k(t)_{\text{результ } j}$  – результирующий охват пассажиропотока в  $j$  – ой корреспонденции в момент времени  $t$ .

Привлекаемый пассажирооборот в пригородном сообщении в таком случае определяется по формуле:

$$AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}} = \sum_{j=1}^n L_j \cdot \int_0^{1440} I(t)_{\text{зарожд. } j}^{\text{корр.}} \cdot k(t)_{\text{результ } j} dt \quad (3.28)$$

где  $AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}$  – привлекаемый пассажирооборот в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении, пасс-км.

В общем случае охват определяется по формулам 3.13 – 3.23. При этом фактические значения привлечения пассажиров пригородным электропоездом меньше, так как для части пассажиров дублирующие пригородные электропоезда в графике движения могут иметь более удобное расписание. В таком случае для оценки охватываемого пассажиропотока для каждого пригородного электропоезда необходимо определить фактический охват, т.е. с учетом охвата другими пригородными электропоездами. При этом результирующее значение является суммой фактических значений:

$$k(t)_{\text{результ } j} = \sum_{i=1}^{N_j} k(t)_{i j}^{\Phi} = \sum_{i=1}^{N_j} (k(t)_{\text{пр } i j}^{\Phi} + k(t)_{\text{вт } i j}^{\Phi}) \quad (3.29)$$

где  $k_j^\Phi(t)_i$  – фактический охват  $j$  – ой корреспонденции пассажиропотока  $i$  – ым пригородным электропоездом в момент времени  $t$ ;

$k(t)_{\text{пр}i j}^\Phi$  – фактический охват  $j$  – ой корреспонденции пассажиропотока  $i$  – ым пригородным электропоездом в момент времени  $t$  в преимущественный период охвата;

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

$N$  – размеры движения пригородных электропоездов, обслуживающих  $j$  – ую корреспонденцию пассажиропотока, пар поездов.

Для оценки привлечения пассажиров в пригородном сообщении дублирующими пригородными электропоездами необходимо уточнить алгоритм выбора пригородного электропоезда пассажиром. В разрабатываемой модели распределения пассажиров между пригородными электропоездами были учтены следующие допущения:

1. Пассажиропоток, зарождающийся в диапазоне между последовательно следующими пригородными электропоездами, распределяется строго между ними.

2. Приоритет при распределении пассажиропотока между пригородными электропоездами в первой половине дня имеет пригородный электропоезд, прибывающий ранее, а во второй половине дня, отправляющийся позже.

3. Результирующий охват пассажиропотока в каждый момент времени является максимальным из значений теоретических охватов, а не их суммой.

Пример охвата корреспонденции пассажиропотока пригородными электропоездами для 30 минутного интервала приведены на рисунках 3.28 и 3.29. На рисунке 3.28 приведен теоретический охват пассажиропотока

пригородным электропоездом, а на рисунке 3.29 фактический охват пассажиропотока.

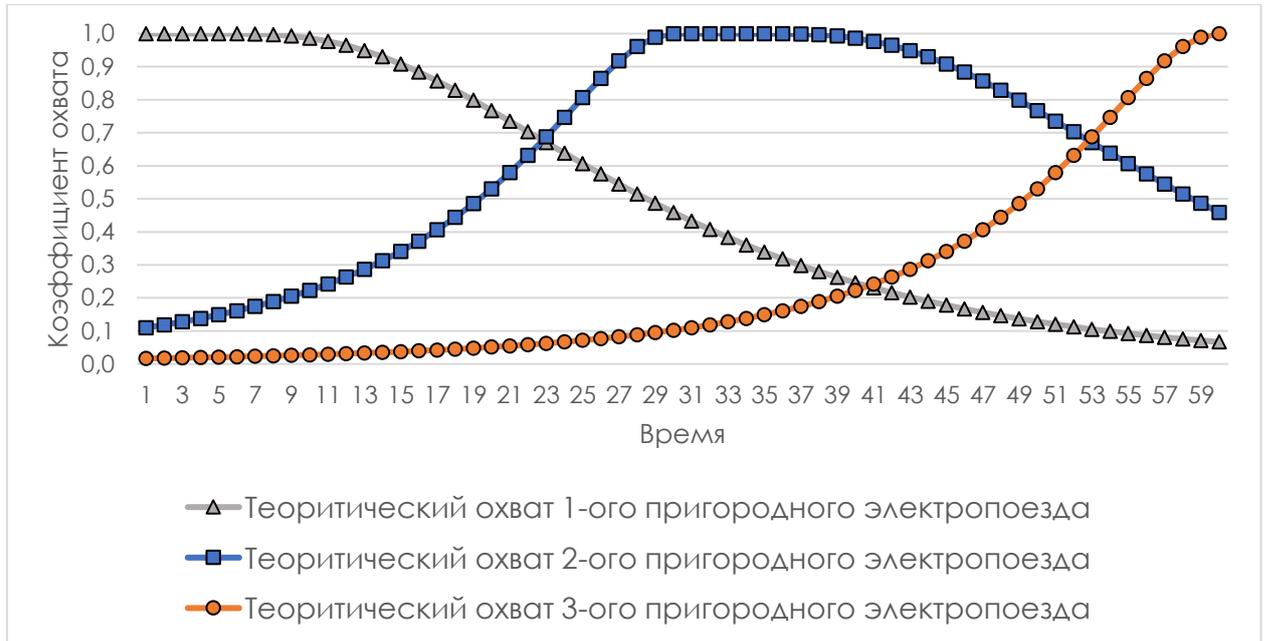


Рисунок 3.28 – Теоретический охват пригородных электропоездов при 30 минутном межпоездном интервале

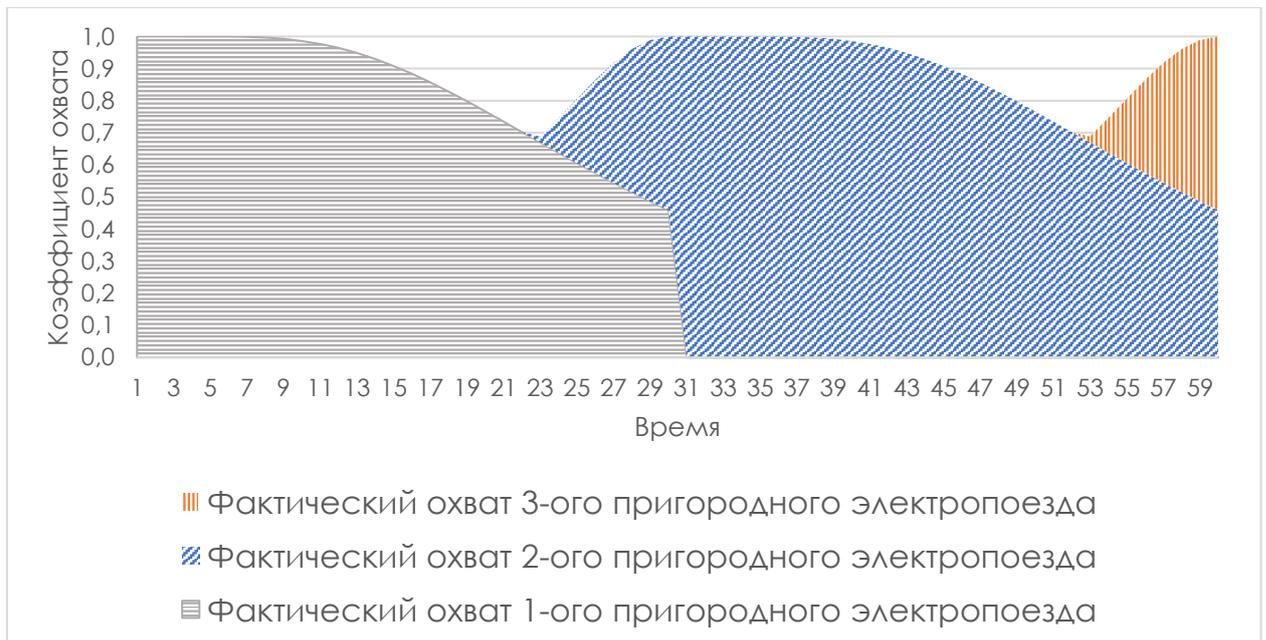


Рисунок 3.29 – Фактический охват пассажиропотока пригородными электропоездами при 30 минутном межпоездном интервале в соответствии с принятыми допущениями

В таком случае фактический охват  $i$  – ым пригородным электропоездом в  $j$  – ой корреспонденции пассажиропотока в  $t$  – ый момент времени определяется по следующим формулам:

$$k(t)_{\text{пр}i j}^{\Phi} = k(t)_{\text{пр}i j}^{\text{T}} \quad (3.30)$$

$$k(t)_{\text{вт}i j}^{\Phi} = \begin{cases} k(t)_{\text{вт}i j}^{\text{T}} - k(t)_{\text{пр}i+\delta j}^{\text{T}}, & \text{если } K(t)_{\text{вт}i j}^{\text{T}} \geq K(t)_{\text{пр}i+\delta j}^{\text{T}} \\ 0, & \text{если } K(t)_{\text{вт}i j}^{\text{T}} < K(t)_{\text{пр}i+\delta j}^{\text{T}} \end{cases} \quad (3.31)$$

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

Рассчитанный охват корреспонденции пассажиропотока за период времени в зависимости от воспринимаемого интервала приведен в приложении Д в таблицах Д.1-Д.3. В таблице Д.1 приведен охват корреспонденции пассажиропотока за период времени пригородным электропоездом, имеющим приоритет для пассажиров, в таблице Д.2 - пригородным электропоездом, являющимся второстепенным, а в таблице Д.3 - суммарный охват корреспонденции.

Количество пассажиров в  $j$  - ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в  $i$  - ом пригородном электропоезде, определяется по следующим формулам:

$$A_i^j = A_{\text{пр}i}^j + A_{\text{вт}i}^j \quad (3.32)$$

$$A_{\text{пр}i}^j = \int_{t_{i+\delta \cdot (\delta-1)/2}}^{t_{i+\delta \cdot (\delta+1)/2}} I(t)_{\text{зарожд.}j}^{\text{корр.}} \cdot k(t)_{\text{пр}i j}^{\Phi} dt \quad (3.33)$$

$$A_{\text{вт}i}^j = \int_{t_{i-\delta \cdot (\delta+1)/2}}^{t_{i-\delta \cdot (\delta-1)/2}} I(t)_{\text{зарожд.}j}^{\text{корр.}} \cdot k(t)_{\text{вт}i j}^{\Phi} dt \quad (3.34)$$

где  $A_i^j$  - количество пассажиров из  $j$  - ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в  $i$  - ом пригородном электропоезде, пасс.;

$A_{\text{пр}i}^j$  - количество пассажиров из  $j$  - ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в  $i$  - ом пригородном электропоезде, охваченных в преимущественный период, пасс.;

$A_{\text{вт}i}^j$  - количество пассажиров из  $j$  - ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в  $i$  - ом пригородном электропоезде, охваченных во второстепенный период, пасс.

Полученные значения охвата зарождающегося пассажиропотока в зависимости от воспринимаемого интервала движения можно применять для оценки осваиваемого пассажиропотока и его распределения между пригородными электропоездами. Населенность пригородных электропоездов в проектных графиках движения не должна превышать значений установленной вместимости, а проектный график движения должен обеспечивать освоение зарождающегося пассажиропотока на рассматриваемых корреспонденциях. Данные показатели могут быть использованы для принятия управленческих решений, направленных на оптимизацию графика движения пригородных электропоездов, а также при решении оптимизационных задач при построении проектных графиков движения.

### **Выводы к 3 главе**

1. Результаты исследования интенсивности подхода пассажиров на остановочные пункты подтвердили гипотезу о гибкости пассажиропотока в подстраивании пассажиров под расписание движения пригородных электропоездов. Определены закономерности распределения подхода пассажиров под посадку, в зависимости от значения межпоездного интервала до и после отправления пригородного электропоезда, а также выбрана функция, описывающая данное распределение. Аппроксимирующей функцией выбрана функция плотности вероятности логлогистического распределения и установлены зависимости значения изменяемых параметров функции от величины применяемых межпоездных интервалов.

2. Мода распределения подхода пассажиров под посадку на пригородный электропоезд находится в диапазоне от 3 до 15 минут и зависит от величины межпоездного интервала как до, так и после отправления пригородного электропоезда.

3. Для исследования пороговых значений времени ожидания и возможности подстраивания пассажиров под расписание движения пригородных электропоездов был проведен опрос пассажиров. Ключевым фактором, влияющим на возможность подстраивания пассажиров под расписание движения пригородных электропоездов, оказался фактор воспринимаемого (среднего) межпоездного интервала движения пригородных электропоездов на рассматриваемом маршруте. Данный фактор коррелирует со средним временем поездки и вероятно зависит от уровня развития конкурирующих видов транспорта.

4. Результаты опроса позволили установить значение охвата корреспонденции пассажиропотока пригородным электропоездом в зависимости от воспринимаемого межпоездного интервала. Для обозначения данного показателя предложено ввести показатель – коэффициент охвата пассажиропотока пригородным электропоездом. Функция охвата пассажиропотока пригородным электропоездом аппроксимирована кумулятивной функцией логнормального распределения.

5. На основании проведенных исследований разработан порядок оценки величины неосвоенного пассажиропотока и населенности пригородных электропоездов в зависимости от расписания движения. Разработанная порядок позволяет прогнозировать населенность пригородных электропоездов как действующего, так и проектных графиков, а также оценивать величину не осваиваемого пассажиропотока. Тактовое расписание движения с 10 минутным межпоездным интервалом обеспечивает 100% освоение зарождающегося пассажиропотока, 30 минутный – 91%, 60 минутный – 74%.

## **4. ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДА РАЗРАБОТКИ ТАКТОВОГО РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

### **4.1. Алгоритма построения тактового графика движения для участков с интенсивным движением пригородных электропоездов**

Нормативные графики движения поездов разрабатывают и вводят в постоянную эксплуатацию один раз в год во вторые выходные дни декабря. Разработка и корректировка графика движения поездов осуществляется в соответствии с утверждённой инструкцией по разработке графиков движения поездов в ОАО «РЖД». Существующий процесс разработки графика движения поездов, графика оборота пригородных электропоездов и графика работы локомотивных бригад приведены на рисунке 4.1 (а).

Исходными данными при разработке расписания движения пригородных электропоездов являются: утвержденное ранее расписание движения пассажирских поездов, техническое оснащение полигона и пассажиропотоки в пригородном сообщении. Расчет потребных размеров движения пригородных электропоездов осуществляется с учетом разработанных методик. При этом существующие инструкции и алгоритмы разработки графика движения не регламентируют параметры прокладки пригородных электропоездов (интервалы, равномерность движения и т.п.). В соответствии с установленными приоритетами прокладки ниток в графике, пригородные электропоезда подстраивают под разработанное ранее расписание движения пассажирских поездов. Из-за установленных приоритетов в прокладке поездов и отсутствия утвержденных принципов прокладки пригородных электропоездов расписание их движений не всегда обеспечивают необходимый уровень качества, т.е. не удовлетворяют потребностям пассажиров.

**Графиком движения поездов с тактовым расписанием движения пригородных электропоездов** называется такой график, в котором на всем протяжении пригородного направления обеспечивается повторяемое в течении суток расписание движение пригородных электропоездов через установленный период такта. Для обеспечения перевозок пассажиров в пиковые периоды суток в дополнение к разработанному тактовому, повторяемому расписанию назначаются дополнительные поезда, обеспечивающие освоение пассажиропотока. График движения поездов с тактовым расписанием движения пригородных электропоездов позволяет достичь равномерное облуживание остановочных пунктов пригородными электропоездами, тем самым обеспечивая снижение суточных суммарных пассажиро-часов ожидания, систематизируя оборот пригородных электропоездов, обеспечивая удобство и комфорт пассажиров.

Алгоритм построения графика движения с разработкой схем такта обеспечивает проектирование тактовых расписаний движения пригородных электропоездов. Алгоритмы разработки графика движения поездов и другой технологической документации с учетом разработки схем такта представлен на рисунке 4.1 (б).

Особенностью проектирования графика движения поездов с тактовым расписанием движения пригородных электропоездов является предшествующий разработке графика этап – разработка схем такта пригородных электропоездов. **Схема такта пригородных электропоездов** – последовательность пропуска пригородных электропоездов с указанием маршрута следования и режима остановок в течении периода такта. Примеры изображения схем такта приведены на рисунках 4.2 – 4.3. Схемы такта разрабатывают перед этапом проектирования графика движения поездов отдельно для пикового и непикового периода суток, четного и нечетного направления.

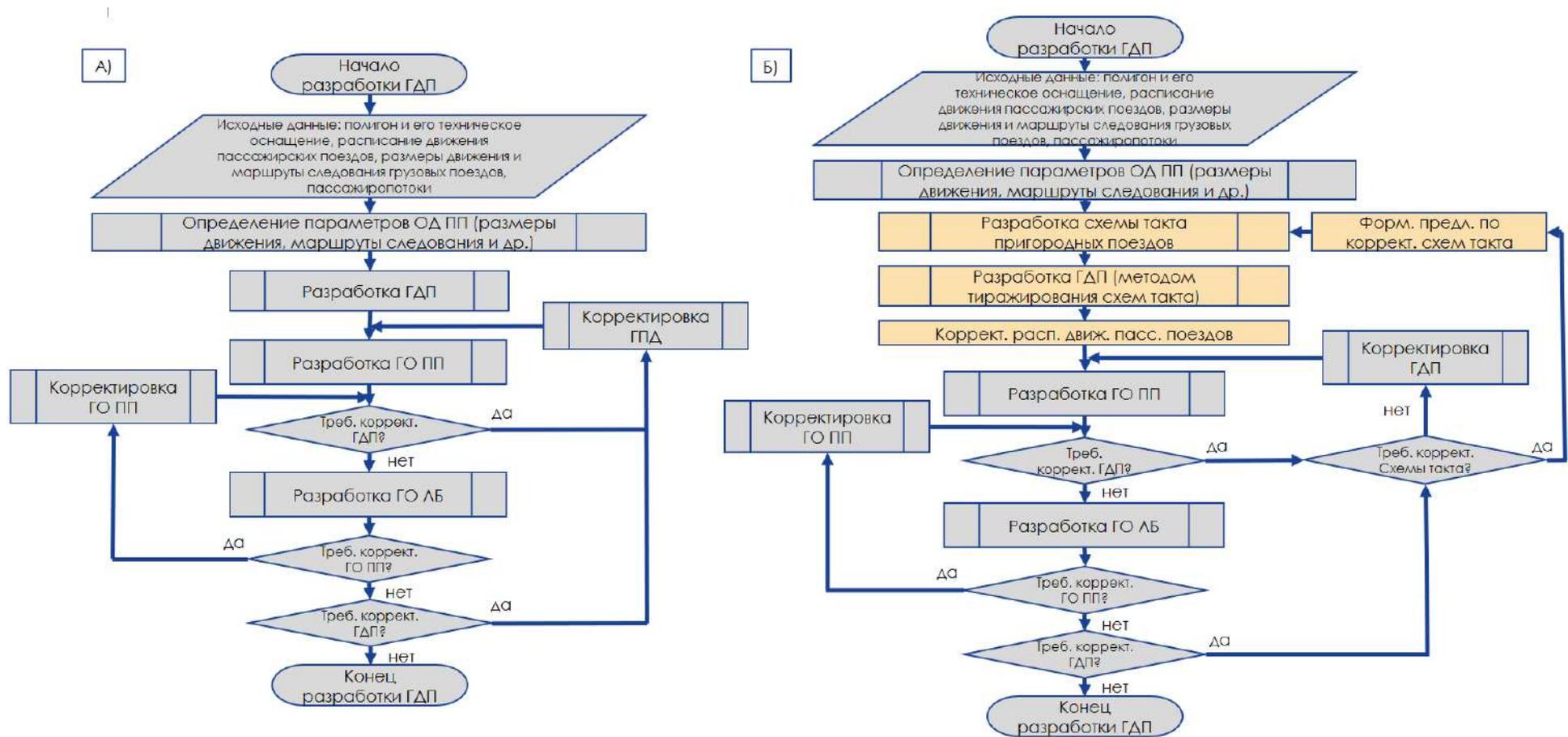


Рисунок 4.1 – Алгоритмы разработки графика движения поездов и другой технологической документации

а) текущий алгоритм, б) алгоритм с учетом разработки схем такта

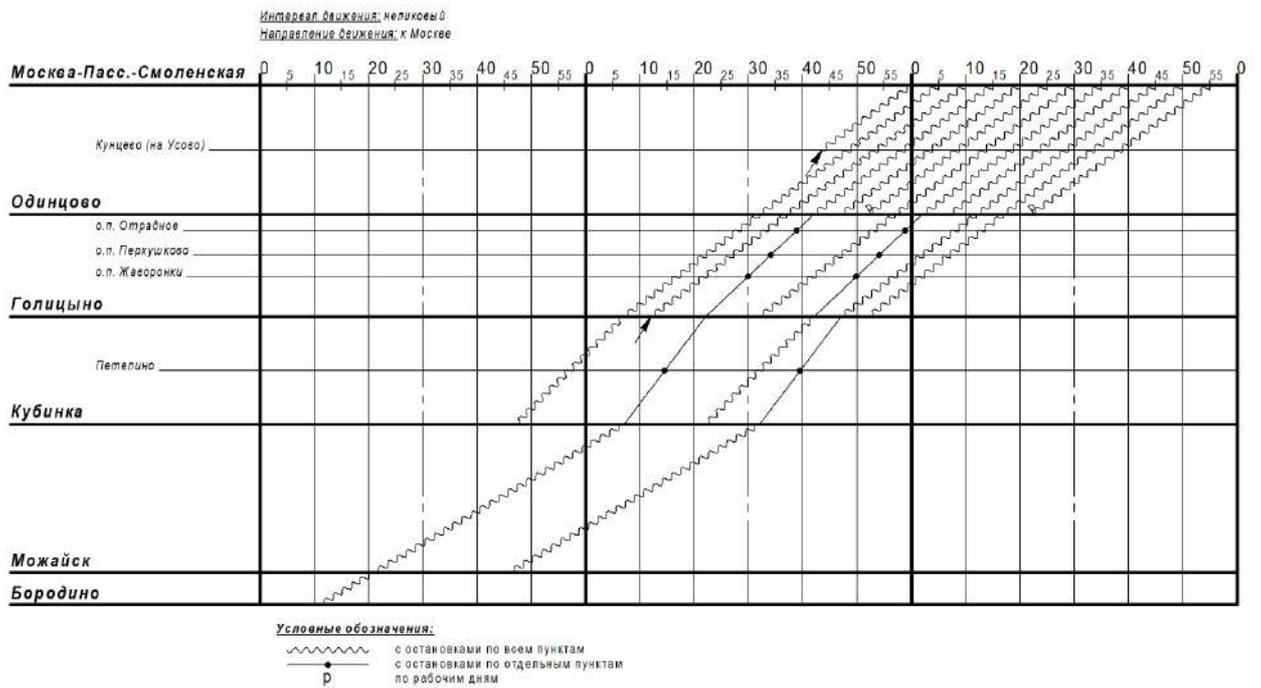


Рисунок 4.2 – Концепт схемы такта пригородных электропоездов на Белорусском направлении ЦТУ по направлению к Москве в пиковый период до строительства 3,4 главных путей на участке Москва – Одинцово

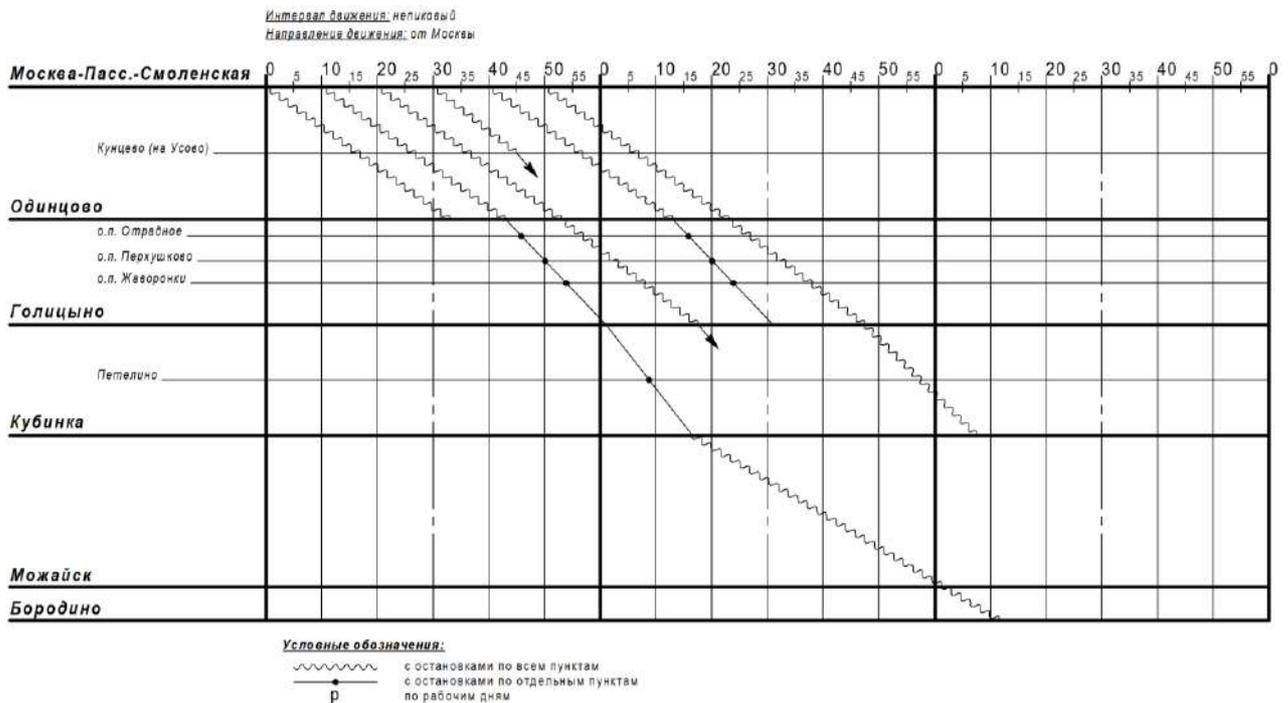


Рисунок 4.3 – Концепт схемы такта пригородных электропоездов на Белорусском направлении ЦТУ по направлению от Москвы в непииковый период до строительства 3,4 главных путей на участке Москва – Одинцово

Исходными данными для разработки схемы такта пригородных электропоездов является период такта и размеры движения ПЭП.

**Периодом такта** является период времени, через который повторяется разработанная схема такта в графике движения поездов. В графиках без зонного движения период такта равняется интервалу движения между последовательно следующими поездами. В графиках с зонным движением период такта устанавливается исходя из местных условий и зачастую принимается равным **30, 60, 90 или 120 минутам**. Данные значения условно можно назвать **стандартными значениями величины такта пригородных электропоездов**. Данные значения подходят для графиков движения поездов, разрабатываемых для участков, обеспечивающих минимальный межпоездной интервал между пригородными электропоездами 5-6 минут. В случаях, если обеспечивается минимальный межпоездной интервал в 4 минуты, стандартными значениями такта пригородных электропоездов для таких направлений являются величины **16, 20, 40, 60 или 120 минут**. Продолжительность периода такта оказывает влияние на параметры организации движения пригородных электропоездов, в том числе на размеры их движения, по причине того, что размеры движения пригородных электропоездов округляют до целых значений не на весь период суток, а в пределах выбранного периода такта.

Для выбора периода такта необходимо установить расчетные размеры движения и средний интервал по отправлению до зонных станций рассматриваемого направления. Под **средним интервалом по отправлению** понимается среднее значение интервала между отправлением пригородных электропоездов до рассматриваемой зонной станции для оборота на ней. Для упрощения выбора периода такта и разработки схемы прокладки средний интервал по отправлению должен быть округлен до значений, кратных стандартным значениям периода такта: **5, 6, 10, 15, 30, 45, 60, 120 минут**.

Период такта должен принимать значение не менее наибольшего среди рассчитанных значений среднего интервала по отправлению до зонных станций рассматриваемого направления, а также должен быть кратен всем значениям. Например, в случае если на зонные станции «А», «Б» и «В»,

расположенные последовательно по удалению от головной пассажирской станции, средний интервал по отправлению составляет 10, 15 и 30 минут соответственно, то для рассматриваемого участка период такта должен быть установлен 30 минут. В случае если на тех же на зонных станциях интервал по отправлению составляет 10, 20 и 30 минут соответственно, для рассматриваемого участка период такта должен быть установлен 60 минут, чтобы быть кратным всем значениям.

В случаях если значение среднего интервала по отправлению на одну из зонных станций значительно превышает остальные значения, в проектируемой схеме такта пригородные электропоезда, следующие до данной зонной станции, могут быть учтены как следующие до расположенной рядом зонной станции. Например, на Ярославском направлении МЖД пригородные электропоезда, следующие до Красноармейска, в течение суток отправляются с интервалом 2 часа. При разработке схемы такта с периодом 60 минут пригородные поезда, следующие до Красноармейска, могут учитываться как следующие до Софрино, с пометкой, что раз в два часа один из поездов, следующих до Софрино, следует до Красноармейска.

Разработанные схемы такта пригородных электропоездов используют при построении графиков движения поездов с тактовым расписанием. Порядок проектирования графика движения поездов с тактовым расписанием движением пригородных электропоездов заключается в ***тиражировании разработанных схем такта*** в течении периода суток. Для пиковых периодов суток применяется схема такта, разработанная для пикового периода, а для остальных периодов суток, разработанная для непикового.

С учетом внутрисуточной неравномерности и наличия пиковых периодов движения пригородных электропоездов часть составов пригородных поездов совершает транспортную работу только в пиковые периоды суток. В остальные периоды суток данные составы отстаиваются на специально подготовленных путях для отстоя, которые могут быть расположены как на головной станции, так и рассредоточены по всему пригородному направлению.

В графике движения поездов должна быть обеспечена расстановка составов пригородных электропоездов, поэтому применяемые схемы такта для непиковых периодов должны быть адаптированы для расстановки составов после и перед пиковыми периодами. Рекомендации к порядку тиражирования разработанных схем такта пригородных электропоездов на радиальном направлении приведены в приложении Г. В таблице Г.1 представлены рекомендации к порядку тиражирования разработанных схем такта пригородных электропоездов на радиальном направлении для случаев осуществления межпикового и ночного отстоя преимущественного на станции, расположенной в ближней пригородной зоне, в таблице Г.2 – в случаях осуществления межпикового и ночного отстоя преимущественного на станции, расположенной в средней или дальней пригородной зоне и в таблице Г.3 – в случаях достаточного технического оснащения для проведения ночного отстоя в дальней и средней пригородной зоне, а межпикового отстоя на головной станции или в ближней пригородной зоне пригородного направления.

Важной особенностью построения графика движения с использованием схем такта пригородных электропоездов является необходимость обеспечения плавного перехода в графике движения с непикового периода на пиковый и обратно. Для этого в периоды перехода разработанные ранее схемы такта для непикового периода адаптируют для обеспечения равномерности обслуживания пригородных участков. Кроме того, для обеспечения и поддержания единого/системного такта пригородных электропоездов на протяжении всех суток независимо от пиковых и непиковых периодов схему такта для пикового периода следует разрабатывать на основании ранее разработанной схемы такта для непикового периода, сохраняя ядро схемы и её основные отличительные черты.

После тиражирования разработанных схем такта для непиковых и пиковых периодов производится ручная корректировка графика движения поездов, в том числе для обеспечения перехода в графике движения между

пиковыми и непиковыми периодами, обеспечения расстановки составов на ночной отстой при закрытии движения и порядка выхода составов из пунктов отстоя при открытии движения, а также обеспечения оборачиваемости составов пригородных электропоездов в периоды адаптации схем такта. После проведенных корректировок в расписании движения пригородных электропоездов получается **скелет тактового расписания движения пригородных электропоездов** – проектный график движения пригородных электропоездов, построенный с использованием разработанных схем такта без учета пропуска поездов других категорий. Следующей стадией в проектировании графика движения является прокладка в графике пассажирских и грузовых поездов, для которых в скелете расписания движения должны быть оставлены слоты.

#### **4.2. Принципы разработки схем такта пригородных электропоездов**

От разработанной схемы такта пригородных электропоездов зависят параметры качества организации их движения, поэтому схема такта пригородных электропоездов должна обеспечивать:

- освоение реально достижимых объемов перевозок железнодорожным транспортом в пригородном сообщении;
- обеспечение комфортной поездки пассажиров (не превышение допустимого уровня населенности пригородных электропоездов);
- минимизацию пассажиро-часов в движении и ожидании;
- минимизацию общего количества составов пригородных электропоездов в обороте;
- минимизацию эксплуатационных расходов;
- наличие слотов для пропуска пассажирских и грузовых поездов (в случае необходимости).

Качество разрабатываемой схемы такта движения пригородных электропоездов с точки зрения пассажиров обеспечивается минимизацией

значений пассажиро-часов в движении и ожидании. Достижение минимизации времени пассажиро-часов ожидания обеспечивается равномерным обслуживанием остановочных пунктов пригородными электропоездами в течении такта. Для обеспечения минимизации пассажиро-часов в движении схема такта должна обеспечивать прокладку пригородных электропоездов дальних зон с пропуском остановок в ближней и срединной зоне. Решение задачи минимизации пассажиро-часов при разработке схемы такта сводится к поиску значений времени отправления, маршрута следования и режима остановок пригородного электропоезда.

Для обеспечения минимизации общего количества составов пригородных электропоездов в обороте схемы такта в четном и нечетном направлении должны разрабатываться параллельно друг с другом, учитывая технологию и нормативное время оборота пригородных электропоездов на зонных станциях. Схемы такта должны обеспечивать оборот пригородных электропоездов за время, близкое к нормативному. Также разрабатываемые схемы такта должны учитывать все возможные ограничения инфраструктуры по количеству путей для оборота на зонных станциях и враждебные пересечения в горловинах станций. С учетом тиражирования разработанных схем такта на весь период суток схемы такта, учитывающие технологию оборота, позволяют обеспечить наилучшее использование составов пригородных электропоездов.

Наличие слотов для грузового и пассажирского движения необходимо обеспечивать в случаях такой необходимости, которая как правило возникает при достаточных размерах движения и невозможности обеспечить пропуск таких поездов без учета в схеме такта движения пригородных электропоездов. Например, на Смоленском направлении МЖУ размеры движения пассажирских поездов составляют около 20 пар в сутки, и в разрабатываемых схемах такта пригородных электропоездов данные поезда должны быть включены в схему такта для обеспечения возможности их пропуска по участку Кубинка – Голицыно – Одинцово – Москва без значительных временных

задержек. При наличии грузового движения по линии схема такта должна оставлять возможность для осуществления пропуска грузовых поездов.

Для учета освоения заданных пассажиропотоков и обеспечения комфортной поездки пассажиров необходимо проводить моделирование объема привлекаемого пассажиропотока и его распределения между пригородными электропоездами в схеме такта.

Обеспечение указанных выше пунктов достигается разработкой рациональных схем такта пригородных электропоездов. Существует два подхода к разработке схем такта пригородных электропоездов, которые отличаются набором исходных данных и принципами проектирования:

- разработка такта с фиксированным периодом такта и размерами движения пригородных электропоездов по участкам;
- разработка такта с выбранным периодом такта, но без фиксированных размеров движения пригородных электропоездов.

В первом случае размеры движения для рассчитываются исходя из прогнозируемой величины пассажиропотока по следующей формуле:

$$N_i = \frac{A_i}{a_{\text{пэп}} \cdot a_{\text{исп}}^i} \quad (4.1)$$

где  $N_i$  – размеры движения на  $i$ -участке, пар электропоездов;

$A_i$  – плотность пассажиропотока в сечении на  $i$ -участке, пасс;

$a_{\text{пэп}}$  – вместимость пригородного электропоезда, пасс;

$a_{\text{исп}}^i$  – коэффициент использования вместимости на  $i$ -участке.

Целевой функцией при разработке схемы прокладки пригородных электропоездов при установленных размерах движения является обеспечение минимизации пассажиро-часов в ожидании и в движении.

$$\sum AT_{\text{ож}}(X) + \sum AT_{\text{движ}}(X) \rightarrow \min \quad (4.2)$$

где  $\sum AT_{\text{ож}}(X)$  – суммарные пассажиро-часы ожидания за рассматриваемый период такта, пасс-час;

$\sum AT_{\text{движ}}(X)$  – суммарные пассажиро-часы в движении за рассматриваемый период такта, пасс-час.

$X$  – схема такта пригородных электропоездов;

В случае разработки одновременно схемы такта пригородных электропоездов в четном и нечётном направлении в целевую функцию следует включить, времена оборота пригородных электропоездов на зонных станциях.

$$\begin{aligned} & \left( \sum AT_{\text{ож}}(X) + \sum AT_{\text{движ}}(X) \right) \cdot C_{\text{пасс-час}} + \\ & + \sum T_{\text{об}}(X) \cdot C_{\text{поезд-час}} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (4.3)$$

где  $C_{\text{пасс-час}}$  – стоимостная оценка 1 пассажиро-часа в пригородной сообщении, руб/пасс-час;

$\sum T_{\text{об}}(X)$  – суммарное время, затрачиваемое на оборот пригородных поездов на зонных станциях за рассматриваемый период такта, час;

$C_{\text{поезд-час}}$  – расходная ставка на 1 поезд-час в пригородном сообщении, руб/поезд-час.

Ограничениями при такой постановке задачи являются:

- технические и технологические ограничения по обороту пригородных электропоездов на зонных станциях;
- межпоездной интервал следования пригородных электропоездов по участку.

При рассчитанных и установленных периоде такта и размерах движения пригородных электропоездов управляемыми параметрами в схеме такта являются следующие значения:

- время прибытия пригородного электропоезда на головную станцию;
- режим остановок пригородного электропоезда на участке следования.

Недостатком данного метода является то, что не учитывается фактическая населённость пригородных электропоездов. При обеспечении равномерного интервала движения пассажиры равномерно распределяются

между пригородными электропоездами. Из-за этого пригородные электропоезда дальних зон в ближней пригородной зоне перенаселяются выше допустимого уровня. Данный недостаток можно решить несколькими подходами:

- пропуск дальними пригородными электропоездами части остановок в средней и ближней пригородной зоне;
- управление временем прибытия пригородных электропоездов, для перераспределения пассажиропотока между ними;
- увеличение размеров движения в ближней пригородной зоне или продление маршрутов следования пригородных электропоездов для перераспределения пассажиропотока.

Пропуск (следование без остановки) перенаселяемыми дальнепригородными электропоездами части пассажирообразующих станций в ближней и средней зоне не желателен, так как в таком случае увеличивается среднее время ожидания пассажиром электропоезда. Для управления временем отправления и прибытия пригородных электропоездов необходимо учитывать распределение пассажиропотока между пригородными электропоездами и при установленных размерах движения не всегда достижим приемлемый вариант. Увеличение размеров движения является приемлемым вариантом, но в текущих подходах принимается допущение что пригородные электропоезда следуют равномерно, что не всегда может быть обеспечено схемой прокладки. Также то, что пассажиропоток принимается как исходное значение и не зависит от расписания движения, является допущением и недостатком данного подхода.

Альтернативным подходом для разработки схемы такта является подход, в котором размеры движения пригородных электропоездов определяются самим алгоритмом при разработке схемы такта. Размеры движения пригородных электропоездов определяются исходя из обеспечения освоения пассажиропотока и не превышения их населённости. Для решения поставленной задачи необходимо учитывать описанные в 3 главе подходы к

оценке того, как происходит привлечение пассажиропотока и как он распределяется между пригородными электропоездами. При такой постановке задачи и в случае разработки схемы такта только для одного направления целевая функция принимает следующий вид:

$$\left( \sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}} - \sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}(X) \right) \cdot C_{\text{пасс-км}} + \sum NL_{\text{движ}}(X) \cdot m_{\text{ваг}} \cdot C_{\text{ваг-км}} + \sum NT_{\text{движ}}(X) \cdot C_{\text{поезд-час}} \rightarrow \min \quad (4.4)$$

где  $\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}}$  – максимальный достигаемый пассажирооборот в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении за период такта, пасс-км;

$\sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}(X)$  – привлекаемый пассажирооборот в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении за период такта, пасс-км;

$C_{\text{пасс-км}}$  – стоимостная оценка привлеченного пассажира, руб/пасс.-км;

$\sum NL_{\text{движ}}(X)$  – суммарные поезд-км движения пригородных поездов в схеме такта, поезд-км;

$m_{\text{ваг}}$  – количество вагонов в составе пригородных поездов, ваг/поезд;

$\sum NT_{\text{движ}}(X)$  – суммарные поезд-часы пригородных поездов в движении в схеме такта, поезд-час;

$C_{\text{ваг-км}}$  – расходная ставка на 1 ваг-км в пригородном сообщении, руб/ваг-км;

$C_{\text{поезд-час}}$  – расходная ставка на 1 поезд-час в пригородном сообщении, руб/поездо-час.

В случае разработки схемы такта одновременно для четного и нечетного направления необходимо в целевую функцию включить время оборота пригородных электропоездов на зонных станциях:

$$\left( \sum AL_{\text{рынка}}^{\text{емкость}} - \sum AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}(X) \right) \cdot C_{\text{п-км}} + \sum NL_{\text{дв}}(X) \cdot m_{\text{ваг}} \cdot C_{\text{ваг-км}} + \left( \sum NT_{\text{дв}}(X) + \sum NT_{\text{об}}(X) \right) \cdot C_{\text{поезд-час}} \rightarrow \min \quad (4.5)$$

Ограничениями при такой постановке задачи могут быть:

- технические и технологические ограничения по обороту пригородных электропоездов на зонных станциях;
- межпоездной интервал следования ПЭП по участку;
- допустимая населенность составов пригородных электропоездов по участкам;
- минимальные размеры движения или максимальный межпоездной интервал по участкам;

При подобной постановке задачи управляемыми параметрами в схеме такта являются следующие значения:

- маршрут следования пригородного электропоезда;
- время прибытия ПЭП на головную станцию;
- режим остановок ПЭП на участке следования.

Для эффективного использования подвижного состава схема пропуска пригородных электропоездов должна обеспечивать минимальное время оборота на зонных станциях. Это требует разработки схемы пропуска пригородных поездов в оба направления следования одновременно. Но реализация данного требования не всегда реализуема, например, в пиковые периоды суток размеры движения пригородных электропоездов не являются парными, а схема пропуска электропоездов в неприоритетном направлении должна обеспечить равномерный вывод составов на линию с мест отстоя перед пиком, минимальное время оборота и равномерную расстановку составов в места отстоя после пикового периода.

#### **4.3. Разработка оптимизационной экономико-математической модели для расчета схемы такта, учитывающей величину неосвоенного пассажиропотока в зависимости от расписания движения**

*Задача:* создать инструмент для определения рациональных размеров движения пригородных электропоездов по участку, последовательности их

пропуска и режима остановок в течении установленного периода графика, который будет обеспечивать экономическую целесообразность перевозок, освоение пассажиропотока и комфортные условия проезда для пассажиров. Для достижения поставленной цели необходимо создать оптимизационную экономико-математическую модель, которая позволит определять охват пассажиропотока и его распределение между пригородными электропоездами в зависимости от расписания движения. В модели должны быть учтены полученные данные об особенностях транспортного поведения пассажиров, описанные в 3 главе. Размеры движения пригородных электропоездов по участкам должны определяться в процессе поиска рациональной схемы пропуска, с учетом необходимости обеспечения комфортных условий проезда для пассажиров и экономически оправданных объемов перевозок. [10]

Для разработки схема пропуска пригородных электропоездов необходим следующий **набор исходных данных**:

- *полигон и его техническое оснащение*  $\{S\}$ : множество станций и остановочных пунктов  $\{P\}$ , которое состоит из зонных станций  $\{P_{зс}\}$  и межзонных пригородных участков  $\{P_{уч}\}$  (остановочных пунктов, объединенных в группы в соответствии с установленным режимом остановок), расстояние между зонными станциями  $\{L_{p_{уч}}\}$ , км; время хода между станциями при следовании с по всем остановочным пунктам  $\{t_{p_{уч}}^{со всеми}\}$  и с пропуском части или всех  $\{t_{p_{уч}}^{уск}\}$ , мин; минимальный интервал попутного прибытия  $\{I_{приб}\}$  и попутного отправления на станции  $\{I_{отпр}\}$ , мин;

- *технология организации перевозочного процесса*  $\{D\}$ : период такта  $\{T_{период}\}$ , мин; возможные маршруты следования пригородных электропоездов  $\{M\}$ , возможные режимы остановок пригородных электропоездов по участкам  $\{O^p\}$ , количество вагонов в составе пригородного электропоезда  $\{M_{мвпс}\}$ , ваг./поезд.; вместимость пригородного электропоезда  $\{a_{пэп}\}$ , чел./поезд; стоимостная оценка расходных ставок  $\{C_{п-км}, C_{ваг-км}, C_{поезд-час}\}$ , руб/измеритель;

– *пассажиропотоки*  $\{A\}$ : интенсивность зарождения пассажиропотока для каждой корреспонденции, задаваемая как функция, либо как постоянное в течении периода число, принимаемое как допущение  $\{I_{\text{зарожд.}j}\}$ , пасс./мин; воспринимаемый межпоездной интервал для каждой корреспонденции  $\{I_{\text{воспр}j}\}$ , мин;

**Целевая функция** для решения поставленной задачи разработки схемы пропуска пригородных электропоездов задается формулой 4.4, если необходимо разработать схему прокладки только для одного направления следования, и 4.5, когда необходимо разработать схему прокладки в оба направления. При разработке модели выбора схемы пропуска акцент был сделан на разработку схемы такта для одного направления следования.

Составляющими целевой функции являются эксплуатационные расходы и недополученных доход от неосвоенного пассажирооборота, которые зависят от схемы пропуска пригородных поездов. Схема такта пригородных электропоездов характеризуется следующими **набором переменных**:

$$X = \{m_i; t_{\text{приб}i}^r; t_{\text{отпр}i}^r; o_i^p\} \quad (4.6)$$

где  $X$  – схема такта пригородных электропоездов;

$m_i$  – маршрут следования  $i$  – ого пригородного электропоезда;

$t_{\text{приб}i}^r$  – время прибытия  $i$  – ого пригородного электропоезда на головную станцию полигона, мин;

$t_{\text{отпр}i}^r$  – время отправления  $i$  – ого пригородного электропоезда от головной станции полигона, мин;

$o_i^p$  – булева переменная, характеризующая остановку  $i$  – ого пригородного электропоезда на станции или участке  $p$ .

Схема такта, а, следовательно, и расписание движения пригородных электропоездов описывается набором параметров, представленных выше. Параметр время прибытия  $i$  – ого пригородного электропоезда на головную станцию используется при разработке схемы такта для направления

следования к головной станции, по отправлению в противоположном случае. В случае разработки схемы такта в оба направления следования используются оба параметра.

При поиске рациональной схемы такта без установленных размеров движения, важным параметром является количество позиций в схеме такта пригородных поездов. Данный показатель является фиксированным и определяет максимальное возможное количество электропоездов за рассматриваемый период. Увеличение возможных позиций в схеме тактакратно увеличивает количество возможных вариантов пропуска пригородных и усложняет поиск рационального варианта.

Количество позиций в расчетной схеме такта должно обеспечивать провозную емкость на участке с наибольшей густотой пассажиропотока и не превышать пропускную способность данного участка. Если пропускная способность участка не позволяет пропустить требуемое количество электропоездов, то тогда необходимо изменить используемый в предварительных расчетах коэффициент использования вместимости составов на данном участке. Применение на 1~2 позиций в схеме такта больше расчетного позволяет алгоритму определять требуемые размеры движения поездов по участку без установленных программных ограничений.

$$\frac{A_{\text{му}}}{a_{\text{пэп}} \cdot a_{\text{исп}}^{\text{му}}} + (1 \sim 2) \leq I_{\text{поз}} \leq T_{\text{период}} / I_{\text{приб}} \quad (4.7)$$

где  $A_{\text{му}}$  – густота пассажиропотока в сечении на участке максимальных объемов перевозок, пасс;

$a_{\text{пэп}}$  – вместимость пригородного электропоезда, пасс;

$a_{\text{исп}}^{\text{му}}$  – коэффициент использования вместимости на участке максимальных объемов перевозок;

$I_{\text{поз}}$  – количество позиций в схеме такта;

Маршрут следования пригородного электропоезда выбирается из набора установленных исходными данными возможных вариантов маршрута, которые формируются на основании опыта организации пригородного

сообщения на рассматриваемом маршруте. Одним из возможных вариантов маршрута является отсутствие пригородного электропоезда в соответствующую позицию в схеме такта. Набор переменных, характеризующих схему такта, можно представить в виде таблицы (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Формат области переменных, характеризующих схему такта

Параметр	Условное обозначение	Допустимые значения	Пример			
Номер позиции в схеме такта	$i$	$\{1, \dots, I_{\text{поз}}\}$	1	2	...	7
Время прибытия	$t_{\text{приб}_i}^{\Gamma}$	$\{0, \dots, T_{\text{период}}\}$	0	24	...	47
Маршрут следования	$m_i$	$\{0, \dots, M\}$	1	0	...	2
Режим остановок	$o_i^A$	{0,1}	1	1	...	1
	$o_i^B$		1	0	...	1
	...		...	...	...	...
	$o_i^P$		0	0	...	1
	...		...	...	...	...
	$o_i^P$		1	1	...	1

На основании переменных, характеризующих схему такта, с учетом исходных данных о времени следования по участкам с и без остановок на остановочных пунктах, формируется расписание движения пригородных электропоездов (таблица 4.2). Время прибытия на головную станцию электропоезда расположенного на первой позиции в схеме такта задается исходными данными.

Таблица 4.2 – Формат формируемого расписания движения электропоездов

$p \setminus i$	1	2	...	$i$	...	$N_{\text{поз}}$
$\Gamma$	8:00	-	...	...	...	$t_{\text{приб}}^{\Gamma}_{N_{\text{поз}}}$
A	7:52	-	...	...	...	$t_{\text{отпр}}^A_{N_{\text{поз}}}$
B	7:37	-	...	...	...	$t_{\text{отпр}}^B_{N_{\text{поз}}}$
...	...	...	...	...	...	...
$p$	...	...	...	$t_{\text{отпр}_i}^p$	...	$t_{\text{отпр}}^p_{N_{\text{поз}}}$
...	...	...	...	...	...	...
$P$	$t_{\text{отпр}_1}^P$	$t_{\text{отпр}_2}^P$	...	$t_{\text{отпр}_i}^P$	...	$t_{\text{отпр}}^P_{N_{\text{поз}}}$

Формируемое расписание должно обеспечивать выполнение технических ограничений по межпоездному интервалу отправления и прибытия по всем станциям полигона.

На основании сформированного расписания движения пригородных электропоездов определяются эксплуатационные расходы на техническое обслуживание электропоездов (ваг-км пробега) и на управление и эксплуатацию (поездо-часы в движении).

Для определения величины осваиваемого пассажирооборота  $\{AL_{\text{рынка}}^{\text{охват}}\}$  на заданной полигоне  $\{S\}$  в зависимости от схемы такта  $\{X\}$  необходимо определить как формируемое расписание движения пригородных электропоездов удовлетворяет потребности пассажиров (в скорости сообщения и времени ожидания). Для этого необходимо определить охват пассажиропотока в каждой корреспонденции, учитывая в том числе внутризоновые корреспонденции. Общее количество корреспонденций пассажиропотока определяется по формуле:

$$J_{\text{кор}} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot (P - 1) + P_{\text{уч}} \quad (4.8)$$

$J_{\text{кор}}$  – количество корреспонденций пассажиропотока;

$P$  – количество станций и пригородных участков;

$P_{\text{уч}}$  – количество пригородных участков на рассматриваемом полигоне;

Интенсивность зарождения пассажиропотока может задаваться как функция, либо как постоянное в течении периода число. От формата исходных данных зависит дальнейшее алгоритм расчета охвата корреспонденций пассажиропотока.

В случае если интенсивность задается функцией, то для определения фактического охвата зарождающегося в каждой корреспонденции пассажиропотока формируется матрица, содержащая данные об времени обслуживания корреспонденции: времени отправления со станции зарождения  $\{t_{\text{отпр}_i}^{j_{\text{отпр}}}\}$  и времени прибытия на станцию погашения

$\{t_{\text{приб}}^{j_{\text{приб}}}\}$  пассажиропотока (таблица 4.3). Далее для каждой корреспонденции пассажиропотока по формулам 3.22-3.23, 3.15-3.19, 3.30-3.31 строятся графики теоретического и фактического охвата пассажиропотока пригородными электропоездами  $\{k(t)_{ij}^T, k(t)_{ij}^F\}$  (формулы 3.22-3.23, 3.15-3.19, 3.30-3.31), которые зависят от формируемого расписания.

Таблица 4.3 – Формат матрицы, содержащей данные о времени обслуживания корреспонденций пассажиропотока

$j \setminus i$	1	2	....	$i$	....	$I_{\text{поз}}$
$A-B$	7:15; 7:22	-	...	...	...	$t_{\text{отпр}}^A_{N_{\text{поз}}}$ ; $t_{\text{приб}}^B_{N_{\text{поз}}}$
$A-B$	7:15; 7:34	-	...	...	...	$t_{\text{отпр}}^A_{N_{\text{поз}}}$ ; $t_{\text{приб}}^B_{N_{\text{поз}}}$
$B-B$	7:22; 7:34	-	...	...	...	$t_{\text{отпр}}^B_{N_{\text{поз}}}$ ; $t_{\text{приб}}^B_{N_{\text{поз}}}$
...	...	...	...	...	...	...
$j$ ( $j_{\text{отпр}} - j_{\text{приб}}$ )	...	...	...	$t_{\text{отпр}}^{j_{\text{отпр}}}$ ; $t_{\text{приб}}^{j_{\text{приб}}}$	...	$t_{\text{отпр}}^{j_{\text{отпр}}}$ ; $t_{\text{приб}}^{j_{\text{приб}}}$
...	...	...	...	...	...	...
$J_{\text{кор}}$	$t_{\text{отпр}}^{J_{\text{кор}}}_{1}$ ; $t_{\text{приб}}^{J_{\text{кор}}}_{1}$	$t_{\text{отпр}}^{J_{\text{кор}}}_{2}$ ; $t_{\text{приб}}^{J_{\text{кор}}}_{2}$	...	$t_{\text{отпр}}^{J_{\text{кор}}}$ ; $t_{\text{приб}}^{J_{\text{кор}}}$	...	$t_{\text{отпр}}^{J_{\text{кор}}}_{N_{\text{поз}}}$ ; $t_{\text{приб}}^{J_{\text{кор}}}_{N_{\text{поз}}}$

На основании построенных графиков фактического охвата пассажиропотока определяется количество пассажиров из  $j$  – ой корреспонденции пассажиропотока, следующих в  $i$  – ом пригородном электропоезде (формулы 3.32-3.34), что позволяет определить фактическую населенность пригородных электропоездов в графике движения и совокупный пассажирооборот на полигоне.

Пример 1. Один из рассматриваемых вариантов организации движения (схем такта) обеспечивает обслуживание рассматриваемой корреспонденции с расписанием, представленным в таблице 4.4. Период такта равен 60 минутам. Интенсивность зарождения пассажиропотока в рассматриваемой корреспонденции задана функцией, график которой представлен на рисунке 4.4. Воспринимаемый интервал движения пригородных электропоездов для пассажиров в данный период суток для рассматриваемой корреспонденции составляет 20 минут. Время следования электропоездами со всеми остановками в рассматриваемой корреспонденции составляет 45 минут. Необходимо определить охват зарождающегося пассажиропотока и его распределение между электропоездами.

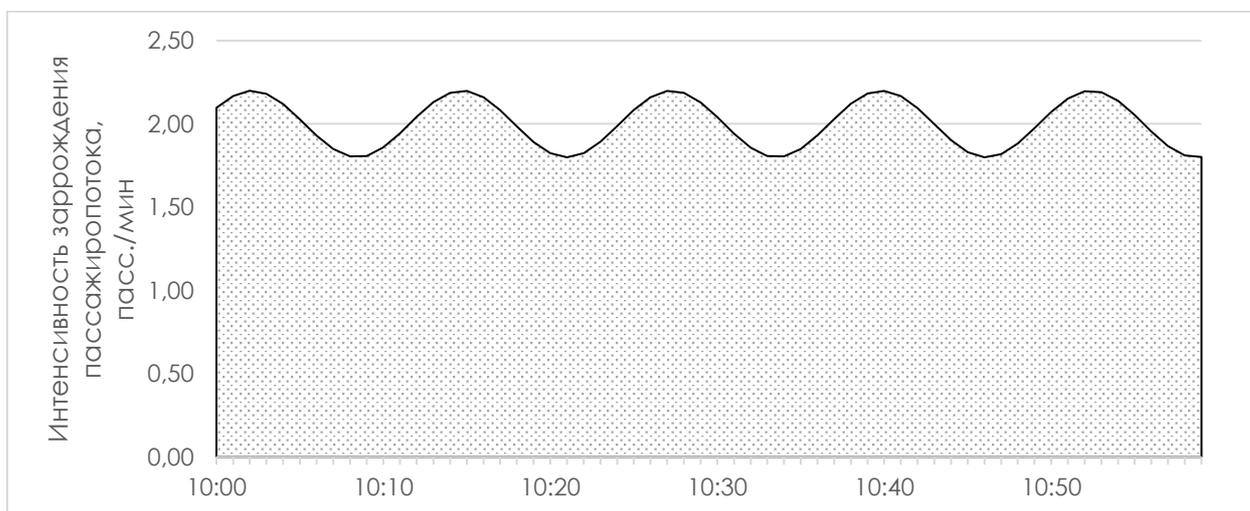


Рисунок 4.4 – Интенсивность зарождения пассажиропотока

Таблица 4.4 – Временя обслуживания рассматриваемой корреспонденции пассажиропотока, обеспечиваемого заданной схемой такта

$j \setminus i$	1	2	3	4	5	6
<i>A-B</i>	10:00; 10:45	-	10:30; 11:10	-	10:45; 11:30	-

На основании представленного расписания по формулам 3.22-3.23, 3.15-3.19, 3.30-3.31 определяется теоретический и фактический коэффициент охвата пассажиропотока пригородными электропоездами в рассматриваемой корреспонденции (рисунки 4.5 и 4.6).

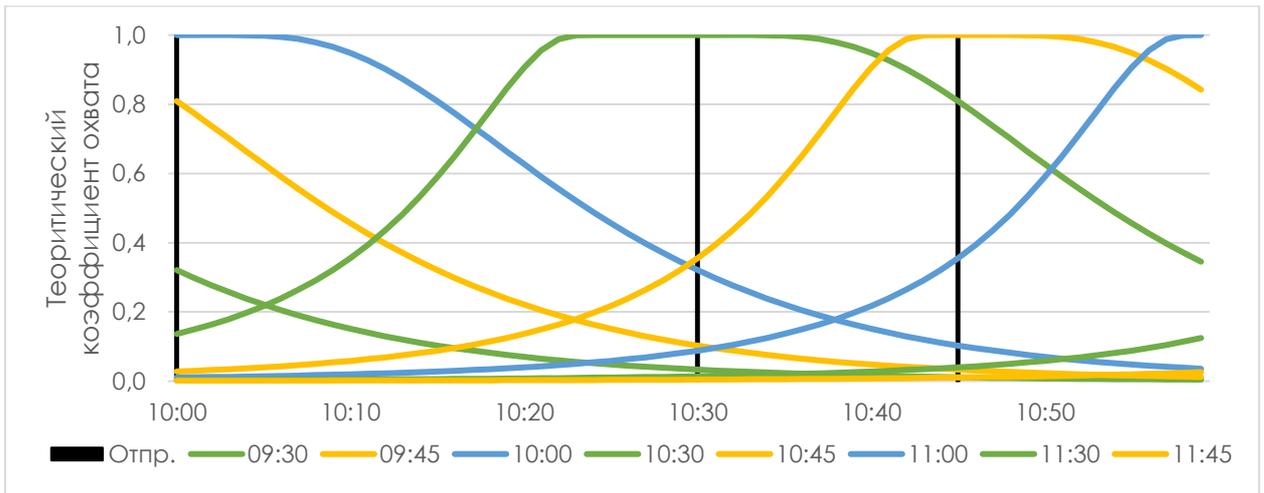


Рисунок 4.5 – Теоретический коэффициент охвата пассажиропотока в рассматриваемой корреспонденции сформированным расписанием

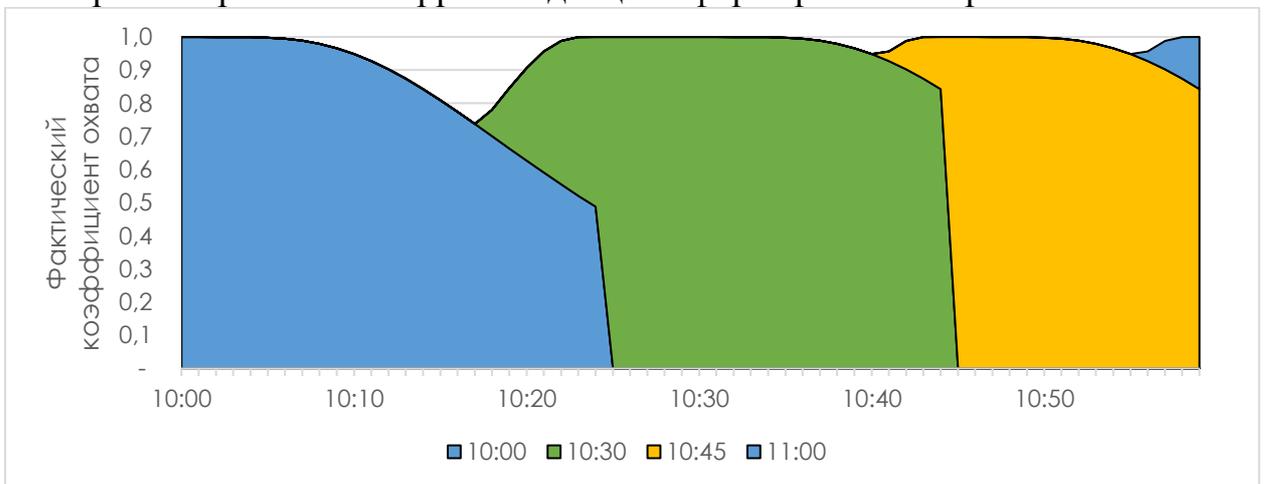


Рисунок 4.6 – Фактический коэффициент охвата пассажиропотока в рассматриваемой корреспонденции сформированным расписанием

Далее определяется охват пассажиропотока, как произведение фактического коэффициента на интенсивность зарождения пассажиропотока в рассматриваемой корреспонденции (рисунок 4.7) и по формулам 3.32-3.34 определяется количество пассажиров рассматриваемой корреспонденции в электропоездах и величина неосвоенного пассажиропотока.

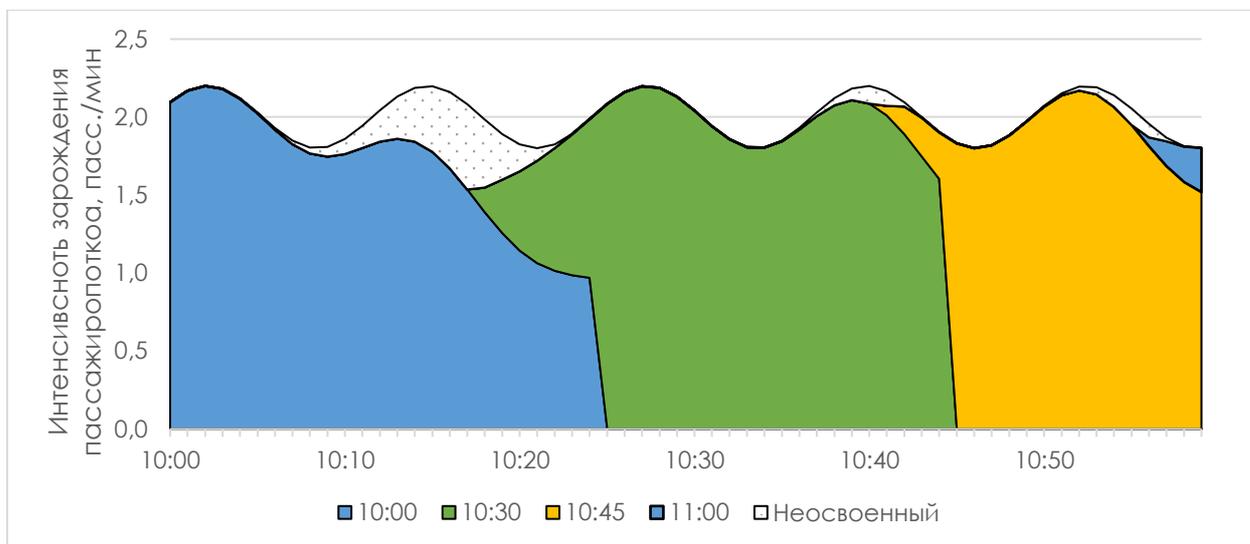


Рисунок 4.7 – Графическое изображение охвата зарождающегося пассажиропотока и его распределение по электропоездам

Представленное расписание позволяет привлечь 115,8 пассажиров из 120 (96,3% от реально достижимого объема перевозок), в том числе в электропоезде отправляющемся в 10:00 – 42,7 пассажиров (35,5%), в 10:30 – 43,9 пассажиров (36,5%) и в 10:45 – 29,2 пассажиров (24,3%).

Не всегда интенсивность зарождения пассажиропотока необходимо и возможно задать как функцию. Для упрощения расчетов рекомендуется принимать допущение о том, что в течении рассматриваемого периода суток интенсивность зарождения пассажиропотока равномерна. В случае если интенсивность задается постоянным в течении периода значением, то для определения фактического охвата можно использовать заранее рассчитанные и табулированные величины охвата корреспонденции за период (приложение Д). Для определения охвата и распределения пассажиропотока формируется матрицу по форме таблицы 4.5, содержащую в ячейках значения о межпоездном интервале по отправлению до  $\{I_{мпj}^{доi}\}$  и после  $\{I_{мпj}^{послеi}\}$ , время ускорения следования рассматриваемого  $\{T_{ускj}^i\}$  и следующего  $\{T_{ускj}^{слi}\}$  пригородного электропоезда, обеспечиваемых схемой такта.

Таблица 4.5 – Формат матрицы, содержащей данные о параметрах обслуживания корреспонденций пассажиропотока

$j \setminus i$	1	2	....	$i$	....	$I_{\text{поз}}$
$A-B$	10; 10; 0; 5	-	...	...	...	...
$B-B$	10; 10; 0; 0	-	...	...	...	...
$B-B$	10; 10; 0; 10	-	...	...	...	$T_{\text{мп } B-B}^{\text{до } I_{\text{поз}}}; T_{\text{мп } B-B}^{\text{после } I_{\text{поз}}};$ $T_{\text{уск } B-B}^{I_{\text{поз}}}; T_{\text{уск } B-B}^{\text{сл } I_{\text{поз}}}$
...	...	...	...	...	...	...
$j$	...	...	...	$T_{\text{мп } j}^{\text{до } i}; T_{\text{мп } j}^{\text{после } i};$ $T_{\text{уск } j}^i; T_{\text{уск } j}^{\text{сл } i}$	...	$T_{\text{мп } j}^{\text{до } I_{\text{поз}}}; T_{\text{мп } j}^{\text{после } I_{\text{поз}}};$ $T_{\text{уск } j}^{I_{\text{поз}}}; T_{\text{уск } j}^{\text{сл } I_{\text{поз}}}$
...	...	...	...	...	...	...
$J_{\text{кор}}$	$T_{\text{мп } J_{\text{кор}}}^{\text{до } 1};$ $T_{\text{мп } J_{\text{кор}}}^{\text{после } 1};$ $T_{\text{уск } J_{\text{кор}}}^1; T_{\text{уск } J_{\text{кор}}}^{\text{сл } 1}$	...	...	$T_{\text{мп } J_{\text{кор}}}^{\text{до } i};$ $T_{\text{мп } J_{\text{кор}}}^{\text{после } i};$ $T_{\text{уск } J_{\text{кор}}}^i; T_{\text{уск } J_{\text{кор}}}^{\text{сл } i}$	...	$T_{\text{мп } J_{\text{кор}}}^{\text{до } I_{\text{поз}}}; T_{\text{мп } J_{\text{кор}}}^{\text{после } I_{\text{поз}}};$ $T_{\text{уск } J_{\text{кор}}}^{I_{\text{поз}}}; T_{\text{уск } J_{\text{кор}}}^{\text{сл } I_{\text{поз}}}$

Определение величины пассажиропотока из  $j$  корреспонденции в  $i$  пригородном электропоезде осуществляется по формуле 4.9. Формула 4.9, которая является производной от формул 3.32-3.34 применима только при условиях: интенсивность зарождения пассажиропотока принимается постоянной в течении периода, определение охвата пассажиропотока осуществляется для первой половины суток и определяется охват зарождаемого пассажиропотока. При изменении описанных условий формула и перечень необходимых данных должны быть изменены.

$$\begin{aligned}
 A_i^j = & I_{\text{зарожд. } j} \cdot [T_{\text{уск } j}^i + \\
 & + (T_{\text{мп } j}^{\text{до } i} - T_{\text{уск } j}^i) \cdot K_{\text{вт } i}^j (T_{\text{мп } j}^{\text{до } i} - T_{\text{уск } j}^i; I_{\text{воспр } j}) + \\
 & + (T_{\text{мп } j}^{\text{после } i} - T_{\text{уск } j}^{\text{сл } i}) \cdot K_{\text{пр } i}^j (T_{\text{мп } j}^{\text{после } i} - T_{\text{уск } j}^{\text{сл } i}; I_{\text{воспр } j})]
 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Величины  $K_{\text{пр } i}^j (T_j^i; I_{\text{воспр } j})$  и  $K_{\text{вт } i}^j (T_j^i; I_{\text{воспр } j})$  определяются по таблицам Д.1 и Д.2 соответственно.

Пример 2. Для заданного полигона Д-В-А предложено три варианта организации движения пригородных поездов, представленных на рисунке 4.8 и в таблице 4.6. Интенсивность зарождения пассажиропотока и воспринимаемый интервал приведен в таблице 4.7. Необходимо определить какой из предложенных вариантов обеспечивает наибольший охват зарождающегося пассажиропотока.

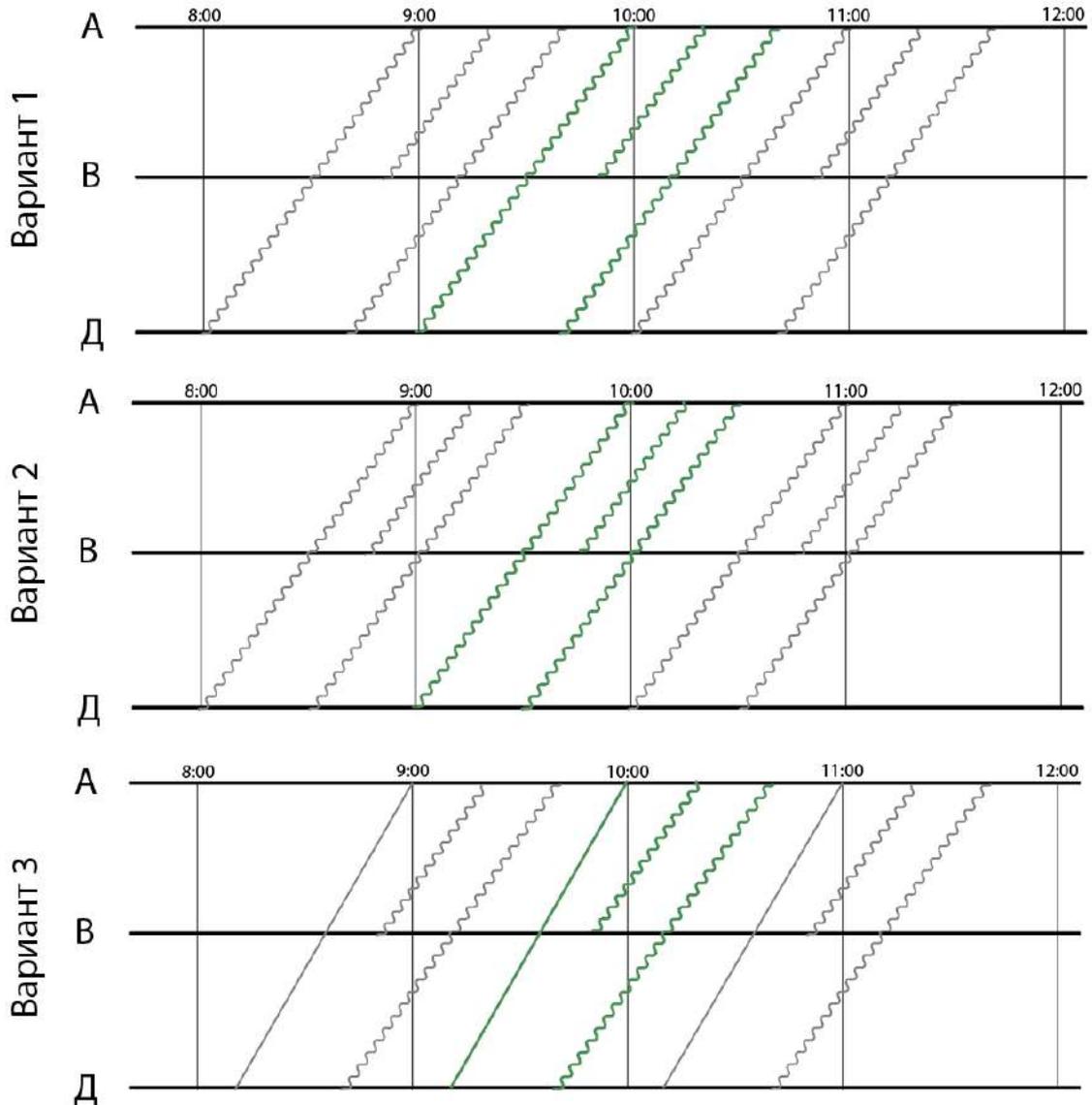


Рисунок 4.8 – Варианты организации движения пригородных поездов на рассматриваемом полигоне

Таблица 4.6 – Варианты организации движения пригородных поездов на рассматриваемом полигоне

Вариант 1			
Ст.	1	2	3
А	10:00	10:20	10:40
Б	09:45	10:05	10:25
В	09:30	09:50	10:10
Г	09:15	-	09:55
Д	09:00	-	09:40
Вариант 2			
Ст.	1	2	3
А	10:00	10:15	10:30
Б	09:45	10:00	10:15
В	09:30	09:45	10:00
Г	09:15	-	09:45
Д	09:00	-	09:30
Вариант 3			
Ст.	1	2	3
А	10:00	10:20	10:40
Б	-	10:05	10:25
В	09:35	09:50	10:10
Г	-	-	09:55
Д	09:10	-	09:40

Таблица 4.7 – Интенсивность зарождения пассажиропотока и воспринимаемый интервал для заданного полигона

$j$	$I_{\text{зарожд. } j}$ , пасс./мин	$I_{\text{воспр } j}$ , мин
ДГ	1	30
ДВ	5	30
ДБ	1	30
ДА	5	30
ГГ	1	30
ГВ	1	30
ГБ	1	30
ГА	2	30
ВБ	2	20
ВА	6	20
ББ	2	20
БА	8	20

На основании вариантов расписания движения формируется матрица с данными о параметрах обслуживания корреспонденций пассажиропотока по форме таблицы 4.5. (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Матрицы, содержащие данные о параметрах обслуживания корреспонденций пассажиропотока для трех вариантов расписания

Вариант 1			
Кор.	1	2	3
ДГ	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ДВ	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ДБ	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ДА	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ГГ	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ГВ	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ГБ	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ГА	20;40;0;0	-;-;-	40;20;0;0
ВБ	20;20;0;0	20;20;0;0	20;20;0;0
ВА	20;20;0;0	20;20;0;0	20;20;0;0
ББ	20;20;0;0	20;20;0;0	20;20;0;0
БА	20;20;0;0	20;20;0;0	20;20;0;0
Вариант 2			
Кор.	1	2	3
ДГ	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ДВ	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ДБ	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ДА	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ГГ	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ГВ	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ГБ	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ГА	30;30;0;0	-;-;-	30;30;0;0
ВБ	30;15;0;0	15;15;0;0	15;30;0;0
ВА	30;15;0;0	15;15;0;0	15;30;0;0
ББ	30;15;0;0	15;15;0;0	15;30;0;0
БА	30;15;0;0	15;15;0;0	15;30;0;0
Вариант 3			
Кор.	1	2	3
ДГ	-;-;-	-;-;-	60;60;0;0
ДВ	30;30;5;0	-;-;-	30;30;0;5
ДБ	-;-;-	-;-;-	60;60;0;0
ДА	30;30;10;0	-;-;-	30;30;0;10
ГГ	-;-;-	-;-;-	60;60;0;0
ГВ	-;-;-	-;-;-	60;60;0;0
ГБ	-;-;-	-;-;-	60;60;0;0
ГА	-;-;-	-;-;-	60;60;0;0
ВБ	-;-;-	40;20;0;0	20;40;0;0
ВА	25;15;5;0	15;20;0;0	20;25;0;5
ББ	-;-;-	40;20;0;0	20;40;0;0
БА	-;-;-	40;20;0;0	20;40;0;0

Далее по формуле 4.9 и с использованием таблиц Д.1 и Д.2 определяется охват и распределение пассажиропотока по пригородным электропоездам (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Расчетный охват корреспонденций и распределение пассажиропотока для трех вариантов расписания

Вариант 1					
Кор.	1, пасс.	2, пасс.	3, пасс.	Всего, пасс.	Охват пасс-потока, %
ДГ	29	0	24	52	87,5%
ДВ	144	0	119	262	87,5%
ДБ	29	0	24	52	87,5%
ДА	144	0	119	262	87,5%
ГГ	29	0	24	52	87,5%
ГВ	29	0	24	52	87,5%
ГБ	29	0	24	52	87,5%
ГА	57	0	48	105	87,5%
ВБ	39	39	39	116	96,4%
ВА	116	116	116	347	96,4%
ББ	39	39	39	116	96,4%
БА	154	154	154	463	96,4%
Итого				1933	92,0%
Вариант 2					
Кор.	1, пасс.	2, пасс.	3, пасс.	Всего, пасс.	Охват пасс-потока, %
ДГ	27	0	27	54	90,8%
ДВ	136	0	136	272	90,8%
ДБ	27	0	27	54	90,8%
ДА	136	0	136	272	90,8%
ГГ	27	0	27	54	90,8%
ГВ	27	0	27	54	90,8%
ГБ	27	0	27	54	90,8%
ГА	54	0	54	109	90,8%
ВБ	35	30	48	112	93,7%
ВА	106	89	143	337	93,7%
ББ	35	30	48	112	93,7%
БА	141	119	190	450	93,7%
Итого				1938	92,3%
Вариант 3					
Кор.	1, пасс.	2, пасс.	3, пасс.	Всего, пасс.	Охват пасс-потока, %
ДГ	0	0	40	40	66,6%
ДВ	156	0	123	279	93,1%
ДБ	0	0	40	40	66,6%
ДА	177	0	107	283	94,5%
ГГ	0	0	40	40	66,6%
ГВ	0	0	40	40	66,6%
ГБ	0	0	40	40	66,6%
ГА	0	0	80	80	66,6%
ВБ	0	48	54	102	84,9%
ВА	122	112	116	350	97,3%
ББ	0	48	54	102	84,9%
БА	0	192	215	407	84,9%
Итого				1804	85,9%

Зная распределение пассажиропотока между пригородными электропоездами, можно определить фактическую населенность пригородных электропоездов по участкам заданного полигона (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Населённость пригородных поездов по участкам

Вариант 1					
Кор.	1, пасс.	2, пасс.	3, пасс.	Всего, пасс.	Охват пасс-потока, %
ДГ	373	0	309	682	87,5%
ГВ	459	0	380	840	87,5%
ВБ	451	193	407	1050	92,1%
БА	509	308	475	1292	93,7%
Вариант 2					
Кор.	1, пасс.	2, пасс.	3, пасс.	Всего, пасс.	Охват пасс-потока, %
ДГ	354	0	354	708	90,8%
ГВ	436	0	436	872	90,8%
ВБ	421	148	483	1053	92,3%
БА	472	237	571	1281	92,8%
Вариант 3					
Кор.	1, пасс.	2, пасс.	3, пасс.	Всего, пасс.	Охват пасс-потока, %
ДГ	333	0	350	683	87,5%
ГВ	333	0	470	803	83,6%
ВБ	299	208	490	997	87,5%
БА	299	352	571	1223	88,6%

Из трех представленных вариантов расписания движения пригородных электропоездов, второй вариант обеспечивает охват наибольшей доли рынка перевозок пассажиров в пригородном сообщении.

#### **4.4. Апробация разработанной оптимизационной экономико-математической модели**

Апробация разработанной оптимизационной экономико-математической модели была выполнена для Рижского направления МЖУ. Выбор Рижского направления объясняется следующими факторами:

1. Большинство респондентов (94,85%) в исследовании пороговых значений времени ожидания пассажира в пригородном сообщении используют пригородным железнодорожный транспорт в МЖУ, поэтому для апробации необходимо было выбрать одно из его радиальных направлений.

2. Порядок прогнозирования величины пассажиропотока не учитывает привлечение пассажиропотока пригородными электропоездами

различных категорий. При наличии в расписании поездов, следующих по отличающимся тарифам, объем привлекаемого пассажиропотока может отличаться от прогнозируемого методикой. На рижском направлении МЖУ в расписании присутствует только 1 пара экспрессов, что меньше, чем на других пригородных направлениях МЖУ.

Рижское направление МЖУ является частью Курско-Рижского диаметрального маршрута МЦД-2. На Рижском направлении в течении суток курсируют пригородно-городские электропоезда по маршруту Нахабино – Подольск с интервалом 12 минут в течении суток. Зонными станциями на направлении являются: Шаховская, Волоколамск, Румянцево, Новоиерусалимская, Дедовск, Нахабино, Стрешнево. Соответственно пригородными зонами являются участки, расположенные между зонными станциями.

Пригородные электропоезда на Рижском направлении, в том числе экспресс, не пропускают остановки на участке Нахабино – Москва. На других участках сложился следующий режим пропуска остановок ускоренными пригородными электропоездами: на участке Шаховская – Волоколамск пропускают все остановки, на участке Волоколамск – Румянцево пропускают все остановки за исключением Чисмена, Устиновка и Новопетровская, на участке Румянцево – Новоиерусалимская пропускают все остановки за исключением Холщёвики, на участке Новоиерусалимская – Дедовск пропускают все остановки за исключением Истра, Манихино, Снегири, на участке Дедовск – Нахабино пропускают все остановки. На основании расположения зонных станций и режима остановок пригородных электропоездов остановочные пункты Рижского направления были объединены в укрупнённые группы, которые представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Укрупненные корреспонденции на Рижском направлении

Условное обозначение	Станция/участок
А	Шаховская
Б	Шаховская – Волоколамск
В	Волоколамск
Г1	Чисмена, Устиновка, Новопетровская
Г2	Волоколамск – Румянцево (пропускаемые)
Д	Румянцево
Е1	Холщёвики
Е2	Румянцево – Новоиерусалимская (пропускаемые)
Ж	Новоиерусалимская
З1	Истра, Манихино, Снегири
З2	Новоиерусалимская – Дедовск (пропускаемые)
И	Дедовск
К	пл. Малиновка
Л	Нахабино
М	пл. Аникеевка – Стрешнево
Н	пл. Красный Балтиец – Москва (Курский вокзал) и далее

Пассажиропотоки между укрупненными корреспонденциями приведены в приложении Ж. В таблице Ж.1 приведены пассажиропотоки между укрупненными корреспонденциями за час пикового периода в рабочий день месяца максимальных перевозок. При расчете схемы такта не учитывается возможность пересадки пригородных пассажиров между пригородными электропоездами. Это приводит к тому, что при ускорении пригородных электропоездов дальних зон пропуском остановок в средней и ближней зоне часть корреспонденций пассажиропотока, прямое сообщение которых нарушается, в расчетной модели не осваиваются. Алгоритм решает данную проблему назначением пригородных электропоездов дальних зон, следующих со всеми остановками.

Для решения данной проблемы часть пропускаемых в текущем графике движения пригородных электропоездов межзонных корреспонденций была перераспределена на две корреспонденции: межзонная – зонная и зонная – межзонная. При этом учитывалось условие 2.7. В таблице Ж.2 приведены пассажиропотоки между укрупненными корреспонденциями на Рижском направлении МЖУ за час пикового периода перевозок рабочего дня месяца максимальных перевозок с учетом перераспределения межзонных

корреспонденций пассажиропотока. Интенсивность зарождения пассажиропотока в пределах периода такта принимается постоянной в течении периода такта и определяется по формуле 3.24.

Целевая функция для решения поставленной задачи разработки схемы такта пригородных электропоездов задается формулой 4.4. Принятые для технико-экономического расчета схемы такта пригородных электропоездов базовые расходные ставки приведены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Базовые расходные ставки, принятые для технико-экономических расчетов схемы такта пригородных электропоездов

Наименование базовой расходной ставки	Значение базовой расходной ставки
Техническое обслуживание электропоезда ЭГ2Тв (ваг-км пробега)	3 221,02 руб/ваг-км
Управление и эксплуатация ЭГ2Тв (поездо-часы в движении)	23,34 руб/поездо-час
Пассажиры-км в пригородном сообщении	3 руб/пасс-км

Значения базовых расходных ставок на техническое обслуживание, управление и эксплуатацию электропоездов приняты равными текущим. Значение базовой расходной ставки пасс-км в пригородном сообщении принята равной стоимости 1 км поездки для пассажира в пригородном сообщении.

В таблице 4.13 приведены прочие принимаемые при построении модели исходные данные. А в таблице 4.14 приведены исходные данные о длине и перегонном времени следования пригородных электропоездов по участкам со всеми остановками, а также с пропуском части или всех остановок в зависимости от устоявшегося режима остановок.

Таблица 4.13 – Исходные данные, принимаемые при создании модели.

Показатель	Единица измерения	Значение
Период схемы такта	минут	60
Количество вагонов в составе электропоезда	вагонов/поезд	11
Вместимость электропоезда ЭП2Д (сидячих мест)	пассажиров/поезд	1172
Вместимость электропоезда ЭП2Д (мест стоя), при плотности стоящих пассажиров 3 чел./м <sup>2</sup>	пассажиров/поезд	1694
Минимальный межпоездной интервал	минут	6

Таблица 4.14 – Исходные данные о длинах участков и перегонному времени хода на рассматриваемом направлении

Участок	Длина участка, км	Время хода, мин	
		Со всеми остановками	С пропуском остановок
АВ	28,3	35	25
ВД	45	47	40
ДЖ	20	25	19
ЖИ	22,4	26	21
ИЛ	4,6	7	5
ЛМ	23	33	33
МН	10,5	28	28

Переменными в решаемой задаче являются время отправления пригородного электропоезда, маршрут следования и режим остановок пригородных электропоездов в схеме такта. На Рижского направлении МЖУ пригородные электропоезда в течении суток следуют в тактовом расписании и поэтому в модели были созданы слоты для пропуска пригородных электропоездов с установленным временем прибытия на головную станцию, соответствующие слотам пропуска пригородных электропоездов в текущем графике. В соответствии с установленным периодом такта (60 минут) в рассматриваемой задаче было создано 10 позиций в схеме такта для пропуска пригородных электропоездов. Для каждого слота определялся маршрут следования и режим остановок пригородного электропоезда. Возможные маршруты следования пригородных электропоездов указаны в таблице 4.15. Выбор режима остановок для каждого слота задается множеством бинарных переменных. Формат области ввода/вывода переменных значений, характеризующих схему такта, приведен в таблице 4.16.

На основании набора переменных в модели формируется расписание движения пригородных электропоездов в схеме такта (таблица 4.17), а также рассчитывается величина осваиваемого пассажиропотока и его распределение между пригородными электропоездами (таблица 4.18).

Таблица 4.15 – Кодовое обозначение маршрутов следования пригородных поездов в разработанной модели

Код маршрута	Станция отправления	Станция назначения
0	Нет	Нет
1	Шаховская	На диаметр
2	Волоколамск	На диаметр
3	Румянцево	На диаметр
4	Новоиерусалимская	На диаметр
5	Дедовск	На диаметр
6	Нахабино	На диаметр
7	Шаховская	Стрешнево
8	Волоколамск	Стрешнево
9	Румянцево	Стрешнево
10	Новоиерусалимская	Стрешнево
11	Дедовск	Стрешнево
12	Нахабино	Стрешнево

Таблица 4.16 – Формат области ввода/вывода переменных значений

Слот в графике движения		Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10
Время прибытия в схеме такта		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Код маршрута		5	6	1	12	3	6	4	12	2	6
Режим остановок	Б	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Г2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	Е2	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
	З2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
	К	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0

Таблица 4.17 – Пример формируемого моделью расписания движения пригородных электропоездов

Станция	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10
Нахабино	-	-	4:30	-	-	-	-	-	-	-
Б	-	-	4:47	-	-	-	-	-	-	-
Волоколамск	-	-	5:05	-	-	-	-	-	5:41	-
Г1	-	-	5:28	-	-	-	-	-	6:04	-
Г2	-	-	5:28	-	-	-	-	-	6:04	-
Румянцево	-	-	5:52	-	6:04	-	-	-	6:28	-
Е1	-	-	6:04	-	6:16	-	-	-	6:40	-
Е2	-	-	6:04	-	6:16	-	-	-	6:40	-
Новоиерусалимская	-	-	6:17	-	6:29	-	6:41	-	6:53	-
З1	-	-	6:30	-	6:42	-	6:54	-	7:06	-
З2	-	-	6:30	-	6:42	-	6:54	-	7:06	-
Дедовск	6:31	-	6:43	-	6:55	-	7:07	-	7:19	-
Малиновка	6:34	-	6:46	-	6:58	-	7:10	-	7:22	-
Нахабино	6:38	6:44	6:50	6:56	7:02	7:08	7:14	7:20	7:26	7:32
Стрешнево	7:11	7:17	7:23	7:29	7:35	7:41	7:47	7:53	7:59	8:05
Москва	7:39	7:45	7:51	-	8:03	8:09	8:15	-	8:27	8:33

Таблица 4.18 – Пример расчета величины осваиваемого пассажиропотока и населенности пригородных электропоездов

Участок	Густота пасс-потока, пасс.	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10	Н11	Н12	Неосв. пасс-поток, пасс.	Неосв. пасс-поток, %
АБ	116	0	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	22%
БВ	145	0	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	21%
ВГ	393	0	0	230	0	0	0	0	0	108	0	0	0	55	14%
ГД	711	0	0	387	0	0	0	0	0	243	0	0	0	81	11%
ДЕ	834	0	0	407	0	52	0	0	0	289	0	0	0	86	10%
ЕЖ	1 110	0	0	464	0	157	0	0	0	393	0	0	0	96	9%
ЖЗ	1 560	0	0	562	0	246	0	95	0	546	0	0	0	109	7%
ЗИ	3 250	0	0	917	0	581	0	474	0	1 130	0	0	0	148	5%
ИК	3 960	235	0	1 038	0	723	0	625	0	1 200	0	0	0	139	4%
КЛ	3 972	238	0	1 041	0	725	0	627	0	1 202	0	0	0	139	4%
ЛМ	12 057	1 051	850	1 897	737	1 499	850	1 512	737	1 938	850	0	0	135	1%
МН	8 485	805	775	1 713	0	929	775	1 611	0	1 034	775	0	0	69	1%

Ограничениями в рассматриваемой задаче являются:

1. Ограничение по допустимой населенности составов пригородных электропоездов на участках:

$$A_i^{p_{уч}} \leq a \cdot k_{исп}^{p_{уч}} \quad \forall i; \forall p_{уч} \quad (4.10)$$

где  $A_i^{p_{уч}}$  – населенность  $i$  – ого пригородного электропоезда на  $p_{уч}$  – ом участке;

$a$  – расчётная вместимость пригородного электропоезда;

$k_{исп}^{p_{уч}}$  – коэффициент использования вместимости на  $p_{уч}$  – ом участке.

2. Ограничение по минимальному междупоездному интервалу на участках.

$$T_{приб_i}^p \leq T_{приб_{i+1}}^p - I_{приб} \quad \forall i; \forall p \quad (4.11)$$

$$T_{отпр_i}^p \leq T_{отпр_{i+1}}^p - I_{отпр} \quad \forall i; \forall p \quad (4.12)$$

где  $T_{приб_i}^p$  – время прибытия  $i$  – ого пригородного электропоезда на станцию  $p$ , мин;

$T_{приб_i}^p$  – время отправления  $i$  – ого пригородного электропоезда со станции  $p$ , мин;

$I_{приб}$  – интервал попутного прибытия, мин;

$I_{отпр}$  – интервал попутного отправления, мин;

С учетом нелинейности охвата пассажиропотока и нелинейности его распределения между пригородными электропоездами поставленная задача не является задачей линейного программирования. Управляемые переменные задаются бинарными (режим остановок) и целочисленными (маршрут), а, следовательно, представленную задачу можно классифицировать как задачу дискретного программирования. Общее количество вариантов решения поставленной задачи составляет  $7,06 * 10^{22}$ . Нахождение глобального решения поставленной задачи требует значительное количество времени и ресурсов, поэтому для поиска рациональной схемы такта пропуска пригородных электропоездов был применен генетический алгоритм, который позволяет найти локальное рациональное решение, удовлетворяющее всем ограничениям за полиномиальное время.

Модель распределения охвата и распределения пассажиропотока была построена в программе Microsoft Excel, а расчет производился эволюционным методом в программном модуле «Поиск решения», который позволяет находить локальные решения негладких оптимизационных задач. Эволюционный метод в модуле «Поиск решения» является готовым программным обеспечением, позволяющим осуществлять генетический алгоритм поиска. Данный программный продукт позволяет описывать хромосому (кодированное описание схемы такта) не только в виде последовательности бинарного кода, которым управляет алгоритм, но и в дискретной последовательности.

На рисунке 4.9 приведено диалоговое окно ввода целевой функции, переменных и ограничений в программном модуле «Поиск решения» в Excel. Значение ячейки целевой функции указывается в поле «1». В поле «2» указывается ссылка на ячейки, являющиеся переменными в поставленной задаче (по форме таблицы 4.16). Ограничения вводятся в поле «3-6». Ограничения, обозначенные цифрой «5», устанавливают допустимые значения для ячеек переменных, характеризующих маршрут следования

пригородных электропоездов соответствующих позиций. В соответствии с установленной кодификацией, данные переменные могут принимать целые значения в диапазоне от 0 до 12 (таблица 4.15). Ограничение, обозначенное цифрой «3», устанавливает допустимые значения для ячеек переменных, характеризующих режим остановок пригородных электропоездов соответствующих позиций, которые могут принимать исключительно бинарное значение (таблица 4.1). Ограничения, обозначенные цифрой «6», устанавливают допустимый уровень населенности составов пригородных электропоездов на участках (формула 4.10). Ограничение, обозначенное цифрой «4», является проверкой обеспечения в схеме такта минимальных межпоездных интервалов следования пригородных электропоездов по участкам. В ячейке, на которую сделана ссылка, задана формула, считающая количество нарушений допустимых межпоездных интервалов по формулам 4.11-12, количество которых не должно быть больше 0.

Параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию: SAOS257 1

До:  Максимум  Минимум  Значения: 0

Изменяя ячейки переменных: SNS250:SW\$255 2

В соответствии с ограничениями:

- SNS251:SW\$255 = бинарное 3
- SMS245 = 0 4
- SNS250:SW\$250 >= 0 4
- SNS240:SW\$240 <= SK\$26 5
- SNS241:SW\$241 <= SK\$25 5
- SNS250:SW\$250 <= 12 5
- SNS250:SW\$250 = целое 6

Добавить

Изменить

Удалить

Сбросить

Загрузить/сохранить

Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод решения: Эволюционный поиск решения Параметры

Метод решения

Для гладких нелинейных задач используйте поиск решения нелинейных задач методом ОПГ, для линейных задач - поиск решения линейных задач симплекс-методом, а для негладких задач - эволюционный поиск решения.

Справка Найти решение Закрыть

Рисунок 4.9 – Диалоговое окно «Параметры поиска решения»

На первом этапе алгоритмом формируется начальная популяция (множество вариантов схемы такта пригородных электропоездов), в размере 500 особей (вариантов), которые формируются случайным образом. Каждая особь имеет определенный генотип (совокупность генов/вариант схемы такта), состоящий из совокупности генов (атомарный элемент генотипа) и представленных по форме таблицы 4.6. Аллель (возможные значения гена) генов, характеризующих маршрут следования пригородных электропоездов, представлены в таблице 4.5, а гены, характеризующие режим остановок, задаются бинарной переменной. Далее происходит оценка приспособленности каждой особи путем определения фитнес-функции (целевой функции), которая задается формулой 4.4.

На следующем этапе происходит упорядочивания популяции в порядке увеличения фитнес-функции и формирование множества родителей, которые участвуют в процессе кроссинговера (обмен генетическим материалом между особями) и мутации (случайное изменение отдельных генов). В данном процессе на основе существующих вариантов решения генерируются новые путем случайной мутации отдельных генов, либо путем пересечения или рекомбинации двух или более существующих вариантов. Затем сформированную совокупность, состоящую из особей предыдущего поколения и полученных в результате кроссинговера и мутации, подвергают селекции (отбору), которая исключает наихудшие решения путем сокращения популяцию до исходного размера.

Описанный алгоритм повторяется, генерируя новые решения. Данный инструмент не позволяет найти глобальный оптимум, но при этом находит рациональное решение, удовлетворяющее заданным ограничениям. Критерием окончания процесса выступает одно из двух условий: схождение популяции или максимальное время поиска без улучшения решения. Схождением называется такое состояние популяции, когда все особи популяции почти одинаковы и находятся в области некоторого экстремума. В такой ситуации кроссинговер практически никак не изменяет популяцию, так

как создаваемые при нем потомки представляют собой копии родителей с переменными участками хромосом, а мутация порождает особей с низкой приспособленностью, которые отбрасываются при селекции. В решаемой задаче допустимый уровень сходимости (максимальной процентной разности значений целевой функции) был задан на уровне 1% для 99% от совокупной популяции. Максимальное время поиска без улучшения решения было установлено на уровне 300 секунд. В процессе поиска решения генетический алгоритм формировал не менее 100 новых поколений. В результате программа открывает диалоговое окно «Результаты поиска решения» (рисунок 4.10) и формирует результаты об отчетах и совокупности.

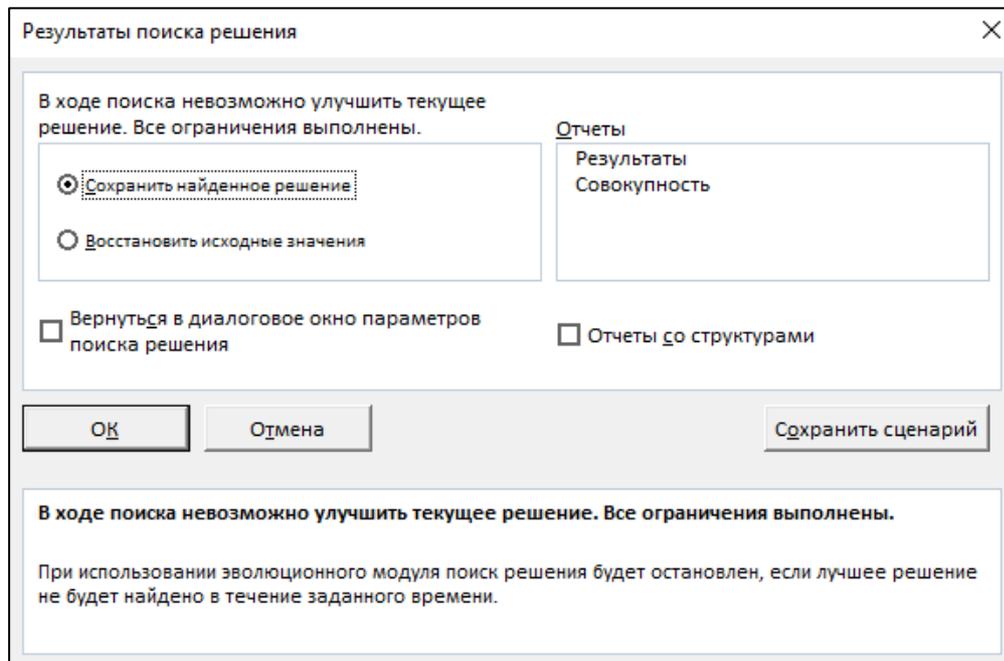


Рисунок 4.10 – Диалоговое окно «Результаты поиска решения»

Рассчитываемые моделью схемы такта пригородных электропоездов необходимо сравнить с существующим расписанием для проведения технико-экономического сравнения. Существующее расписание движения пригородных электропоездов на Рижском направлении в утренний час пик по направлению к Москве приведено в таблице И.1 (приложение И). Предварительно в модели было произведено моделирование населенности пригородных электропоездов, результаты которого приведены в таблице И.2. Населенность части пригородных электропоездов дальних зон (Шаховская и

Волоколамск) на участке Нахабино – Стрешнево превышает вместимость электропоезда ЭП2Д с учетом стоящих пассажиров, а свободные слоты в расписании движения приводят к значительной населенности поездов ЭГ2Тв на участке Стрешнево – Москва-Рижская и далее.

Наличие неиспользуемых слотов для пропуска пригородных электропоездов в расписании вызвано технологическими особенностями организации движения, например, необходимостью отправления пассажирских поездов с Курского вокзала, а также необходимостью предварительной подачи составов «Ласточек» из электродепо Подмосковная под посадку пассажиров. 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 пригородных электропоездов на различных участках.

Результаты расчета схемы такта пригородных электропоездов представлены на рисунках 4.11 и 4.12. На рисунке 4.11 представлена рассчитанная схема прокладки без ограничений на использование слотов для пропуска пригородных электропоездов, но с ограничением населенности пригородных электропоездов на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 пассажиров, что соответствует вместимости электропоезда ЭП2Д с учетом стоящих пассажиров при плотности 3 чел./м<sup>2</sup> и ограничением населенности пригородных электропоездов на участке Стрешнего – Москва не более 1172 пассажиров, что соответствует количеству сидячих мест в электропоезде ЭП2Д. Рассчитанная схема обеспечивает выполнение заданных ограничений. Значения управляемых переменных, формирующих рациональную схему такта приведены в таблице И.4. Населенность пригородных электропоездов для разработанного варианта приведена в таблице И.5. Технико-экономическая оценка рассчитанной схемы приведена в таблице И.6.

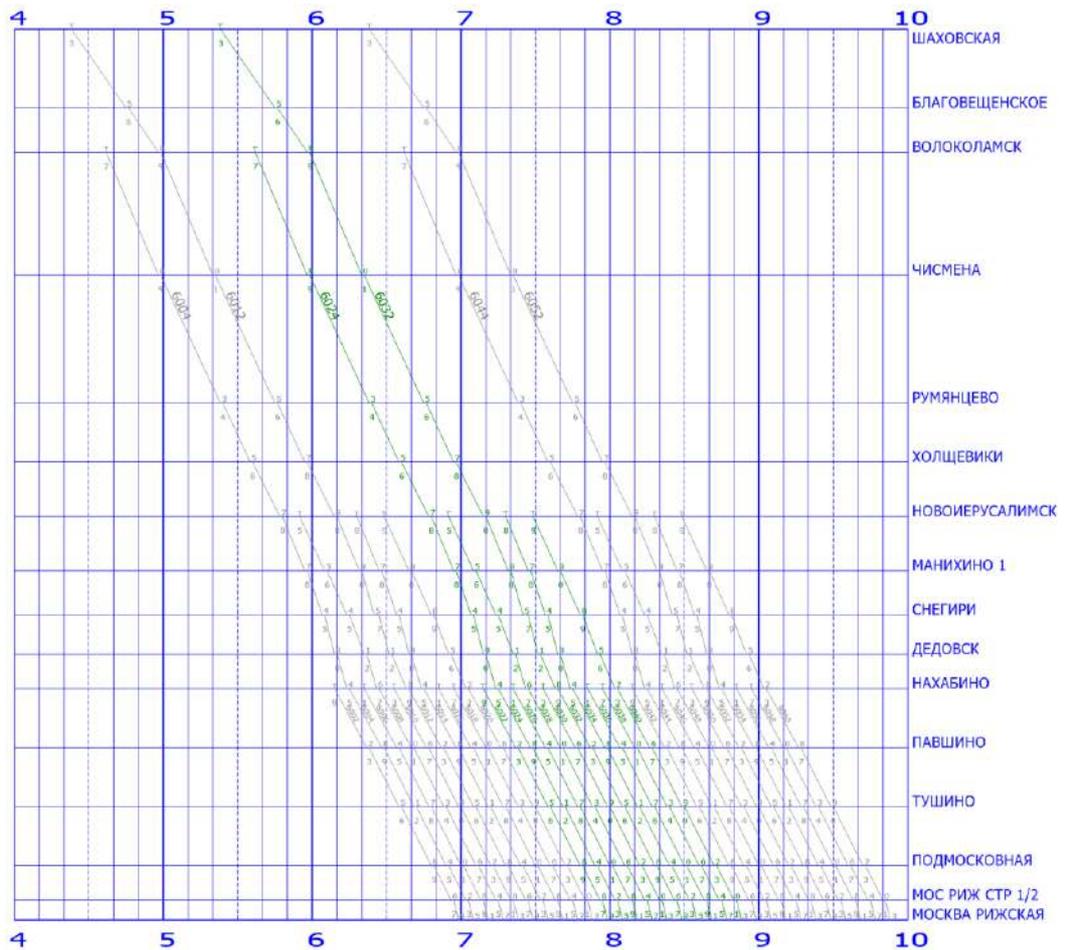


Рисунок 4.11 – Рассчитанная схема такта пригородных электропоездов при условии ограничения населенности на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 человека, а на участке Стрешнево – Москва не более 1172 человека

В действующем расписании конечной станцией маршрутов пригородных электропоездов номер 6506 и 6404 является станция Стрешнево. При добавлении в модель ограничения по использованию слотов для пропуска пригородных электропоездов по участку Стрешнево – Москва невозможно обеспечить населенность пригородных электропоездов не более 1172 на данном участке. Поэтому данное ограничение для повторного расчета схема такта изменяется в сторону увеличения допустимой населенности. Рассчитанная схема такта ПЭП с ограничением на использование слотов Н6 и Н8 на участке Стрешнево – Москва и с ограничением населенности на участке Нахабино – Москва не более 1694 пассажиров представлена на рисунке 4.12. Рассчитанная схема обеспечивает выполнение заданных ограничений. Значения управляемых переменных, формирующих рациональную схему

такта приведены в таблице И.7. Населенность пригородных электропоездов для разработанного варианта приведена в таблице И.8. Техничко-экономическая оценка рассчитанной схемы приведена в таблице И.9.

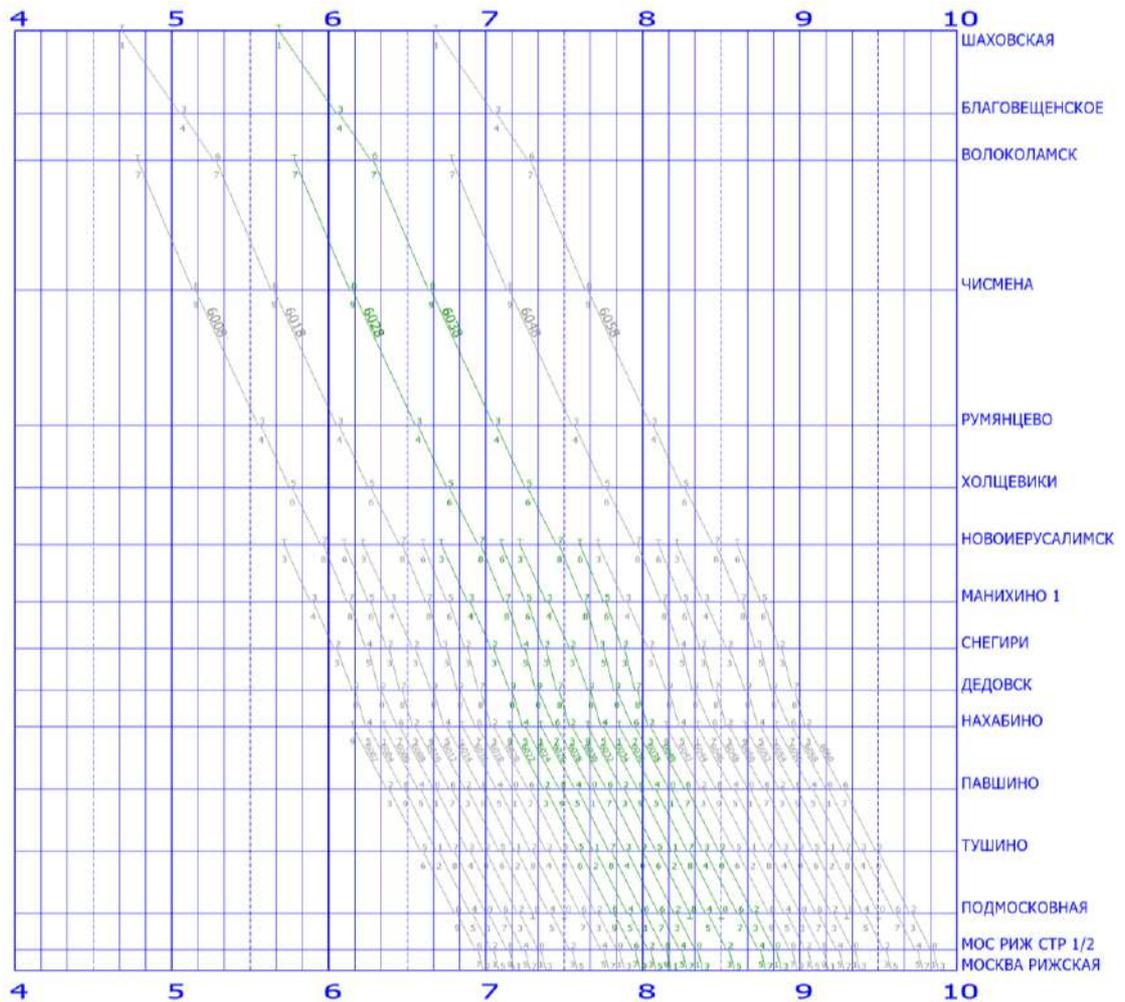


Рисунок 4.12 – Рассчитанная схема такта пригородных электропоездов с ограничением на использование слотов Н6 и Н8 на участке Стрешнево – Москва и с ограничением населенности на участке Нахабино – Москва не более 1694 пассажиров

Получившиеся варианты организации движения пригородных электропоездов сокращают количество зонных станций, на которых производится оборот электропоездов. Данный факт является следствием существующего пространственного распределения пассажиропотока и обеспечивает минимум целевой функции. Особенностью разработки схемы такта в одном направлении следования является отсутствие проверки достаточности путевого развития для оборота рассчитанной схемы такта пригородных электропоездов. В случае невозможности осуществить оборот

получившейся схемы такта необходимо либо ее ручная корректировка, либо добавление дополнительных ограничений в алгоритм и проведение повторных расчетов. При этом рассчитанная схема такта может являться обоснованием необходимости путевого развития полигона.

Технико-экономическое сравнение разработанных вариантов схем такта ПЭП с существующим расписанием (таблица И.3) приведено в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Технико-экономическое сравнение разработанных вариантов схем такта пригородных электропоездов

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 перевезенного 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%

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%).

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 пригородных электропоездов. Предложенный подход позволяет обеспечить проектирование более клиентоориентированного расписания движения пригородных электропоездов.

#### **4.5. Оценка влияния стоимости расходной ставки пасс.-км на формируемую схему такта пригородных электропоездов**

Сформированная оптимизационная экономико-математическая модель обеспечивает расчет схемы такта, удовлетворяющей неформализованным требованиям, принимаемым к разрабатываемым схемам. Без установки соответствующих ограничений обеспечивается равномерность движения пригородных электропоездов, ускорение следования электропоездов дальних зон за счет пропуска остановок, обеспечиваются минимальные размеры движения по участкам с незначительной плотностью пассажиропотока. При необходимости разработки схемы такта для других пригородных направлений с меньшим пассажиропотоком задаваемые ограничения могут быть скорректированы, в том числе добавлено ограничение по минимальным размерам движения по участкам.

Используемая при расчете схемы такта целевая функция (4.4) состоит из двух составляющих: эксплуатационные расходы, определяемые через расходные ставки ваг-км и поездо-час, и недополученный доход от перевозочной деятельности, определяемый через расходную ставку пасс.-км. Значения расходных ставок для определения эксплуатационных расходов приняты в соответствии с применяемыми во взаиморасчетах между

владельцем инфраструктуры и пригородными пассажирскими компаниями в ЦТУ. Значение расходной ставки пасс-км в пригородном сообщении принята равной стоимости проезда 1 км для пассажира в пригородном сообщении.

Теоретическая зависимость составляющих целевой функции: эксплуатационных расходов  $\{E_{\text{экспл}}\}$  и недополученного дохода  $\{E_{\text{пот.дох}}\}$  от схемы такта  $\{X\}$  представлена на рисунке 4.13. Схему такта пригородных электропоездов невозможно описать одним показателем, так как она характеризует размеры движения, взаимное расположение электропоездов на графике и их режим остановок. Наиболее общим показателем схемы такта являются размеры движения по участкам, поэтому на графике ось абсцисс задается объемом поездо-км работы в схеме такта.

Эксплуатационные расходы увеличиваются прямо пропорционально при росте объемов поездной работы, а пассажиропоток нелинейно увеличиваются при росте объемов поездной работы от 0 до уровня насыщения (общий вид графика зависимости величины привлекаемого пассажиропотока от размеров движения пригородных электропоездов представлена на рисунке 2.1). Недополученный доход от перевозочной деятельности определяется как разница между максимально возможным и получаемым доходом от перевозки пассажиров. При этом объемы перевозки пассажиров зависят от качества построения схемы такта, поэтому на представленном графике зависимость представлена не кривой, а областью возможных значений. Оптимальным вариантом организации движения пригородных электропоездов (схемы такта) является точка на области допустимых решений, обеспечивающая минимум целевой функции (рисунок 4.14).

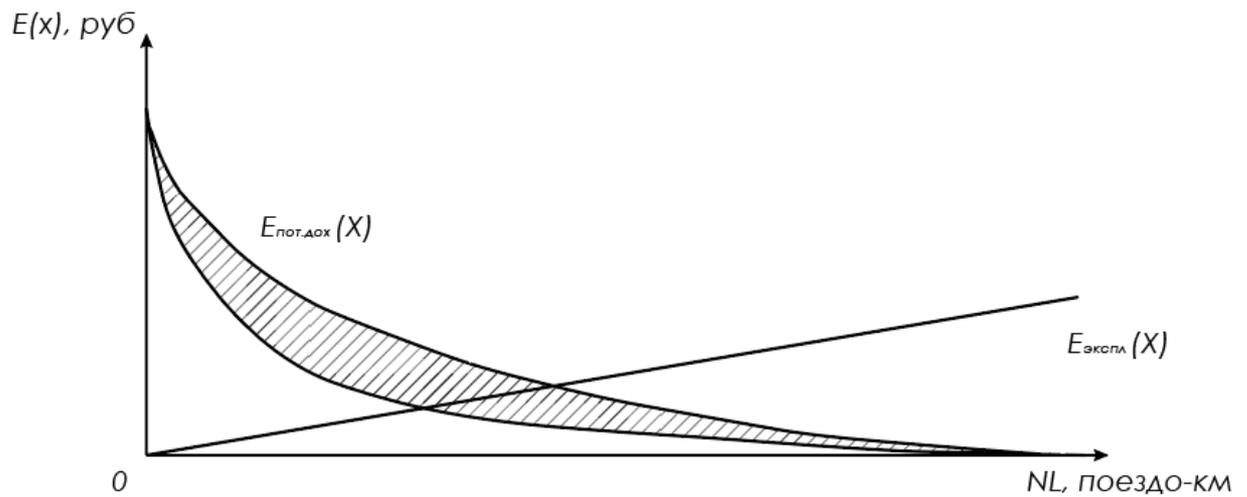


Рисунок 4.13 – График теоретической зависимости эксплуатационных расходов и недополученного дохода от объемов поездной работы

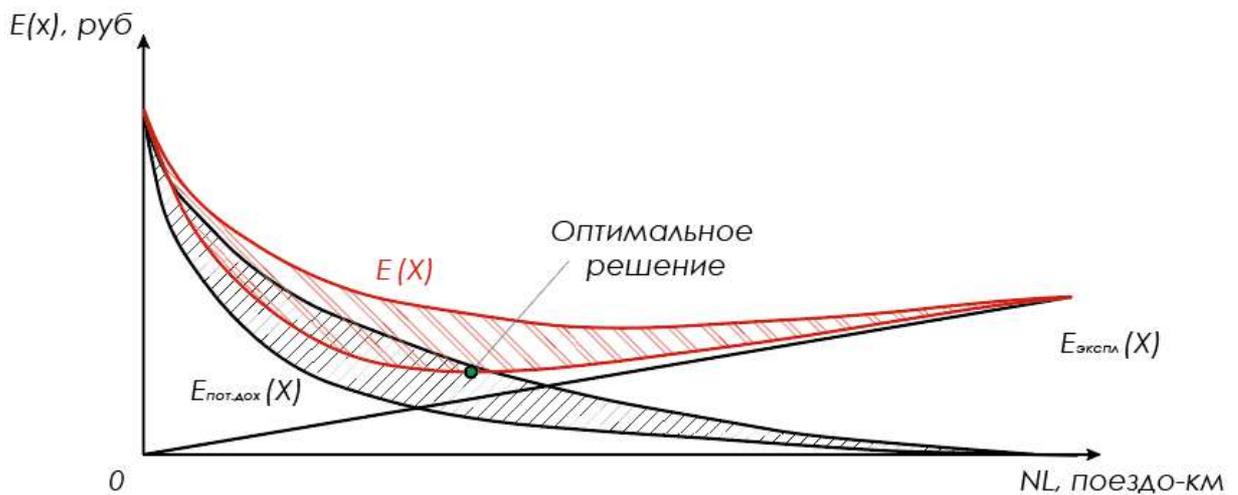


Рисунок 4.14 – Оптимальный вариант организации движения пригородных электропоездов, обеспечивающий минимум целевой функции

Область допустимых решений в представленной задаче задается ограничениями: максимально допустимой населенностью пригородных электропоездов по участкам следования и технологическими ограничениями по межпоездному интервалу. Они формируют область недопустимых решений, в которых размеры движения пригородных поездов (объемы поездной работы) не могут обеспечить не превышение допустимой населенности пригородных поездов и область, в которой содержатся как допустимые, так и недопустимые решения (рисунок 4.15). Причиной формирования данной области является тот факт, что в зависимости от последовательности пропуска

и режима остановок пригородных поездов, пассажиропоток будет по-разному распределяться по электропоездам и соответственно часть решений не будет удовлетворять принятым ограничениям.

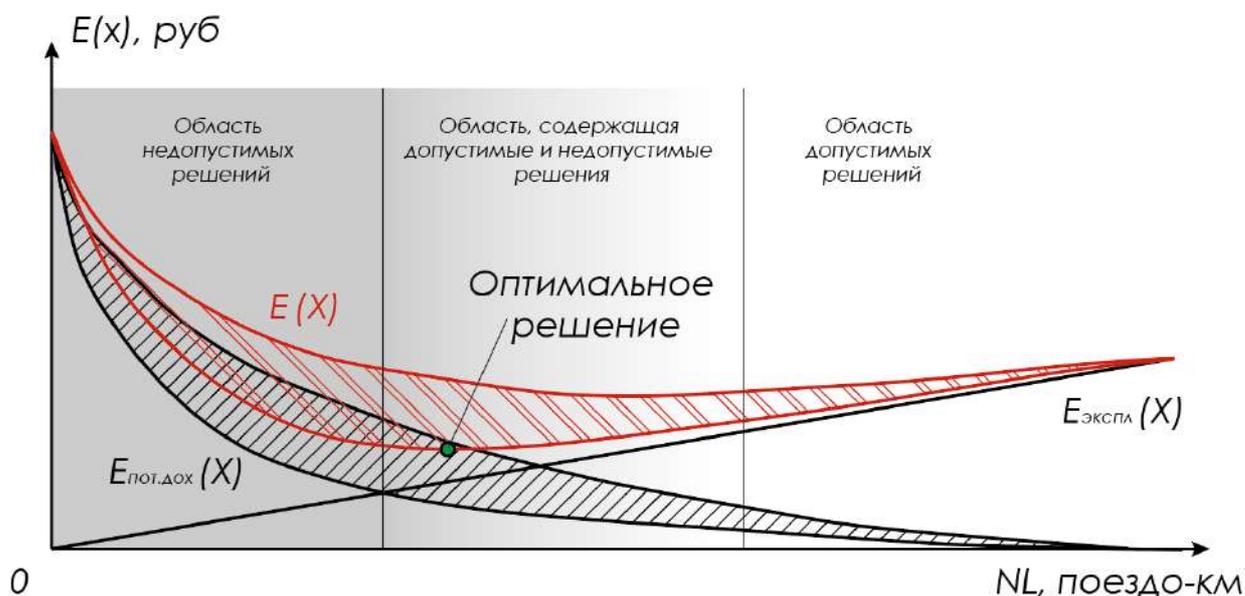


Рисунок 4.15 – Отображение предполагаемых границ областей допустимых и недопустимых решений

В некоторых случаях, количество ограничений может быть расширено, например, когда на определенном участке пассажиропоток настолько мал, что не обеспечивается экономическая целесообразность перевозок, искусственно может быть добавлено ограничение по минимальным размерам движения по данному участку, для обеспечения социальных гарантий. Для расширения области допустимых решений обеспечение не превышения допустимой численности пригородных электропоездов может осуществляться не с помощью ограничения, а через добавления штрафа за превышение допустимой численности в целевую функцию.

От значения расходной ставки стоимости пасс.-км зависит стоимостная оценка недополученного дохода от перевозочной деятельности (рисунок 4.16). При увеличении значения стоимости расходной ставки пасс.-км увеличивается стоимостная оценка неосвоенного пассажирооборота и алгоритм стремится обеспечить большие размеры движения поездов по

участкам (увеличение объемов поездной работы), тем самым обеспечивая привлекательности расписания движения для пассажиров (рисунок 4.17).

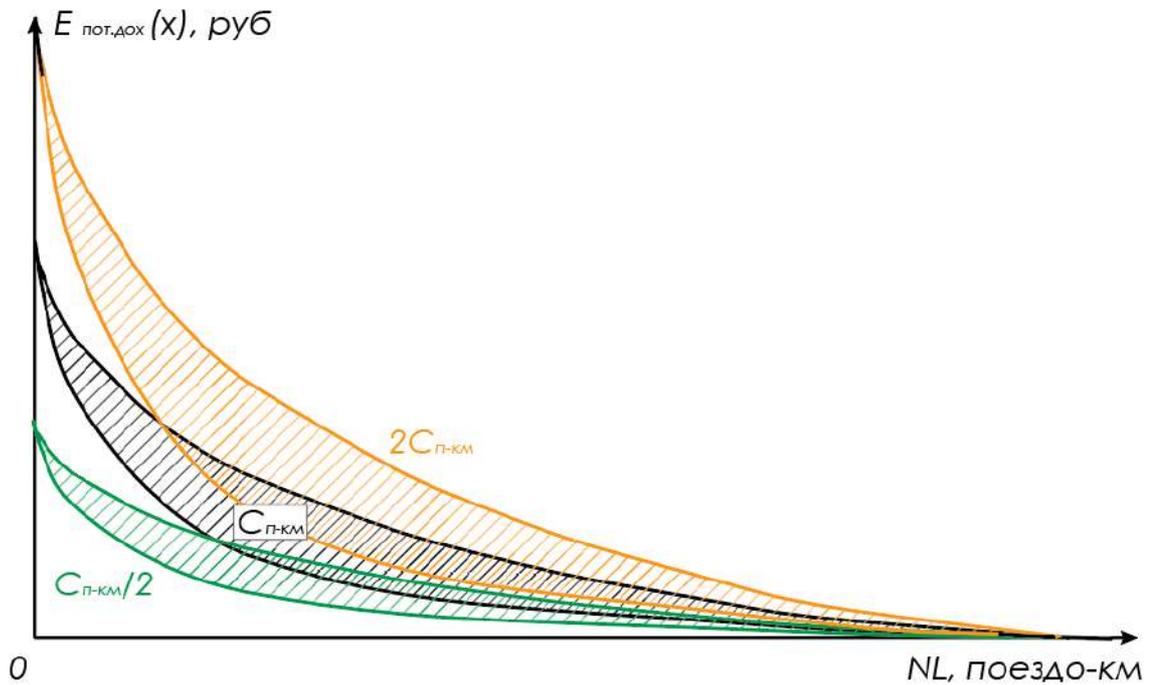


Рисунок 4.16 – Отображение влияния величины ставки пасс-км на величину недополученного дохода от перевозочной деятельности

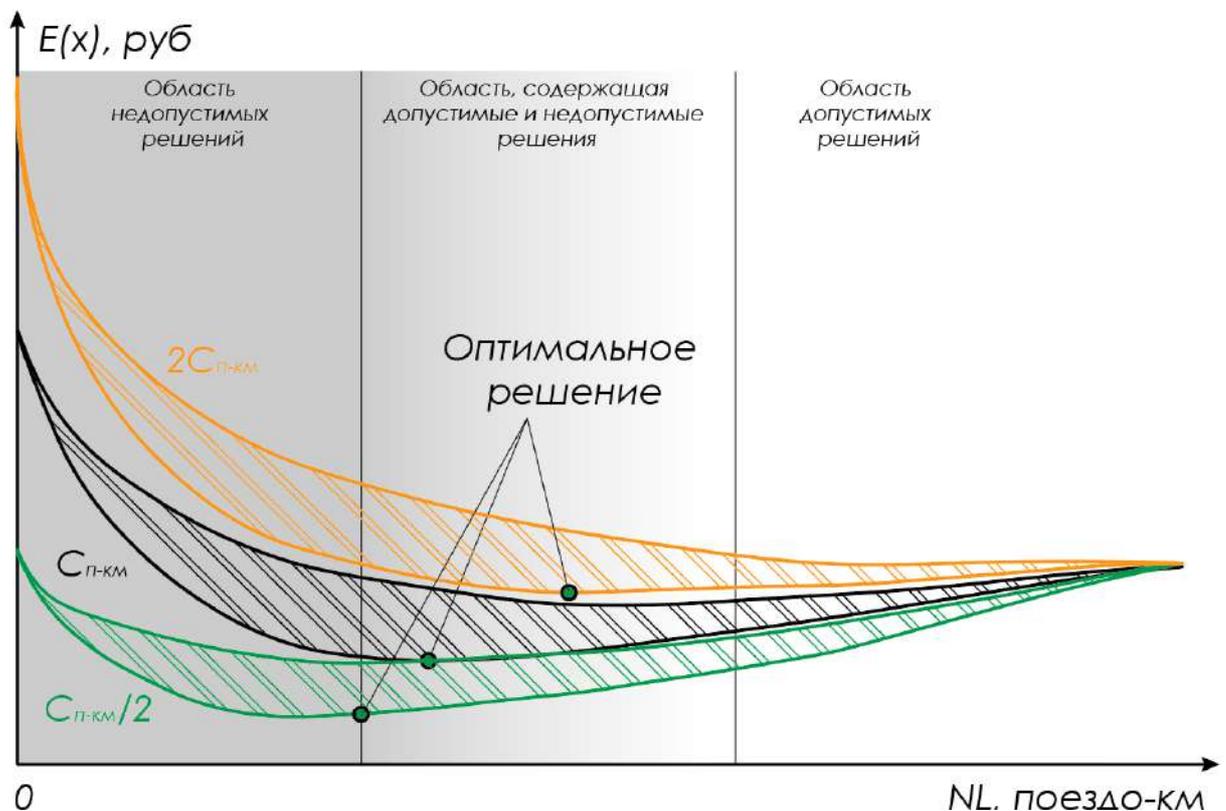


Рисунок 4.17 – Отображение влияния величины ставки пасс-км на значение целевой функции

Для оценки восприимчивости разработанной экономико-математической модели к величине расходной ставки пасс-км было проведено исследование и определены варианты схемы пропуска пригородных поездов при различных значениях ставки от 1,5 до 6 руб/пасс-км. Генетический алгоритм не может найти оптимальный вариант схемы такта и при множественном запуске программы поиска формирует множество конкурентных вариантов. В таблице 4.20 приведено сравнение наиболее рациональных вариантов пропуска пригородных поездов при различных значениях расходной ставки пасс.-км.

Полученные значения показывают существующую зависимость эксплуатационных и социальных-экономических показателей формируемого расписания движения от величины расходной ставки. При увеличении стоимости ставки программа планомерно увеличивает размеры движения по участкам, находя варианты, обеспечивающие снижение неосвоенного пассажиропотока. При этом объемы дополнительно привлекаемого пассажиропотока незначительны и вопрос рациональности подобного увеличения является спорным.

При уменьшении стоимости ставки алгоритм формирует варианты пропуска электропоездов с меньшими размерами движения поездов по участку. При этом ограничение по допустимой населенности пригородных поездов по участку ограничивает возможности сокращения реализуемых размеров движения. Так, например, невозможно обеспечить не превышение допустимого уровня населенности при снижении размеров движения ниже 10 поездов в час на участке Нахабино – Москва. Данное утверждение справедливо к размерам движения по участкам Шаховская – Нахабино, при снижении которых происходит перераспределение пассажиропотока и перенаселенность поездов дальних зон на участке Нахабино - Москва. При снижении значения ставки ниже “1” алгоритм формирует варианты схемы такта без обслуживания участка Шаховская – Новоиерусалимская (размеры движения электропоездов по участку 0).

Таблица 4.20 – Сравнение объемов перевозок пассажиров и эксплуатационных показателей при изменении стоимости расходной ставки пасс.-км

Стоимость пасс-км, руб/пасс-км		0,5	1	1,5	2	3	3	4	5	6	7	8	9	
Размеры движения по участкам, поездов/период	АВ	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	ВД	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	
	ДЖ	0	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4	3	
	ЖИ	3	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	6	
	ИЛ	3	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	
	ЛМ	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	МН	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Поездная работа, поездо-км		425,2	540,9	560,9	610,5	628,3	628,3	648,3	668,3	668,3	701,2	748,6	748,6	
Сервисное обслуживание (ТО, ТР, КР), ваг-км		4 677	5 950	6 170	6 716	6 911	6 911	7 131	7 351	7 351	7 713	8 235	8 235	
Управление и эксплуатация, поездо-час		11,75	13,90	14,32	15,10	15,33	15,33	15,83	16,07	16,07	16,77	17,67	17,67	
Неосвоенный пассажиропоток, пасс.		1 368	462	311	201	148	148	110	100	100	76	42	42	
Неосвоенный пассажиропоток, %		6,8	2,3	1,6	1,0	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2	
Неосвоенный пассажирооборот, пасс-км		98 454	25 373	18 505	9 667	7 096	7 096	6 147	4 925	4 925	3 299	1 653	1 653	
Неосвоенный пассажирооборот, %		20,2	5,2	3,8	2,0	1,5	1,5	1,3	1,0	1,0	0,7	0,3	0,3	
Неосвоенный пассажиропоток в сечении, %	АБ	100	13,3	13,3	10,7	8,9	8,9	13,3	8,9	8,9	0,6	2,3	2,3	
	БВ	100	12,2	12,2	9,6	7,9	7,9	12,2	7,9	7,9	0,5	2,0	2,0	
	ВГ	100	18,5	18,5	5,7	4,1	4,1	6,0	3,9	3,9	1,4	1,0	1,0	
	ГД	100	18,1	18,1	5,9	4,6	4,6	5,5	3,9	3,9	2,5	0,9	0,9	
	ДЕ	100	20,2	16,1	6,3	5,0	5,0	4,8	3,4	3,4	2,2	1,1	1,1	
	ЕЖ	100	30,0	16,2	8,6	7,4	7,4	4,6	3,5	3,5	2,7	1,5	1,5	
	ЖЗ	70,3	21,3	11,9	6,5	5,3	5,3	3,6	2,6	2,6	2,0	1,1	1,1	
	ЗИ	30,7	9,4	6,6	4,1	2,6	2,6	2,0	1,8	1,8	1,5	0,6	0,6	
	ИК	23,9	7,3	5,2	3,3	2,3	2,3	1,7	1,6	1,6	1,2	0,5	0,5	
	КЛ	24,0	7,3	5,2	3,3	2,3	2,3	1,8	1,7	1,7	1,2	0,6	0,6	
	ЛМ	7,3	2,2	1,6	1,0	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4	0,2	0,2	
	МН	2,7	0,8	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	

На рисунке 4.18 приведено влияние величины ставки на объем поездной работы и величины неосвоенного пассажиропотока.

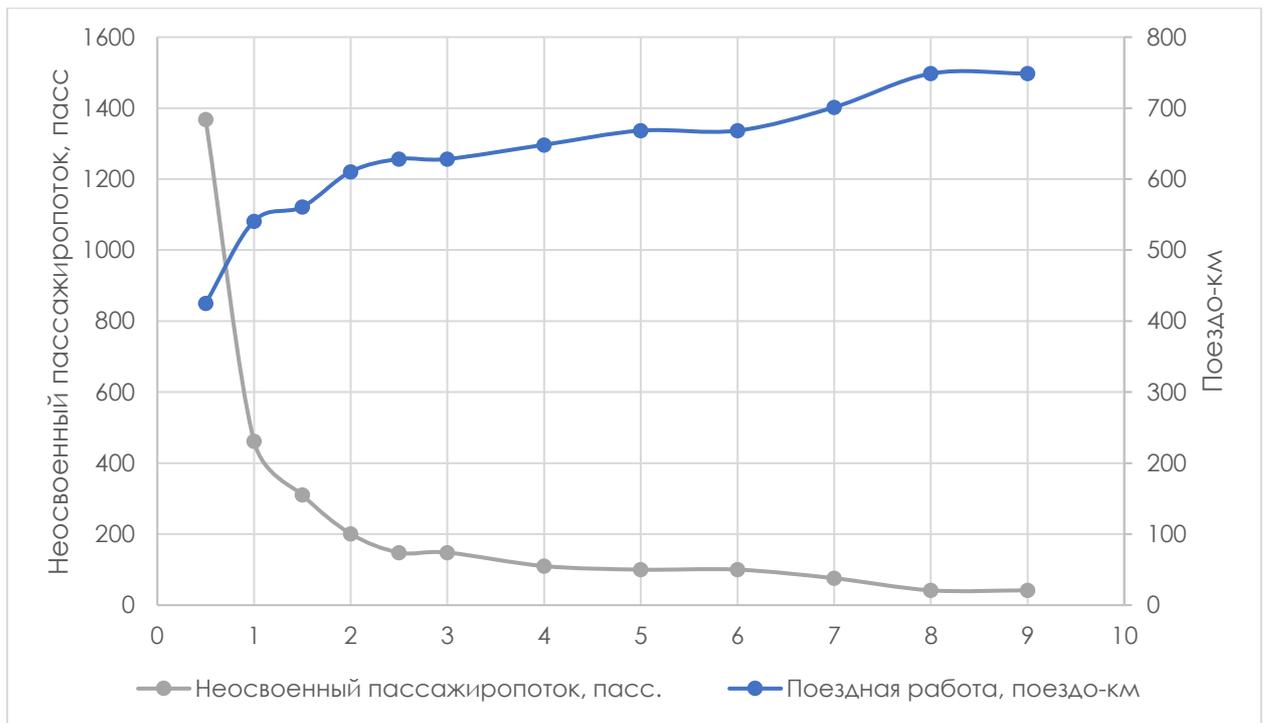


Рисунок 4.18 – График динамики показателей, характеризующих схему такта, от значения расходной ставки пасс-км

Исследование влияния величины расходной ставки пасс.-км позволяет сделать вывод о восприимчивости разработанной экономико-математической модели к её величине. От величины ставки зависят формируемый вариант пропуска, размеры движения пригородных электропоездов по участкам, а также объем осваиваемого пассажиропотока. На основании проведенного исследования предлагается установить допустимый диапазон величины расходной ставки на уровне от 2 до 4 руб./пасс.-км для рассматриваемого пригородного направления в ценах 2023 года.

### Выводы к 4 главе

1. Разработан алгоритм построения графика движения с тактовым расписанием движения пригородных электропоездов. Алгоритм проектирования графика движения поездов заключается предварительной разработке схем такта пригородных электропоездов и дальнейшим их тиражировании в течении суток.

2. Сформулированы принципы разработки схемы такта пригородных электропоездов, в том числе учитывающие важность проведения расчета охвата реально достижимого объема перевозов железнодорожным транспортом в пригородном сообщении и его распределение между электропоездами.

3. 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.

4. Выполнена апробация оптимизационной 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.

5. Формируемая схема пропуска пригородных электропоездов, размеры движения по участкам и объем осваиваемого пассажиропотока зависят от величины расходной ставки пасс-км. В работе установлен допустимый диапазон значений расходной ставки для рассматриваемого пригородного направления.

## 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. Рекомендуется 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

ВСМ	–	Высокоскоростная магистраль
ГДП	–	График движения поездов
ГДПЭП	–	График движения пригородных электропоездов
ГО ЛБ	–	График оборота локомотивных бригад
ГО ПП	–	График оборота пригородных электропоездов
МЖД	–	Московская железная дорога
МЖУ	–	Московский железнодорожный узел
МК МЖД	–	Малое кольцо Московской железной дороги
МКАД	–	Московская кольцевая автомобильная дорога
МЦД	–	Московские центральные диаметры
МЦК	–	Московское центральное кольцо
ОД ПП	–	Организация движения пригородных электропоездов
ППК	–	Пригородные пассажирские компании
ПРМ	–	Погрузо-разгрузочные машины
ПЭП	–	Пригородный электропоезд
СПБЖУ	–	Санкт-Петербургский железнодорожный узел
ТПУ	–	Транспортно-пересадочный узел
УДС	–	Улично-дорожная сеть

ЦТУ	–	Центральный транспортный узел
ЭГ2Тв	–	Электропоезд городской, 2-й тип, Тверской
ЭП2Д	–	Электропоезд пригородный, 2-й тип, Демиховский
ЭС1	–	Электропоезд Сименс 1-й тип

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агуреев И. Е. Подходы к формализации понятия транспортного поведения населения городских агломераций / И. Е. Агуреев, А. В. Ахромешин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 2. – С. 60-70.
2. 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.
3. Айсина, Л. Р. К вопросу организации движения пригородных и пригородно-городских поездов по модульному типу / Л. Р. Айсина, А. М. Насыбуллин // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2022. – № 1. – С. 98-102..
4. Артынов, А. П. Пригородные пассажирские перевозки / А.П. Артынов, Н.У. Дмитриев. — Москва: Транспорт, 1985. — 161 с.
5. Аршинский, Л. В. Методы и подходы к организации пригородных пассажирских перевозок на основе математических моделей / Л. В. Аршинский, Ю. О. Бутырина // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2018. – Т. 1. – С. 425-430
6. 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.

7. Бакин, А. А. Исследование интенсивности подхода пассажиров на остановочные пункты пригородных электропоездов / А. А. Бакин, С. П. Вакуленко // . – 2023. – № 2. – С. 54-64.
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.
9. Бакин, А. А. Исследование пороговых значений времени ожидания пригородного электропоезда / А. А. Бакин // Экономика железных дорог. – 2023. – № 3. – С. 25-35.
10. Бакин, А. А. Метод разработки схемы такта пригородных электропоездов с применением генетического алгоритма / А. А. Бакин // Экономика железных дорог. – 2023. – № 6. – С. 62-73.
11. 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.
12. 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.
13. 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.

14. Баранов Л.А., Жербина А.И. Построение на ЭВМ графиков движения поездов метрополитена // Вестник ВНИИЖТа. № 7. 1981.

15. Баранов, Л. А. Автоматизация управления движением поездов метрополитена / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. – 2003. – № 1. – С. 19-26.

16. Баранов, Л. А. Подходы к моделированию пассажиропотоков в рамках функционирования интеллектуальной системы управления городскими рельсовыми транспортными системами / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Л. Н. Логинова // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 539-564.

17. Баранов, Л. А. Особенности автоматизированного планирования движения поездов в интеллектуальных системах управления внеуличного городского транспорта в условиях интенсивного движения / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Интеллектуальные транспортные системы : материалы Международной научно-практической конференции, Москва, 26.05.2022 г.. – Москва: Российский университет транспорта, 2022. – С. 59-70.

18. Бещева, Н. И. Железнодорожные диаметры в больших городах / Н.И. Бещева. — Москва: Трансжелдориздат, 1953. — 199 с.

19. Бещева, Н. И. Пригородное движение на электрифицированных линиях / Н.И. Бещева. — Москва: Трансжелдориздат, 1961. — 372 с.

20. Бещева, Н.И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях / Н.И. Бещева. — Москва: Транспорт, 1965. — 223 с.

21. Бещева, Н. И. Проблемы пригородных пассажирских перевозок : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Бещева Неонила Ивановна : Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. — Москва, 1970. — 40 с.

22. Бещева, Н.И. Проблемы повышения эффективности пригородных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / Н.И. Бещева. — Москва: Наука, 1984. — 45 с.

23. 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.

24. Бранзия Р. Л. Экономические аспекты организации интермодальных пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах (на примере Московского мегаполиса) : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Бранзия Роланд Лаврентьевич. – Москва, 2009. – 155 с.

25. Бутырин, О. В. Математическое моделирование процесса перевозок пригородного железнодорожного транспорта / О. В. Бутырин, Ю. О. Бутырина, В. В. Тирских // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-5. – С. 776-779.

26. Бухвальд Е. М. Агломерации и проблемы их законодательного регулирования / Е. М. Бухвальд // Жилищные стратегии. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 11-26.

27. Вакуленко, С. П. Метод прогнозирования пассажиропотоков при организации высокоскоростных перевозок / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 1-2(92-93). – С. 34-39.

28. Вакуленко, С. П. Методические основы формирования комплексного плана транспортного обслуживания населения субъектов Российской Федерации в части пригородных перевозок / С.П. Вакуленко, Е.В. Копылова, А.Ю. Белянкин // Мир транспорта. — 2014. — №10. — С. 34-37.

29. Вакуленко, С. П. Обзор и анализ научных исследований пассажирских перевозок в мегаполисной системе "город-пригород" / С. П.

Вакуленко, П. В. Куренков, Ю. Н. Дранченко // Вестник транспорта. – 2016. – № 9. – С. 37-42.

30. Вакуленко, С. П. Организация транспортного сервиса на участках совмещенного движения / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Л. Р. Айсина // Экономика железных дорог. – 2020. – № 1. – С. 54-60.

31. Вакуленко, С. П. О критериях определения категорий пригородных поездов / С. П. Вакуленко, А. В. Колин // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10, № 6(44). – С. 16-21.

32. Вакуленко, С. П. Прогнозирование размеров пригородных пассажиропотоков с динамическим горизонтом событий / С. П. Вакуленко // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2022. – № 1(4). – С. 17-46.

33. Вакуленко, С. П. Региональные пассажирские поезда: сферы применения / С.П. Вакуленко, П.А. Егоров, А.В. Колин // Железнодорожник. — 2014. — № 3 (4).

34. Вакуленко, С. П. Субъективность представлений и объективная оценка комфортного времени ожидания пассажиром транспорта / С. П. Вакуленко // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы XII Международной научно-практической конференции, посвященной 160-летию Белорусской железной дороги. В 2-х частях, Гомель, 24–25 ноября 2022 года / Под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. Том Часть 2. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2022. – С. 86-88.

35. Вакуленко, С. П. Тактовые графики движения поездов на участках с интенсивным пассажирским движением на примере Московского железнодорожного узла / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, А. В. Колин // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 9. – С. 3-7.

36. Вакуленко, С. П. Теоретические основы функционирования комплицированных зон тяготения пригородного пассажиропотока / С.П.

Вакуленко // Современные проблемы управления перевозочным процессом : Труды междунар. науч.-техн. конф. / МГУПС (МИИТ). — Москва, 2006. — С.Ш-50 - Ш-66

37. . Виноградова, Ю. Ю. Вероятностное моделирование пассажиропотоков при проведении крупных спортивных соревнований / Ю. Ю. Виноградова, Ю. И. Палагин, И. Ю. Пиликина // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2018. – № 6. – С. 38-41.

38. Власюк, Т. А. Разработка математической модели социотехнической системы организации пригородных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте с учетом сегментации рынка транспортных услуг / Т. А. Власюк // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2010. – № 1(20). – С. 27-30.

39. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни. - пер. с англ. Александра Калинина под науч. ред. Михаила Блинкина изд. - Москва: Территория будущего, 2011. - 820 с.

40. Горин, В. С. К истории разработки проектов железнодорожных диаметров в крупных транспортных узлах и городских агломерациях/ В.С. Горин, В.А. Персианов, А.В. Курбатова // Вестник транспорта. — 2020. — №2. — С. 2-13.

41. Городская электричка расширяет географию: проект реализуется в 17 городах России // Гудок URL: <https://gudok.ru> (дата обращения: 13.05.2023).

42. Евреенова, Н. Ю. Совершенствование системы пропуска электропоездов на участках с интенсивным движением / Н. Ю. Евреенова, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1(81). – С. 88-96.

43. 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

44. Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта / С.П. Вакуленко, П.В. Голубев, Е.В. Копылова, Е.Б. Куликова. — Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. — 263 с.

45. Каган, Д. З. Анализ распределения пассажирских перевозок в пригородном сообщении на основе статистических методов / Д. З. Каган, О. Н. Толкачева, О. М. Сибиркина // Актуальные проблемы управления экономикой и финансами транспортных компаний : сборник трудов Национальной научнопрактической конференции. – Москва : Арт-Бизнес-Центр, 2016. – С. 140-145.

46. Калашникова О. Е. Агломерационные эффекты при создании и управлении агломерацией / О. Е. Калашникова // Наука, образование и культура. – 2017. – Т. 1, № 5(20). – С. 28-32.

47. Кобзев, В. П. Освоение пригородных пассажиропотоков на линиях с интенсивным движением / В.П. Кобзев// Железнодорожный транспорт. — 1980. — № 8. — с. 14-16.

48. Ковалев А. П. Система оценки надежности графика и скорости движения пассажирских поездов : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ковалев Александр Петрович. – Москва, 2001. – 166 с.

49. 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.

50. 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.

51. Козин, В. С. Сравнительный анализ и пути повышения конкурентоспособности пригородных пассажирских перевозок на примере ОАО "Центральная пригородная пассажирская компания" / В. С. Козин, Е. С. Кубишин // Гуманитарные, экономические и правовые проблемы современного общества : сборник научных трудов сотрудников Московского социально-экономического института / Московский социально-экономический институт, Под общей редакцией проф. Хозова В.Ф.. – Москва : Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский социальноэкономический институт, 2014. – С. 60-72.

52. Колин, А. В. Актуальность системных преобразований в пригородных железнодорожных перевозках / А. В. Колин // Транспорт Российской Федерации. – 2015. – № 1(56). – С. 7-11.

53. Колпаков, В. С. Совершенствование пассажирских перевозок / В.С. Колпаков, В.Г. Шубко. — Москва: Транспорт, 1983. — 191 с

54. Комплексное решение задач планирования и управления движением городских рельсовых транспортных средств / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Е. П. Балакина [и др.] // 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. 56-64.

55. Копылова Е. В. Организация работы интермодальных транспортных систем для обслуживания пригородных пассажиропотоков в периоды предоставления "окон" : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Копылова Екатерина Витальевна. – Москва, 2006. – 216 с.

56. Копылова Е. В. Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе организации пассажиропотока : специальность 2.9.4 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой

степени доктора технических наук / Копылова Екатерина Витальевна. – Москва, 2021. – 324 с.

57. Копылова Е. В. Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе методологии организации неоднородного (многоструйного) пассажиропотока / Е. В. Копылова // 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. 302-307.

58. Кочнев, Ф. П. Оптимальные параметры пригородных пассажирских перевозок / Ф.П. Кочнев. — Москва: Транспорт, 1975. — 304 с.

59. Кочнев, Ф. П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте : Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Ф.П. Кочнев. -6-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1980. — 496 с.

60. Кузнецова, Н. В. Система маркетингового планирования объема пассажирских перевозок на примере пригородного железнодорожного транспорта : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Кузнецова Наталья Викторовна. – Волгоград, 2007. – 24 с.

61. Купитман, Ю. О. Проблемы математического моделирования процесса пригородных пассажирских перевозок / Ю. О. Купитман // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 1. – С. 314-319.

62. Куренков, П. В. Возмещение убытков от пригородных пассажирских перевозок, связанных с регулированием тарифов / П.В. Куренков, А.В. Андреев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2007. — №5. — С. 61-62.

63. Куренков, П. В. Повышение эффективности работы пригородного комплекса железнодорожного транспорта / П.В. Куренков, А.В. Андреев // Вестник транспорта. — 2008. — №12. — С. 31-35.

64. Локтев, Е. П. Закономерности формирования спроса на пассажирские перевозки в пригородном сообщении : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Локтев Евгений Петрович. – Москва, 1992. – 24 с.

65. Медведь О. А. Назначение пригородных поездов в соответствии с целевой структурой пассажиропотока : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством" : диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Медведь Оксана Анатольевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 137 с.

66. Московский транспортный узел: перспективы развития / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, А. А. Бакин [и др.] ; Российский университет транспорта (МИИТ). Том Часть III. – Москва : Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2020. – 208 с.

67. Муковнина, Н. А. Организация пригородных перевозок с учетом размеров и структуры пассажиропотока : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Муковнина Наталья Анатольевна. – СанктПетербург, 2008. – 16 с.

68. Муковнина, Н. А. Совершенствование организации работы пригородных участков за счет использования засылочных составов / Н. А. Муковнина, В. И. Солдаткин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2007. – № 4(28). – С. 79-83.

69. Муктепавел С. В. Экономическое обоснование способов освоения железнодорожных пассажирских перевозок в регионах : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертации на соискание

ученой степени кандидата технических наук / Муктепавел Светлана Викторовна. – Москва, 2018. – 212 с.

70. Мурашов В. А. Модернизация системы пассажирских перевозок в Московском железнодорожном узле (организационно-экономический аспект) : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Мурашов Валентин Александрович. – Москва, 2011. – 210 с.

71. Новикова, М. В. Автоматизация планирования зонного движения поездов на линии метрополитена : специальность 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (транспорт)" : диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Новикова Мария Владимировна. — Москва, 2012. – 144 с.

72. Новоселова, И. С. Совершенствование методов управления перевозками пассажиров в пригородном сообщении : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Новоселова Ирина Сергеевна. – Москва, 2008. – 158 с.

73. 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 [и др.] // Вестник транспорта Поволжья. – 2021. – № 5(89). – С. 31-36.

74. Образцов, В. Н. Станции и узлы / В.Н. Образцов. — Москва: Трансжелдориздат, 1938. — 492 с.

75. Овчинникова, Е. А. Взаимоотношения города и транспорта / Е.А. Овчинникова // Наука и техника транспорта. — 2012. — №3. — С. 43-54.

76. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко,

Е. В. Копылова, А. И. Сафронов, М. А. Туманов // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 33-48.

77. Организация пассажирских перевозок : Учебник / А. Г. Котенко, Е. А. Макарова, И. Н. Шутов [и др.]. – Москва : ФГБУ ДПО "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2017. – 136 с.

78. Организация пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте (в примерах и задачах) / Под ред. В. Г. Шубко. — Москва: Транспорт, 1991. — 240 с.

79. Организация пригородных железнодорожных перевозок : Транспортные средства. Эксплуатация железных дорог / Ю. О. Пазойский, С. П. Вакуленко, А. В. Колин [и др.] ; Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте. – Москва : Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2015. – 270 с.

80. Пазойский Ю. О. Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса : специальность 05.22.08 "Эксплуатация железнодорожного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пазойский Юрий Ошарович. – Москва, 2000. – 491 с.

81. Пазойский, Ю. О. Технология и организация дальних, местных и пригородных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / В.Г. Шубко, С.П. Вакуленко, А.И. Жербина // Москва – 2003 (Типогр.Акад.Наук). – 88 с.

82. Пазойский, Ю. О. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения) : Учебное пособие / Ю. О. Пазойский, В. Г. Шубко, С. П. Вакуленко. – Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2016. – 364 с.

83. Пазойский, Ю. О. Схематический график движения пригородных поездов по выходным дням / Ю. О. Пазойский, М. Ю. Савельев // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 6(73). – С. 140-147.

84. Пазойский, Ю. О. Специфика применения зонного параллельного графика движения пригородных поездов / Ю. О. Пазойский, М. Ю. Савельев, А. А. Сидраков // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2018. – № 2(37). – С. 71-72.

85. Пазойский Ю. О. Размеры движения пригородных поездов при параллельном типе графика / Ю. О. Пазойский, А. М. Соловьев // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 3. – С. 71-76.

86. Панченко, Т. В. Генетические алгоритмы [Текст] : учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 [3] с.

87. Пищикова О. В. Формирование механизма управления транспортным поведением жителей мегаполиса : специальность 5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика (маркетинг)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Пищикова Ольга Викторовна. – Москва, 2022. – 200 с.

88. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена / Т. А. Искаков, А. И. Сафронов, В. Г. Сидоренко, М. А. Чжо // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 38-63.

89. Правдин, Н. В. Прогнозирование пассажирских потоков: Учебное пособие // Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Гомель. 1978. – 57 с.

90. Правдин, Н. В. Прогнозирование пассажирских потоков (методика, расчеты, примеры) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью Центр "Транспорт", 1980. – 222 с.

91. Правдин, Н. В. Пригородные зоны и зоны тяготения на железнодорожном транспорте (для условий средних и больших городов

Республики Беларусь): [монография]/Н. В. Правдин, Т. А. Власюк. — Гомель: БелГУТ, 2007. — 207 с. 193

92. Правдин, Н. В. Формирование пригородных пассажиропотоков на железнодорожном транспорте с учетом особенностей его структуры / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, Т.А. Власюк //Транспорт. Наука. Техника. Управление. — 2008. — № 7. — С. 17-27.

93. Проблемы обеспечения надежности пригородных пассажирских перевозок / В. Я. Негрей, М. Н. Луговцов, В. А. Подкопаев, В. А. Прокофьев // Проблемы безопасности на транспорте : Тезисы докладов Международной научнопрактической конференции, Гомель, 12–15 июня 2000 года / Под редакцией В.Я. Негрея. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2000. – С. 131-132.

94. Расписание движения поездов с учетом удобства пересадки для пассажиров / С. П. Вакуленко, Л. Р. Айсина, В. Н. Шмаль, А. М. Насыбуллин // Экономика железных дорог. – 2022. – № 4. – С. 67-74.

95. Роменский, Д. Ю. Выбор концептуального решения по организации диаметральных пригородно-городских перевозок в Московском ж/д узле / Д. Ю. Роменский, С. П. Вакуленко, А. В. Колин // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). – 2020. – № 1. – С. 568-570.

96. Роменский, Д. Ю. Обоснование величины потребного интервала между транспортными средствами в пригородно-городских пассажирских перевозках на примере работы железнодорожных диаметров / Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3(47). – С. 81-88.

97. Роменский, Д. Ю. Основные подходы к организации смешанного движения на железнодорожных участках с интенсивным пассажирским движением / Д. Ю. Роменский // Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом : Материалы

международной юбилейной научно-технической конференции, Москва, 20–21 ноября 2019 г.. – Москва: РУТ (МИИТ), 2020. – С. 215-220.

98. Роменский Д. Ю. Пригородно-городские железнодорожные пассажирские перевозки на диаметральных маршрутах крупных транспортных узлов (на примере Московского транспортного узла) : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Роменский Дмитрий Юрьевич. – Москва, 2021. – 240 с.

99. Самарцев П. В. Совершенствование организации перевозок пассажиров в крупных городах Сибири и Дальнего Востока : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Самарцев Павел Владимирович. – Новосибирск, 2005. – 233 с.

100. Самарцев, П. В. Совершенствование системы организации перевозки пригородных пассажиров в узле / П. В. Самарцев // Совершенствование технологии перевозочного процесса к 80-летию факультета «Управление процессами перевозок»: сборник научных трудов. Ответственный редактор А.А. Климов. – 2015. – С. 64-69.

101. Санкт-Петербургский транспортный узел: перспективы развития / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Д. Ю. Роменский [и др.] ; Российский университет транспорта РУТ (МИИТ). Том Часть 1. – Москва : Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 2020. – 192 с.

102. Сидоренко, В. Г. Автоматизация синтеза планового графика движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. — 2004. — № 2. — С. 48-57.

103. Сидоренко, В. Г. Методологическое и алгоритмическое обеспечение автоматизации управления движением поездов метрополитена : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание

ученой степени доктора технических наук / Сидоренко Валентина Геннадьевна. – Москва, 2004. – 424 с.

104. Сидоренко, В. Г. Синтез планового графика движения зонного типа / В. Г. Сидоренко, М. В. Новикова // Мир транспорта. – 2009. – Т. 7, № 4(28). – С. 128-134.

105. Сидоренко, В.Г. Построение планового графика движения для метрополитена / В.Г. Сидоренко, А.И. Сафронов // Мир транспорта. — 2011. — №3. — С. 98-105.

106. Сидоренко, В. Г. Методика выравнивания интервалов движения пассажирских поездов метрополитена в условиях ограниченных ресурсов / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 2(54). – С. 69-76.

107. Сидоренко, В. Г. Влияние ночной расстановки составов на режим работы электроподвижного состава метрополитена / В.Г. Сидоренко, К.М. Филипченко, М.А. Чжо // Электротехника. — 2016. — №9. — С. 19-26.

108. Сидоренко, В. Г. Применение методов искусственного интеллекта к решению задач планирования перевозочного процесса метрополитена / В. Г. Сидоренко, М. А. Чжо // Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях : Труды Всероссийской научнопрактической конференции ученых транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки с международным участием, 2017, 29 сентября 2017. — Хабаровск: Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2017.

109. Сидоренко, В. Г. Применение генетических алгоритмов при решении задач планирования перевозочного процесса городской рельсовой транспортной системы / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Автоматика на транспорте. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 49-62.

110. 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.

111. Терзи, В. И. Совершенствование организации пригородных железнодорожных перевозок мегаполиса в условиях формирования мультимодальных систем (на примере Новосибирского транспортного узла) : специальность 05.22.01 "Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Терзи Виктор Иванович. – Новосибирск, 2001. – 150 с.

112. Распоряжение Правительства Российской Федерации "Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года" от 27.11.2021 № 3363-р // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2021

113. Феофилов А.Н. Математическая модель составления графиков движения поездов на линиях метрополитена // Вестник ВНИИЖТа. № 7. 1991. — С. 10–13

114. Шаульский, Б. Ф. Выдающийся ученый, инженер и педагог В.Н. Образцов / Б. Ф. Шаульский, А. Т. Осьминин. — Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2010. — 380 с.

115. Шмаль В. Н. Поиск оптимального решения для назначения пригородно-городских поездов на разветвленных участках по каждому из возможных маршрутов / В. Н. Шмаль, Л. Р. Айсина // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т. 14, № 11. – С. 39-45.

116. . Шнейдер, М. А. Рынок пригородных железнодорожных перевозок: управление и экономика / М. А. Шнейдер, Е. А. Проскурякова. — СПб. : НП-Принт, 2012. — 288 с.

117. Шубко, В. Г. Выбор схемы прокладки пригородных поездов / В. Г. Шубко, В. А. Маневич, С. И. Паристый // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: межвузовский сборник (Труды МИИТ). — 1980. — № 670. — С. 14-20.

118. Шубко, В. Г. К вопросу о выборе схемы прокладки пригородных поездов / В. Г. Шубко, В. А. Маневич, С. И. Паристый // Оптимизация эксплуатационной работы железных дорог : сборник научных трудов (Труды МИИТ). — 1981. — № 657. — С. 73-77.

119. Chang S.K. Jason, Hsu Spring C. Modeling of passenger waiting time in intermodal station with constrained capacity on intercity transit // Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. - October 2003. - №5. - p. 9-22.

120. Chaudhry I. A. Integrated process planning and scheduling using genetic algorithms / I. A. Chaudhry, M. Usman // Tehnicki Vjesnik. — 2017. — Iss. 24(5). — p. 1401–1409.

121. Polinder Gert-Jaap, Schmidt Marie, Huisman Dennis Timetabling for strategic passenger railway planning // Transportation Research Part B. - 2021. - №146. - p. 111-135.

122. Rahman Mashrur, Gurumurthy Krishna Murthy, Kockelman Kara M. Impacts of flextime on departure time choice for home-based commuting trips in Austin, Texas // Transportation Research Record. - 2021. - №2676. - p. 446-459.

123. Seleznev, D. S. Tools for innovation strategies / D. S. Seleznev, A. Kh. Ozdoeva // Physics and Technology Proceedings (CPT2020) : Conference Proceedings The 8th International Scientific Conference on Computing, 09–13 ноября 2020 г. – Nizhny Novgorod: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий "Научно-исследовательский центр физико-технической информатики", 2020. – P. 144-150.

124. Tavassoli A., Mesbah M., Shobeirinejad A., Modelling passenger waiting time using large-scale automatic fare collection data: An Australian case study // Transportation Research Part F. - 2018. - №58. - p. 500-510.

125. Vukan R. Vuchic Urban Transit: Operations, Planning, and Economics. - Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. - 644 p.

126. Yang Liya, Yao Yu, Shi Hua and Shang Pan, Dynamic passenger demand-oriented train scheduling optimization considering flexible short- turning strategy // Journal of the Operational Research Society. - September 2020. - p. 1-19.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Акты внедрения результатов диссертационного исследования



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«МОСКОВСКО-ТВЕРСКАЯ ПРИГОРОДНАЯ  
ПАССАЖИРСКАЯ КОМПАНИЯ»  
(АО «МТ ППК»)

Коминтерна ул., д. 18, г. Тверь, 170002

Адрес для корреспонденции:  
Новорязанская ул., д. 18, стр. 21, Москва, 107078  
Тел.: +7 (495) 369-58-96, доб. 5103  
E-mail: corp@mtppk.ru, [www.mtppk.ru](http://www.mtppk.ru)

*12.12.2018 № 4266*

#### АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Аспекты диссертационной работы Бакина Алексея Алексеевича на тему: «Метод разработки тактового графика движения пригородных поездов» представленного на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.9.4 применимы для повышения качества обслуживания пассажиров на полигоне перевозок АО «МТ ППК».

Представленные в диссертационном исследовании подходы к оценке качества расписания движения пригородных электропоездов и определению комфортного для пассажиров межпоездного интервала, в том числе в рамках лимитированных заказчиками транспортной работы размеров движения, а также алгоритм проектирования графика движения поездов, являются актуальными и применимыми при организации смешанного тактового движения пригородно-городских электропоездов и пригородных пассажирских поездов дальних зон, а установленные зависимости движения пассажиров на участках, оборудованных турникетными комплексами, могут быть спроецированы на пригородные участки без турникетов, где отчётная информация о внутрисуточной структуре пассажиропотока отсутствует.

По предложенным в диссертационном исследовании методам, алгоритмам и принципам организации движения пригородных электропоездов в АО «МТ ППК» выполнены технические расчёты и на основании их результатов разработаны предложения по оптимизации расписания движения пригородных поездов на участках Тверь – Крюково, Клин – Крюково, Бологое – Тверь.

Генеральный директор



К.В. Воронцов

Рисунок А.1 – Акт внедрения АО «МТ ППК»



ОАО «РЖД»  
**ЦЕНТР ПО КОРПОРАТИВНОМУ  
 УПРАВЛЕНИЮ ПРИГОРОДНЫМ  
 КОМПЛЕКСОМ**

Новая Басманная ул. 2,  
 г. Москва, 107174,  
 Тел.: (499) 260-30-26  
 Факс: (499) 262-39-79,  
 www.rzd.ru

«12» 12.2023. № ИСХ-1569/ЦЛП.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленное в Центр по корпоративному управлению пригородным комплексом диссертационное исследование Бакина Алексея Алексеевича на тему: «Метод разработки тактового графика движения пригородных поездов» представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.9.4 затрагивает актуальные вопросы, возникающие при организации тактового пригородного и пригородно-городского сообщения.

Результаты, полученные в диссертационном исследовании, будут использованы при планировании и внедрении новых транспортных продуктов в пригородном комплексе, а именно:

- алгоритм построения тактового графика движения пригородных электропоездов;
- математическая модель, оценивающая населенность пригородных электропоездов;
- предпочтения пассажиров к регулярности движения пригородных электропоездов.

Заместитель начальника



Р.В.Лисневский

Исп. Ковалёв А.В., ЦЛП  
 8(499)260-86-35

Рисунок А.2 – Акт внедрения Центра по корпоративному управлению пригородным комплексом ОАО «РЖД»

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Ретроспектива размеров движения пригородных электропоездов по участкам  
Московского и Санкт-Петербургского железнодорожных узлов в период  
с 1970 по 2022 гг.

Таблица Б.1 – Размеры движения пригородных электропоездов по участкам  
Московского железнодорожного узла в период 1970-2022 гг.

Напр.	Участок	Размеры движения пригородных электропоездов, пар поездов в сутки рабочего дня										
		1970	1980	1990	1996	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2022
Ярославское	Москва - Мытищи		266	253	187	196	226	219	236	236	238	277
	Мытищи - Пирогово		23	18	4	-	-	-	-	-	-	-
	Мытищи - Пушкино		136	122	100	106	94	111	116	117	119	131
	Пушкино - Софрино		82	87	71	76	69	68	65	66	68	69
	Софрино - Сергиев Посад		61	62	52	53	50	54	51	53	55	54
	Софрино - Красноармейск		5	5	7	6	7	7	6	8	8	8
	Сергиев Посад - Александров		24	26	25	20	26	31	25	25	27	25
	Александров - Балакирево		8	4	7	6	8	8	5	5	5	5
	Мытищи - Болшево		121	114	85	90	93	107	117	118	118	135
	Болшево - Монино		80	78	52	54	51	56	63	65	65	75
	Монино - Фрязево		10	11	14	11	13	12	14	14	14	14
	Болшево - Фрязино-Пасс.		28	31	27	28	30	30	33	32	32	32
Горьковское	Москва - Нижегородская			143	93		120	136	137	133	143	128
	Нижегородская - Реутово			143	93		120	136	137	133	153	163
	Реутово - Балашиха			18	16		13	13	15	14	15	28
	Реутово - Железнодорожная			123	77		107	123	122	119	138	135
	Железнодорожная - Фрязево			91	64		85	88	75	80	90	90
	Фрязево - Захарово			26	22		20	22	18	18	20	18
	Фрязево - Павловский Посад			53	37		42	44	46	45	52	52
	Павловский Посад - Электрогорск			12	12		11	12	12	12	13	13
	Павловский Посад - Крутое			36	24		30	29	32	33	38	38
	Крутое - Петушки			26	18		20	19	18	18	22	20
Петушки - Владимир			7	7		7	6	4	4	8	6	
Казанское	Москва - Люберцы-1	185		163	112		140	151	151	155	161	160
	Люберцы-1 - Быково	158		116	80		116	120	115	122	127	127
	Быково - Раменское (Пл. 47 км)	101		102	76		111	112	110	117	122	123
	Раменское (Пл. 47 км) - Виноградово	33		40	36		35	38	36	39	46	40
	Виноградово - Шиферная	31		38	34		31	32	31	34	40	36
	Шиферная - Голутвин	21		30	27		26	25	25	26	30	26
	Голутвин - Рязань	н.д.		11	8		7	6	6	7	8	8
	Панки - Дзержинский	н.д.		5	4	-	-	-	-	-	-	-
	Люберцы-1 - Куровская	н.д.		34	26		25	29	31	31	32	31
	Куровская - Шатура	н.д.		17	17		20	21	22	23	24	23
Шатура - Черусти	н.д.		12	11		14	16	16	16	16	16	

## Продолжение таблицы Б.1

Напр.	Участок	Размеры движения пригородных электропоездов, пар поездов в сутки рабочего дня										
		1970	1980	1990	1996	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2022
Павелецкое	Москва - Бирюлёво			138			115	108	123	127	141	147
	Москва - Бирюлёво (без учета аэроэкспресса)			138			85	78	86	90	104	110
	Бирюлёво - Домодедово			131			102	102	110	113	127	130
	Домодедово - Барыбино			68			44	42	45	45	48	46
	Барыбино - Михнево			53			36	37	36	38	38	37
	Михнево - Ступино			45			27	29	33	34	35	34
	Ступино - Ожерелье			37			23	26	28	30	31	30
	Ожерелье - Узуново			2			8	8	8	9	9	9
	Домодедово - Аэропорт			29			43	43	50	55	64	57
Курское	Москва-Бел - Ржевская		41	34		10	16	17	19	21	0	0
	Ржевская - Каланчёвская		92	77		40	45	46	68	70	133	142
	Москва - Царицыно		140	125		92	90	85	92	91	140	149
	Царицыно - Щербинка		110	94		84	70	77	84	104	181	178
	Щербинка - Подольск		96	88		74	63	72	72	92	179	173
	Подольск - Львовская		58	57		48	46	51	53	57	73	71
	Львовская - Чехов		33	35		37	37	39	35	37	52	58
	Чехов - Серпухов		31	32		27	23	29	25	26	38	36
	Серпухов - Тула		16	13		12	11	9	8	10	10	11
Киевское	Москва - Солнечная			112	78		87	86	127	139	145	124
	Москва - Солнечная (без учета аэроэкспресса)			112	78		74	68	106	114	120	106
	Солнечная - Лесной Городок			90	69		79	81	107	117	123	114
	Солнечная - Новопеределкино	-	-	-	-	-	-	-	14	20	21	52
	Лесной Городок - Апрелевка			80	64		61	58	74	75	82	79
	Лесной Городок - Аэропорт (старая платф.)			1	-	-	13	18	24	29	30	22
	Аэропорт (старая платф.) - Аэропорт Внуково	-	-	-	-	-	13	18	21	25	25	18
	Апрелевка - Нара			47	50		47	47	52	51	51	54
	Нара - Малоярославец			24	29		24	25	16	15	21	20
	Малоярославец - Калуга			9	9		12	12	12	10	15	14
Белорусское	Москва - Кунцево		135	131			93	96	98	135	221	190
	Кунцево - Усово		17	18			11	11	11	15	19	19
	Кунцево - Одинцово		118	113			82	85	93	120	202	171
	Одинцово - Голицыно		84	77			67	72	73	80	90	86
	Голицыно - Звенигород		н.д.	н.д.			11	15	15	15	16	17
	Голицыно - Кубинка		42	40			33	28	38	40	47	45
	Кубинка - Дорохово		23	24			23	22	23	23	31	32
	Дорохово - Можайск		23	24			23	22	23	22	25	26
	Можайск - Бородино		7	12			12	12	12	20	19	17
	Бородино - Гагарин		3	4			8	8	8	7	7	7

## Продолжение таблицы Б.1

Напр.	Участок	Размеры движения пригородных электропоездов, пар поездов в сутки рабочего дня										
		1970	1980	1990	1996	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2022
Рижское	Ржевская - Дмитровская		51	43		30	29	29	49	49	133	142
	Москва - Стрешнево			106			77	76	99	88	148	154
	Стрешнево - Нахабино			106			77	76	99	88	160	164
	Нахабино - Дедовск			87			59	51	64	58	56	56
	Дедовск - Новоиерусалимская			70			47	42	53	46	49	48
	Новоиерусалимская - Румянцево			36			24	24	25	25	32	33
	Румянцево - Волоколамск			21			19	19	19	19	20	23
	Волоколамск - Шаховская			4			5	5	7	7	7	7
	Нахабино - Павловская Слобода			21	4	-	-	-	-	-	-	-
Ленинградское	Москва - Крюково			117	70	82	68	72	83	129	136	141
	Крюково - Подсолнечная			57	48	52	39	43	46	59	60	60
	Подсолнечная - Клин			46	38	43	32	37	40	52	52	53
	Клин - Решетниково			25	19	21	27	23	27	33	33	33
	Решетниково - Тверь (Калинин)			19	12	14	17	15	18	24	24	24
	Решетниково - Конаково ГРЭС			8	7	8	8	9	9	9	9	9
Савёловское	Москва-Бел - Москва-Сав	-		31			18	21	30	38	176	84
	Москва - Шереметьевская	98		111			89	115	141	140	198	184
	Москва - Шереметьевская (без учета аэроэкспресса)	98		111			89	88	101	101	159	150
	Шереметьевская - Аэропорт Шереметьево	-		-			-	27	40	39	39	34
	Шереметьевская - Лобня	98		111			89	88	101	101	159	150
	Лобня - Икша	63		73			56	57	59	59	73	75
	Икша - Дмитров	40		48			42	42	43	43	52	52
	Дмитров - Вербилки	6		24			22	25	26	23	27	25
	Вербилки - Большая Волга	5		15			10	10	11	13	14	13
	Большая Волга - Дубна	5		15			10	10	11	12	11	9
	Вербилки - Талдом	3		8			11	11	11	12	12	11
Талдом - Савёлово	3		8			9	9	9	9	9	9	

Таблица Б.2 – Сравнение размеров движения пригородных электропоездов по участкам Санкт-Петербургского железнодорожного узла в 1989 и 2019 гг.

Напр.	Участок	Размеры движения в раб. дни, пар/сутки	
		1989	2019
Северное Полукольцо	Ланская - Кушелевка	-	-
	Ручьи - Полуострово	-	-
	Пискарёвка - Полуострово	-	-
	Полуострово - Дача Долгорукова - Броневая	-	-
Балтийское	Санкт-Петербург-Балт - Лигово	110	48
	Лигово - Красное Село	42	16
	Красное Село - Гатчина-Пасс-Балт	37	16
	Гатчина-Пасс-Балт - Гатчина-Варш	2	2
	Лигово - Ораниенбаум	78	32
	Ораниенбаум - Лебяжье	18	11
	Лебяжье - Калище	15	9
Лебяжье - Краснофлотск	3	-	
Варшавское	Санкт-Петербург-Балт (Ленинград- Варш) - Броневая	38	24
	Броневая - Предпортовая	38	24
	Предпортовая - Гатчина-Варш	38	24
	Гатчина-Варш - Сиверская	36	24
	Сиверская - Мшинская	18	14
	Сиверская - Луга	18	14
	Предпортовая - Пулково	-	-
Пулково - Лигово	-	-	
Витебское	Санкт-Петербург-Вит - Павловск	80	50
	Павловск - Новолисино	13	11
	Павловск - Вырица	33	25
	Вырица - Посёлок	29	18
	Вырица - Чолово	4	7
	Чолово - Оредеж	5	7
Новолисино - Рогавка		2	
Московское	Санкт-Петербург-Гл - Обухово	83	47
	Обухово - Тосно	47	30
	Тосно - Шапки	15	2
	Тосно - Любань	26	18
	Любань - Чудово	11	6
	Чудово - Великий Новгород	-	3
Чудово - Малая Вишера	9	4	
Северное	Обухово - Пелла	44	18
	Пелла - Горы	44	18
	Горы - Мга	45	28
	Мга - Войбокало	17	10
	Войбокало - Волховстрой	9	10
	Мга - Кириши	10	5
	Кириши - Будогощь	10	5
	Мга - Невдубстрой	11	5
Дача Долгорукова - Заневский Пост - Горы *	5	10	

## Продолжение таблицы Б.2

Напр.	Участок	Размеры движения в раб. дни, пар/сутки	
		1989	2019
Приновское	Санкт-Петербург-Финл - Кушелевка	99	53
	Кушелевка - Пискарёвка	99	53
	Пискарёвка - Мельничный Ручей	58	32
	Мельничный Ручей - Невская Дубровка	32	11
	Мельничный Ручей - Ладожское Озеро	17	11
Приозерское	Пискарёвка - Ручьи	41	21
	Ручьи - Девятикино	41	21
	Девятикино - Токсово	55	27
	Токсово - Васкелово	53	27
	Васкелово - Сосново	48	20
	Сосново - Лосево	11	8
	Лосево - Приозерск	11	8
	Приозерск - Кузнечное	11	8
	Лосево - Каменногорск		
Каменногорск - Выборг		2	
Выборгское	Санкт-Петербург-Финл - Левашово	81	33
	Левашово - Зеленогорск	81	33
	Зеленогорск - Рошино	47	24
	Рошино - Канельярви	16	21
	Канельярви - Выборг	11	17
	Зеленогорск - Приморск	4	2
	Левашово - Сертолово		
Сестр.	Ланская (Санкт-Петербург-Финл) - Сестрорецк - Белоостров	38	23
Остальной узел	Волховстрой-1 - Тихвин		4
	Тихвин - Пикалёво		3
	Пикалёво - Бабаево		1
	Волховстрой-1 - Свирь		2
	Волховстрой-1 - Кириши		2
	Кириши - Чудово		1
	Мга - Гатчина-Пасс-Балт		
	Кузнечное - Хийтола		2
	Каменногорск - Хийтола		2
	Выборг - Высоцк		
* - в 1989 г движение электропоездов осуществлялось по маршруту Ржевка - Горы			
<b>Итого, по вокзалам</b>		<b>534</b>	<b>288</b>

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Подходы к расчету показателей, характеризующих качество расписания движения пригородных электропоездов

### ***Время ожидания и пассажиро-часы ожидания***

Время ожидания пригородного электропоезда – показатель, характеризующий время, затрачиваемое пассажиром на ожидание пригородного электропоезда на остановочном пункте. Данный показатель является частью общего времени поездки в ПЭП, наряду со временем нахождения пассажира в движении и временем совершения вынужденных пересадок. Размерностью времени ожидания являются пассажиро-часы.

Время ожидания зависит от параметров расписания движения: применяемых межпоездных интервалов, равномерности прокладки ПЭП и т.п. Суммарные суточные значения пассажиро-часов ожидания показывают совокупное время ожидания всех пассажиров на всех остановочных пунктах в ожидании ПЭП. Обеспечение снижения данного показателя является приоритетом при проектировании графика движения поездов.

Пассажиро-часы ожидания могут определяться для каждого остановочного пункта, пригородной зоны или направления в целом, а также на сутки, период, час или для каждого конкретного поезда. Совокупным значением пассажиро-часов ожидания является сумма отдельных значений времени ожидания каждого пассажира на все ПЭП на каждом остановочном пункте:

$$AT_{\text{ож}} = \sum_{i=1}^A at_{\text{ож}i} = at_{\text{ож}1} + at_{\text{ож}2} + \dots + at_{\text{ож}A} \quad (\text{В. 1})$$

где  $AT_{\text{ож}}$  – суммарные суточные пассажиро-часы ожидания на рассматриваемом полигоне, пасс-час;

$at_{\text{ож}i}$  – время ожидания пассажиром пригородного электропоезда на остановочном пункте, пасс-час;

$A$  – пассажиропоток на рассматриваемом полигоне.

При расчете времени ожидания пассажиров необходимо учитывать, что время ожидания может быть активное и пассивное:

- **активное** – время ожидания, при котором пассажир находится непосредственно на пассажирской платформе остановочного пункта;
- **пассивное** – время ожидания, при котором потенциальный пассажир находится в непосредственной близости у остановочного пункта, либо дома, подгадывая время прихода на остановочный пункт непосредственно ко времени отправления ПЭП. Пассивное ожидание не означает, что пассажир в этот момент ничем не занят, находясь в ожидании. В процессе пассивного ожидания пассажир может находиться дома, в предприятиях общественного питания, помещениях торгово-развлекательных комплексов, либо просто прогуливаясь в скверах рядом с пассажирскими платформами, но при этом в случае возникновения возможности отправиться раньше, изменил бы свои планы.

Пассажиры-часы ожидания в проектных графиках движения могут быть определены через интенсивность зарождения пассажиропотока на остановочном пункте. **Интенсивность зарождения пассажиропотока** характеризует интенсивность поступления пассажиров в режим ожидания ПЭП. Необходимо разделять интенсивность накопления и **интенсивность проходов через турникеты**, учитывающую только пассажиров, находящихся в активном ожидании. Интенсивность прохода не равномерная величина и увеличивается перед моментом прибытия ПЭП на остановочный пункт. Интенсивность прохода может быть равномерной на участках с интенсивным движением ПЭП, при котором транспортное поведение естественно, и пассажиры не подстраиваются под расписание их движения и уверены в надежности работы транспортного комплекса. В отличие от интенсивности проходов интенсивность зарождения равномерна в течении незначительного периода суток, так как в ней учитывается также пассивное ожидание пассажиров. Неравномерность интенсивности зарождения пассажиропотока в

течении суток аналогична суточной неравномерности пассажиропотока (ранее это было отражено в разделе 1.3, рисунок 1.8).

Величина интенсивности зарождения пассажиропотока уникальна для каждого остановочного пункта и зависит от множества параметров: население в зоне тяготения, автомобилизация, развитость конкурирующего общественного транспорта. Наибольшее влияние на интенсивность зарождения оказывает период суток, день недели, сезон. Наибольшая интенсивность наблюдается в утренние пиковые периоды по направлению к центру агломерации. Вечерний пиковый период растянут на более продолжительный срок, поэтому менее интенсивен. Интенсивность зарождения пассажиропотока на остановочном пункте различается по направлению движения, категории тарифа и, в случае применения непараллельного графика, отдельно выделяется интенсивность накопления, определяемая для пропускаемых (проследуемых ПЭП без остановки) остановочных пунктов.

Интенсивность зарождения пассажиропотока не равномерна в течении суток, но условно ее можно принять равномерной для непродолжительного периода суток и определять по формуле:

$$I_{\text{зар}}^{i,t,k,d,r} = \frac{A_{i,t,k,d,r}}{T_t} \quad (\text{В. 2})$$

где  $I_{\text{зар}}^{i,t,k,d,r}$  – интенсивность зарождения пассажиропотока на  $i$  остановочном пункте, в период суток  $t$ , по направлению движения  $k$ , для  $d$  категории тарифа, для набора остановочных пунктов  $r$ , пасс/час;

$i$  – рассматриваемый остановочный пункт;

$t$  – рассматриваемый период времени;

$k$  – направление движения;

$d$  – категория тарифа;

$r$  – набор остановочных пунктов (зависит от режима остановок);

$A_{i,t,k,d,r}$  – пассажиропоток на  $i$  остановочном пункте в период суток  $t$  по направлению движения  $k$ , для  $d$  категории тарифа, для набора остановочных пунктов  $r$ , пасс;

$T_t$  – продолжительность периода суток  $t$ , час.

Исходя из возможности учета времени активного ожидания с помощью данных с валидации по турникетам и неравномерности накопления пассажиров, сгущающихся ко времени отправления пригородного электропоезда, минимально возможный период определения интенсивности накопления составляет период между отправлениями пригородных электропоездов со станции. Максимально допустимый период для определения интенсивности зарождения пассажиропотока не должен превышать одного часа.

Показатель интенсивности должен быть определен исходя из существующих фактических значений и при определении качества расписания движения проектных графиков движения должен задаваться как исходное значение. В решении рассматриваемой задачи определения качества расписания движения показатель интенсивности накопления условно можно устанавливать на часовой период.

Определение пассажиро-часов ожидания ПЭП на остановочном пункте с помощью интенсивности зарождения пассажиропотока можно определить по формуле:

$$at_{ож}^{i,j} = \frac{A_i^j \cdot T_{инт}^{j-1,j}}{2} \quad (B.3)$$

где  $at_{ож}^j$  – пассажиро-часы ожидания  $j$  пригородного электропоезда на  $i$  остановочном пункте, пасс-час;

$T_{инт}^{j-1,j}$  – интервал между последовательно следующими пригородными электропоездами  $j-1$  и  $j$ , час;

$A_i^j$  – количество пассажиров, садящихся на  $i$  остановочном пункте, на  $j$  пригородный электропоезд, пасс.

С учетом формулы В.2  $A_i^j$  можно определить следующим образом:

$$A_i^j = I_{\text{зар}}^{i,t,k,d,r} \cdot T_{\text{инт}}^{j-1,j} \quad (\text{В. 4})$$

Исходя из этого получаем следующую формулу пассажиро-часов ожидания пригородного электропоезда:

$$at_{\text{ож}}^{i,j} = \frac{I_{\text{нак}}^{i,t,k,d,r} \cdot (T_{\text{инт}}^{j-1,j,r})^2}{2} \quad (\text{В. 5})$$

При равномерной интенсивности зарождения пассажиропотока минимизация пассажиро-часов будет достигаться за счет равномерной прокладки ниток графика пригородных электропоездов. При построении графика движения электропоездов целевая функция должна быть направлена на минимизацию суммарных пассажиро-часов ожидания пассажиров.

Подход с расчетом пасс-часов ожидания сопряжен с значительным количеством вычислений, а также необходимостью определения интенсивности зарождения пассажиропотока. Кроме того. Такой подход не учитывает, что величина пассажиропотока зависит от обеспечиваемых межпоездных интервалов. Альтернативным подходом к оценке равномерности движения пригородных поездов в графике движения является расчет *математического ожидания* и *среднеквадратичного отклонения* обеспечиваемых графиком движения межпоездных интервалов для основных корреспонденций пассажиропотока для пикового и непикового периода суток. Общим показателем, оценивающим обеспечение равномерности движения пригородных поездов в графике движения, может являться *коэффициент вариации* межпоездного интервала движения для основных корреспонденций в пиковые и непиковые периоды суток.

### ***Время в движении (пассажиро-часы движения)***

Время в пути – показатель, характеризующий время, затрачиваемое пассажиром непосредственно на передвижение. Данный показатель является частью общего времени поездки, наряду со временем ожидания и совершении пересадок. Размерностью являются пассажиро-часы.

Время в пути зависит от выбора способа прокладки ниток ПЭП на графике движения (параллельный, не параллельный), набора остановочных пунктов, обслуживаемых пригородными электропоездами разных зон. Суммарные суточные значения пассажиро-часов в движении показывают совокупное время в движении всех пассажиров. Обеспечение снижения данного показателя является одним из приоритетов при проектировании графика движения поездов.

Пассажиро-часы в движении могут определяться для пригородного направления в целом за сутки, определённый период, час или для каждого конкретного электропоезда. Совокупными пассажиро-часами в движении является сумма отдельных значений пассажиро-часов в движении каждого пассажира:

$$AT_{\text{движ}} = \sum_{i=1}^A at_{\text{движ}_i} = at_{\text{движ}_1} + at_{\text{движ}_2} + \dots + at_{\text{движ}_A} \quad (\text{В.6})$$

где  $AT_{\text{движ}}$  - суммарные суточные пассажиро-часы в движении на рассматриваемом полигоне, пасс-час;

$at_{\text{движ}_i}$  - время ожидания пассажиром пригородного поезда на остановочном пункте, пасс-час;

$A$  – пассажиропоток на рассматриваемом полигоне, пасс.

Пассажиро-часы в движении для конкретного пригородного электропоезда определяются как произведение населения на каждом перегоне и времени в движении по данному перегону. На рисунке В.1 показана населенность  $j$  пригородного электропоезда на перегонах в пути следования.

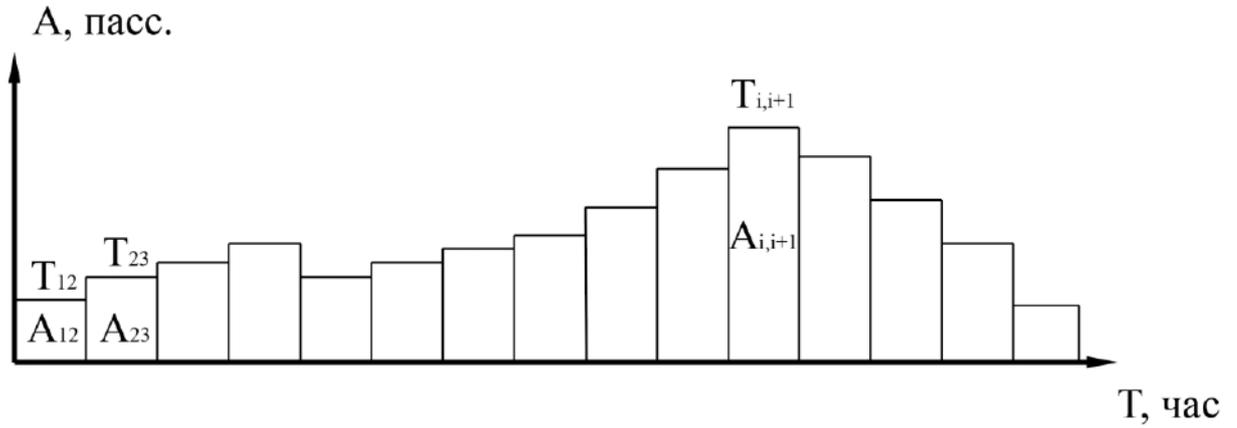


Рисунок В.1 – Населенность  $j$  пригородного электропоезда по ходу движения

Пассажиро-часы ПЭП будут определяться по формуле:

$$at_{\text{движ}}^j = \sum_{i=1}^n A_{i,i+1}^j \cdot T_{i,i+1}^j \quad (\text{В.7})$$

где  $at_{\text{движ}}^j$  – пассажиро-часы в движении для  $j$  пригородного электропоезда, пасс-час;

$A_{i,i+1}^j$  – населенность  $j$  пригородного электропоезда на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , пасс.;

$T_{i,i+1}^j$  – время движения  $j$  пригородного электропоезда на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , час.

Определение суммарных суточных пассажиро-часов в движении для каждого пригородного электропоезда в масштабах пригородного направления трудоемкая задача. Для упрощения подсчета данного показателя на участках с параллельной прокладкой пригородных электропоездов определение суммарных пассажиро-часов в движении на каждом перегоне может выполняться через произведение густоты пассажиропотока на перегонах рассматриваемого участка и времени следования по данному перегону:

$$at_{\text{движ}}^{i,i+1} = A_{i,i+1} \cdot T_{i,i+1} \quad (\text{В.8})$$

где  $at_{\text{движ}}^{i,i+1}$  – суточные пассажиро-часы в движении на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , пасс-час;

$A_{i,i+1}$  – суточная плотность пассажиропотока на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , пасс.;

$T_{i,i+1}$  – время движения пригородных электропоездов на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , час.

На участках с непараллельным графиком суммарные суточные пассажиро-часы в движении на перегоне могут быть определены отдельно для каждой категории ПЭП (с разным режимом остановок). Например, для ПЭП, следующих без остановок, со всеми остановками или с определенным набором остановок. В данном случае формула примет вид:

$$at_{\text{движ}}^{i,i+1} = \sum_{r=1}^m A_{i,i+1}^r \cdot T_{i,i+1}^r \quad (\text{В. 9})$$

$A_{i,i+1}^r$  – суммарные суточные пассажиро-часы в движении на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , следующие с режимом остановок  $r$ , пасс.;

$T_{i,i+1}^r$  – время следования пригородных электропоездов на перегоне между остановочными пунктами  $i, i + 1$ , следующих с  $r$  режимом остановок, час.

На практике снижение пассажиро-часов в движении обеспечивается прокладкой в ГДПЭП с пропуском части остановок в пути следования. Так, дальнепригородные электропоезда обслуживают только свою пригородную зону, а далее следуют с пропуском большинства остановок за исключением крупнейших пассажиро-генерирующих станций.

Следствием пропуска части остановок являются увеличение скоростей движения пригородных электропоездов, но в таком случае увеличивается время ожидания для пассажиров с пропускаемых остановочных пунктов. Также при полной систематизации режима остановок пригородных электропоездов, при которой ПЭП определенных зон следуют с одинаковым режимом остановок в течении суток, могут нарушаться беспересадочные маршруты следования для межзонных корреспонденций, создавая

потребность в вынужденных пересадках пассажиров. Выбор режима остановок пригородных электропоездов должен осуществляться на основании сравнения суммарных пассажиро-часов в движении, ожидании и при пересадках.

Вторым подходом к оценке скорости движения пригородных поездов в графике движения является расчет *средней скорости сообщения*, которая должна рассчитываться для основных корреспонденций пассажиропотока.

### ***Время на пересадку пассажиров (пассажиро-часы пересадок)***

Время, затрачиваемое на совершение пересадки – показатель, характеризующий время, затрачиваемое пассажирами на совершение пересадки между различными маршрутами или видами общественного транспорта. Вынужденные пересадки пассажиров могут возникать в случаях применения зонного непараллельного графика движения пригородных электропоездов между межзонными корреспонденциями, а также в случае создания искусственных границ обращения пригородных электропоездов.

Время вынужденной пересадки является частью общего времени поездки, наряду со временем в движении и ожидании. Размерностью времени пересадки также являются пассажиро-часы. Время и комфорт пересадки учитывается пассажиром и влияет на выбор маршрута следования. Суммарные суточные значения пассажиро-часов на пересадки показывают совокупное время на совершение вынужденных пересадок всех пассажиров. Обеспечение снижения данного показателя является одним из приоритетов при проектировании ГДПЭП.

При рассмотрении вопросов, связанных с методикой оценки ГДПЭП, зачастую рассматриваются только отдельные пригородные направления. В таком случае организация согласованности расписания не могут быть оценена в рамках рассмотрения только одного направления.

Применение классического непараллельного графика способствует оптимизации суммарных пассажиро-часов в движении, повышает

привлекательность пригородных перевозок в целом, но также приводит к нарушению прямого сообщения для ряда межзонных корреспонденций.

Учет времени пересадки должен происходить через учет суммы вынужденных пересадок всех пассажиров. Пассажиро-часы времени пересадок определяются как произведение количества пассажиров, совершающих вынужденную пересадку, и времени, затрачиваемое ими на пересадку:

$$at_{\text{пер}}^{i,j} = \sum_{i,j} A_{\text{пер}_i}^j \cdot T_{\text{пер}_i}^j \quad (\text{B. 10})$$

где  $A_{\text{пер}_i}^j$  – количество пассажиров, совершающих пересадку на остановочном пункте  $i$ , с пригородного поезда  $j$ , пасс;

$T_{\text{пер}_i}^j$  – время пересадки пассажиров, совершающих на остановочном пункте  $i$ , с пригородного поезда  $j$ , час;

$at_{\text{пер}}^{i,j}$  – пассажиро-часы ожидания пересадок на остановочном пункте  $i$ , с пригородного поезда  $j$ , пасс-час.

### ***Населенность пригородных электропоездов***

Населенность пригородных электропоездов – показатель, характеризующий фактическое количество пассажиров в составе пригородного электропоезда в каждый момент времени. Может выражаться как в абсолютных, так и в относительных значениях. В относительных значениях определяется относительно вместимости ПЭП. В свою очередь вместимость пригородного электропоезда может определяться либо количеством посадочных мест, либо с учетом стоящих пассажиров с заданием параметра комфортного размещения (3, 5 или 7 пасс/м<sup>2</sup>).

Учет фактической населенности пригородного электропоезда также, как и время ожидания может осуществляться с помощью данных о валидации по турникетам. При валидации учитывается информация о станции валидации, станции назначения и времени валидации, с помощью которого можно определить в каком пригородном электропоезде пассажир совершит поездку.

Посредством использования данных с турникетов можно в режиме онлайн определять загрузку пригородных поездов. Формула для расчета фактической населенности выглядит следующим образом:

$$A_{i,i+1}^j = A_{i-1,i}^j + A_{\text{пос}}^{i,j} - A_{\text{вых}}^{i,j} \quad (\text{В. 11})$$

$A_{i,i+1}^j$  – населенность ПЭП  $j$  на перегоне  $i - i+1$ , пасс;

$i$  – остановочный пункт, с которого отправился ПЭП;

$i + 1$  – остановочный пункт, на который следует ПЭП;

$A_{i-1,i}^j$  – населенность ПЭП  $j$  на перегоне  $i-1 - i$ , пасс;

$A_{\text{пос}}^{i,j}$  – количество пассажиров, садящихся на остановочном пункте  $i$ , на  $j$  пригородный электропоезд, пасс;

$A_{\text{вых}}^{i,j}$  – количество пассажиров, выходящих на остановочном пункте  $i$ , с  $j$  пригородного электропоезда, пасс.

Определение населенности ПЭП в проектных графиках движения должно происходить с помощью моделирования распределения пассажиров между пригородными электропоездами. При оценке графиков движения поездов должно учитываться ограничение в предельно допустимой населённости ПЭП, не превышающего его вместимости.

Для различных участков пригородных направлений могут быть установлены различные значения допустимой населенности пригородных электропоездов. Так, например, на дальнепригородных зонах, на которых преимущественно следуют пассажиры, совершающие длительные поездки, населенность не должна превышать количество посадочных мест, а для головных участков (первой пригородной зоны), на которых велика доля пассажиров, совершающих краткосрочные поездки, предельная допустимая населенность может определяться с учетом стоящих пассажиров.

### ***Надежность графика движения и наличие резервов***

Надёжность графика движения является важнейшим параметром работы системы массового обслуживания, которой является сервис пригородных, пригородно-городских и внутригородских пассажирских перевозок.

Надежность графика движения, несомненно, играет огромную роль в общем восприятии всей системы организации пригородных перевозок. Сбои в движении ПЭП приводят к несоблюдению расписания движения, их задержкам и отменам. Нарушения в работе происходящие в пиковые периоды движения поездов приводят к их значительной перенаселенности. Обеспечение высокого уровня надежности и безотказности работы системы пригородных перевозок – фундаментальная задача графика движения поездов.

Основными причинами сбоев в движении ПЭП являются:

- человеческий фактор (несоблюдение нормативного времени на посадку-высадку пассажиров, по причине неестественного поведения; травматизм на железнодорожном транспорте);
- технические отказы подвижного состава, инфраструктуры;
- ошибки диспетчерского персонала, локомотивных бригад (не выдержка времени хода, несвоевременное приготовление маршрута и т.д.);
- чрезвычайные ситуации на железнодорожном транспорте (аварии, крушения, террористические акты и т.д.).

С целью минимизации нарушений и сбоев в работе пригородно-городского пассажирского сервиса в условиях интенсивного движения ПЭП должен быть разработан и утвержден комплекс технологических мероприятий, повышающих надежность функционирования системы.

Одним из важнейших инструментов обеспечения надежности и безотказности работы является формирование резервов в графике движения поездов. Формирование резервов в графике движения на участках с интенсивным движением ПЭП может достигаться двумя способами:

- обеспечением резервов в межпоездном интервале (пропускной способности), выражающееся в увеличении применяемого межпоездного интервала между пригородными электропоездами на направлении;
- обеспечением резервов во времени движения электропоезда, выражающееся в затягивании (увеличении времени его хода).

В условиях высокой пассажиро-напряжённости пригородных направлений и интенсификации размеров движения пригородных электропоездов на головных участках крупных транспортных узлов (например, в ЦТУ) применение увеличенного межпоездного интервала в пиковые периоды приведет к снижению пропускной способности, что негативно скажется на населенности пригородных электропоездов. Поэтому обеспечение резервов за счет увеличения межпоездного интервала на участках с высоким пассажиропотоком нежелательно.

### *Эффективность использования подвижного состава*

При разработке ГДПЭП также разрабатывается график их оборота. Задача построения графика оборота составов ПЭП состоит в увязке «ниток» ГДПЭП в единый график оборота, представляющий собой замкнутый контур маршрутов с минимальным числом используемых составов с учетом периодичности проведения осмотров и ремонтов моторвагонного подвижного состава в соответствии с планово-предупредительной системой ремонта.

Составы пригородных электропоездов при выполнении процесса пригородных перевозок могут находиться под следующими операциями:

- в движении;
- под оборотом на зонных станциях;
- в дневном (ночном) отстое;
- под проведением планово-предупредительных осмотров и ремонтов.

Ниже приведена формула определения требуемого количества составов пригородных электропоездов, необходимых для обеспечения графика их движения через определение суммарных значений времени нахождения под перечисленными выше операциями.

$$N_{\text{сост}} = \frac{\sum T_{\text{движ}}^{i,j} + \sum T_{\text{оборота}}^{i,j} + \sum T_{\text{отстой}}^{i,j} + \sum T_{\text{ппро}}^{i,j}}{24} \quad (\text{В. 12})$$

$\sum T_{\text{движ}}^{i,j}$  – суммарное время нахождения составов ПЭП в движении, час;

$\sum T_{\text{оборота}}^{i,j}$  – суммарное время нахождения составов пригородных электропоездов под оборотом на зонных станциях, час;

$\sum T_{\text{отстой}}^{i,j}$  – суммарное время нахождения составов пригородных электропоездов в ночном и межпиковом отстое, час;

$\sum T_{\text{ппро}}^{i,j}$  – суммарное время нахождения составов ПЭП в депо под проведением планово-предупредительных ремонтов и осмотров, час;

$N_{\text{сост}}$  – требуемое количество составов пригородных электропоездов для обеспечения графика движения поездов, составов.

От конкретного ГДПЭП зависит сколько составов пригородных электропоездов потребуется для обеспечения заданного объема перевозок. Непроизводительные простои составов пригородных электропоездов возникают при превышении нормативного времени оборота пригородных электропоездов на зонных станциях. Проектировщик графика («графист») должен учитывать специфику процесса оборота и отстоя составов пригородных электропоездов и проектировать ГДПЭП с учетом требований эффективного использования перевозочных ресурсов.

Время оборота составов пригородных электропоездов на зонных станциях регламентировано и превышение нормативного времени оборота приводит к возникновению непроизводительных простоев в ожидании нитки графика, которые могут быть определены по формуле:

$$T_{\text{прост}}^{i,j} = (T_{\text{оборота}}^{i,j} - T_{\text{норм}}^i) \quad (\text{В. 13})$$

$T_{\text{прост}}^{i,j}$  – время простоя пригородного электропоезда  $j$  в ожидании нитки графика на зонной станции  $i$ , час;

$T_{\text{оборота}}^{i,j}$  – время оборота ПЭП  $j$  на зонной станции  $i$ , час;

$T_{\text{норм}}^i$  – нормативное время оборота ПЭП на зонной станции  $i$ , час;

Превышение нормативного времени оборота пригородных электропоездов в ГДПЭП в пиковые периоды может привести к увеличению требуемого количества составов, необходимого для выполнения графика

движения поездов. Превышение нормативного времени оборота ПЭП в графике движения поездов в непиковые периоды не приводит к увеличению необходимого количества составов в обороте, но может являться следствием увеличения необходимо количества составов пригородных электропоездов, требуемых для выполнения графика движения поездов в непиковый период.

Оценка эффективности использования составов пригородных электропоездов может происходить несколькими методами и зависит в том числе и от условий владения подвижным составом. В сложившейся практике можно выделить следующие способы владения: собственный подвижной состав пригородного пассажирского перевозчика (купленный или взятый в лизинг) или арендованный у владельца инфраструктуры.

Пригородные пассажирские перевозчики, арендующие подвижной состав у владельца инфраструктуры, в соответствии с утвержденной методикой расчета ставок платы за услуги по аренде железнодорожного подвижного состава, управлению им, его эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту, рассчитываются за аренду составов по следующим элементам ставок:

- управление и эксплуатация (руб./поездо-час);
- текущий ремонт (руб./ваг-км);
- техническое обслуживание (руб./ваг-км);
- капитальный ремонт (руб./ваг-км);
- плата за пользование (руб./ваг-год).

Элемент ставки «Управление и эксплуатация» включает в себя затраты владельца инфраструктуры на работу локомотивных бригад и определяется через показатели работы поездо-часов в движении. Элементы ставки «Текущий ремонт», «Техническое обслуживание» и «Капитальный ремонт» включают затраты на ремонт вагонов и определяются через показатель ваг-км работы. «Плата за пользование» учитывает амортизацию подвижного состава и зависит от необходимого количества составов ПЭП, необходимых для обеспечения графика.

ПШК, как арендующая, так и владеющая подвижным составом заинтересована в обеспечении требуемых размеров движения ПЭП наименьшим количеством составов, поэтому не заинтересована в непроизводительных простоях составов ПЭП в пиковые периоды. Оценка требуемого количества составов необходимого для обеспечения графика движения ПЭП без построения графика оборота затруднительна.

Существует прямая зависимость между временем простоя составов ПЭП на зонных станциях в пиковый период и требуемым количеством составов ПЭП. На рисунке В.2 приведен пример построения графика движения пригородных электропоездов с учетом его оборота на зонных станциях «1» и «2» строго по нормативному времени оборота 10 минут, а на рисунке В.3 без учета нормативного времени оборота. При этом суммарное время простоев на зонных станциях в ожидании нитки графика во втором варианте составляет один час, что означает: для обеспечения графика движения пригородных электропоездов требуется на один состав больше.

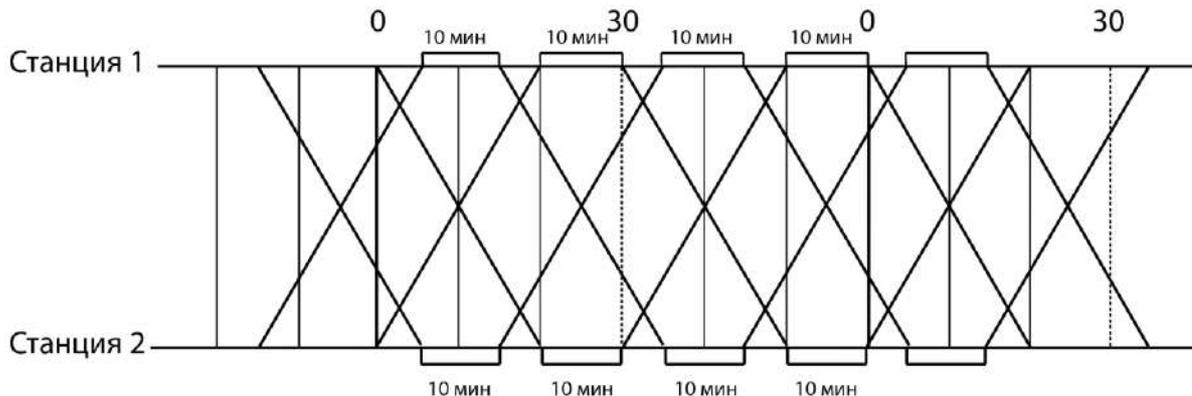


Рисунок В.2 – График движения пригородных электропоездов с подвязками по зонным станциям при построении с учетом времени оборота

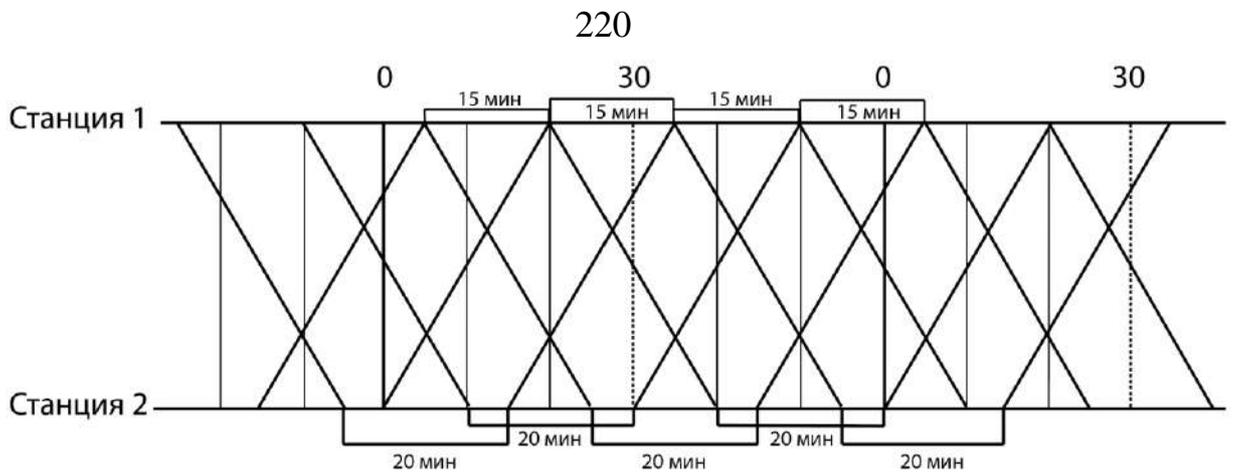


Рисунок В.3 – График движения пригородных электропоездов с подвязками по зонным станциям при построении без учета времени оборота

Определение увеличения количества составов пригородных электропоездов, вызванного простоями на станциях оборота за период пикового периода максимальных перевозок можно определить по формуле:

$$N_{\text{сост}}^{\text{прост}} = \frac{\sum_{i=1}^n NT_{\text{прост}}^i}{t} \quad (\text{В. 14})$$

где  $N_{\text{сост}}^{\text{прост}}$  – требуемое количество составов пригородных электропоездов, связанное с простоями в пиковые периоды, состав;

$NT_{\text{прост}}^{i,t}$  – время простоя составов пригородных поездов на зонных станциях  $i$ , в часовой пиковый период  $t$ , поездо-час;

$n$  – количество зонных станций на участке;

$t$  – продолжительность рассматриваемого периода, час.

Продолжительность рассматриваемого пикового периода может составлять один час максимальных объемов перевозок. Для московской агломерации объем максимальных перевозок приходится на утренний час «пик» (с 8 до 9 часов) и вечерний час «пик» (с 18 до 19 часов). В рассматриваемой методике оценки качества расписания движения ПЭП рост требуемого парка составов ПЭП должен быть оценен по стоимости суточной аренды (платы за пользование), амортизации или лизинговых платежей за использование подвижного состава.

## *Эффективность использования локомотивных бригад электропоездов*

При разработке ГДПЭП и графика оборота ПЭП также разрабатывается график работы их локомотивных бригад. Локомотивная бригада отвечает за управление локомотивом и его техническое состояние в соответствии с действующими правилами и инструкциями. Началом работы локомотивной бригады считается время явки к месту постоянной работы (депо, пункт смены или оборота бригады) по графику, наряду или вызову, а окончанием работы – момент оформления маршрута машиниста после сдачи локомотива в депо или пункт оборота. Задача построения графика работы локомотивных бригад состоит в обеспечении увязок ниток графика движения поездов сменами локомотивных бригад.

Оплата труда локомотивных бригад происходит через учет рабочего времени. Превышение нормативного времени оборота пригородных электропоездов в графике движения поездов в пиковые и непиковые периоды приводит к увеличению требуемых локомотиво-бригадо-часов, необходимых для обеспечения перевозок в графике движения поездов, а следовательно, и повышению расходов на осуществление перевозочной деятельности.

ППК, владеющие подвижным составом, самостоятельно формируют локомотивные бригады и стремятся максимально эффективно их использовать. Пригородные пассажирские компании, арендующие подвижной состав, за работу локомотивных бригад платят владельцу инфраструктуры по статье «Управление и эксплуатация». И, хотя в случае аренды ставка зависит от показателя поездо-часов в движении, который не учитывает простои под оборотом, владелец инфраструктуры может управлять ставками за аренду подвижного состава, в зависимости от эффективности его использования.

Существует зависимость между ростом времени простоя пригородных электропоездов под оборотом на зонных станциях и ростом расходов на оплату труда локомотивных бригад. Суточные простои пригородных

электропоездов на зонных станциях оборота в графике движения поездов должны учитываться по формуле:

$$NT_{\text{прост}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{прост}}^i \quad (\text{В. 15})$$

$NT_{\text{прост}}$  - суммарные суточные простои пригородных электропоездов на зонных станциях в ожидании нитки графика, поездо-час;

$T_{\text{прост}}^i$  – суммарный суточных простой пригородных электропоездов на  $i$  зонной станции, поездо-час;

В рассматриваемой методике оценки качества расписания движения ПЭП суммарный суточный их простой на зонных станциях должен учитываться с учетом стоимости работы локомотивной бригады.

### ***Параметры прокладки ниток пассажирских поездов***

Разработка графика движения пригородных и пригородно-городских электропоездов в существующих условиях проходит на участках инфраструктуры общего пользования, на которых также обращаются поезда других категорий: грузовые и пассажирские. При проектировании графика движения поездов на участках с высокой интенсивностью движения пригородных электропоездов возникают сложности с организацией движения пригородных и пассажирских поездов на одной инфраструктуре.

Одной из особенностей организации движения пассажирских поездов является совпадение периодов их прибытия и отправления с пиковыми периодами прибытия и отправления на головные станции пригородного участка ПЭП. Оптимальным временем отправления классических (ночных) пассажирских поездов является временной промежуток после завершения рабочего дня, а прибытие до его начала. Для сверхдальних пассажирских поездов также необходимо соблюдать условие прохождения крупных агломераций в удобное для пассажиров время (с 7 утра до 23 вечера). Дневные скоростные поезда (Ласточки и Сапсаны) предпочтительно равномерно прокладывать в течении суток, в том числе и в пиковые периоды движения

ПЭП. Второй особенностью является разница времен хода пассажирских и пригородных поездов, которая является следствием дополнительного съема ниток ПЭП при пропуске пассажирского поезда.

Проблемы с прокладкой ниток пассажирских поездов осложняются тем фактом, что расписание движения пассажирских поездов является своего рода исходными данными при составлении ГДПЭП, так как пассажирские поезда могут проходить по участкам нескольких дорог. При этом такие пассажирские поезда имеют целевые показатели по скорости движения, а также под расписание их движения подвязана работа других подразделений железнодорожного транспорта. Кроме того, пассажирские поезда имеют более высокий приоритет прокладки согласно инструкции по разработке графика движения поездов.

Отмена и вынос пассажирского движения за пределы пиковых периодов движения ПЭП может привести к значительному ухудшению параметров качества пассажирских перевозок. Необходим поиск компромиссов при разработке графика движения поездов между пассажирским и пригородным движением. Такт пригородных электропоездов должен быть разработан с учетом выделения слотов для пропуска пассажирских поездов, учитывающий их перегонное время хода. Слоты для пропуска пассажирских поездов должны быть предусмотрены как в пиковые периоды, так и не пиковые периоды.

Встраивание пассажирских поездов в такт пригородных должно позволить обеспечить пропуск пассажирских поездов в том числе в пиковые периоды и избежать значительного замедления их времени хода. При этом необходимо указать возможные сдвиги времени отправления/прибытия пассажирских поездов от заданных изначально значений в техническом задании на разработку графика движения поездов.

Оценка ГДПЭП должна учитывать следующие параметры расписания движения пассажирских поездов:

- пропуск пассажирских поездов в соответствии с размерами движения, указанными в техническом задании;

- отправление/прибытие с/на пассажирскую станцию в соответствии со временем, указанным в техническом задании;
- пропуск пассажирских поездов в соответствии с перегонным временем хода.

Учет показателей прокладки ниток пассажирских поездов в проектной графике может происходить через учет их поездо-часов замедления относительно перегонного времени хода и учет поездо-часов смещения их времени отправления и прибытия относительно заданных значений. Техническое задание на проектирование графика движения может содержать точное необходимое время отправления пригородного поезда или период. Отклонение от заданного значения в проектных графиках предлагается учитывать через показатель поездо-часов. Приведение к другим показателем будет происходить через стоимость поездо-часа пассажирского поезда. Для пассажирских поездов различных категорий можно задавать различные значения стоимости поездо-часов.

Суммарные суточные значения сдвижек и замедления пассажирских поездов определяются по формуле:

$$NT_{\text{пасс.п.}}^{\text{ухудш}} = \sum_{j=1}^n (NT_{\text{замед}}^j + NT_{\text{сдвиж}}^j) \quad (\text{В. 16})$$

$NT^{\text{пасс}}$  – суммарные суточные показатели сдвижек времени прибытия/отправления относительно заданных значений и замедления пассажирских поездов, поездо-час;

$NT_{\text{замед}}^j$  – время замедления пассажирского поезда  $j$  относительно перегонных времен хода, поездо-час;

$NT_{\text{сдвиж}}^j$  – время сдвижек времени отправления/прибытия пассажирского поезда  $j$  относительно задаваемого техническим заданием значения, поездо-час.

Задаваемое значение времени отправления/прибытия пассажирского поезда в зависимости от условий может задаваться не точным значением, а временным диапазоном в зависимости от условий.

В рассматриваемой системе оценки качества расписания движения пригородных электропоездов суммарные суточные значения замедления и сдвижек расписания пассажирских поездов должны быть приведены к другим показателям с учетом стоимости поездо-часа пассажирского поезда.

### ***Параметры прокладки ниток грузовых поездов***

Оценка расписания движения грузовых поездов должна учитывать следующие параметры расписания движения грузовых поездов:

- пропуск грузовых поездов в соответствии размерам движения, указанными в техническом задании;
- равномерный/ритмичный пропуск грузовых поездов различных категорий (участковые, местные).

В силу специфики организации местного грузового движения учет равномерности пропуска грузовых поездов должен происходить отдельно для участковых и сборных грузовых поездов. Учет обеспечения равномерной прокладки ниток графика участковых и сквозных грузовых поездов должен осуществляться через учет времени отклонения интервала движения между попутно следующими грузовыми поездами от равномерного интервала. Значение равномерного интервала движения участковых грузовых поездов должно учитывать задаваемую допустимую неравномерность в движении грузовых поездов и рассчитываться по формуле:

$$NT_{\text{участ.}}^{\text{равн.}} = \sum_{g=1}^n \left( \left( \frac{24}{N_{\text{гр.уч.}}} \right) k_1 - I_{\text{гр.уч.}}^{g,g+1} \right) \quad (\text{В. 17})$$

где  $N_{\text{гр.уч.}}$  – размеры движения участковых поездов на рассматриваемом участке, поезд.;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий допустимую неравномерность в движении грузовых поездов (при разработке графиков движения поездов рекомендуется принимать в диапазоне 1,1-1,5 в зависимости от местных условий);

$I_{\text{гр.уч}}^{g,g+1}$  – интервал между попутно следующими участковыми грузовыми поездами, час.

Равномерность прокладки местных грузовых поездов должна учитываться отдельно по каждому местному поезднему назначению. Учет обеспечения равномерной прокладки ниток графика местных грузовых поездов осуществляется аналогично учету равномерной прокладки для участковых грузовых поездов. В рассматриваемой методике оценки качества ГДПЭП суммарные суточные отклонения от равномерности движения грузовых поездов должны приводиться к другим показателям с учетом стоимости поездо-часа грузового поезда.

***Пассажиरोоборот и освоение рынка пассажирских перевозок в сообщении пригород – город железнодорожным транспортом***

Пассажиропоток пригородного направления – количество перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном сообщении на рассматриваемом направлении. Единица измерения – пассажиров в год, пассажиров в сутки. Пассажирооборот пригородного направления – количество перевезенных пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном сообщении с учетом дальности перевозки на рассматриваемом направлении. Единица измерения – пассажиро-км в год, пассажиро-км в сутки.

Объемы перевозок пассажиров важны как для перевозчика, так и для заказчика перевозок. Для перевозчика они выражаются в росте доходов. Для заказчика перевозок рост привлекательности пассажирских перевозок в пригородном сообщении обеспечивает снижение пользования личным автотранспортом, что критично для некоторых городских агломераций. Снижение заторов на автомобильных дорогах позволяет перенаправить ресурсы с развития автодорожной инфраструктуры на другие цели.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Значения параметров аппроксимирующих функций, описывающих распределение подхода пассажиров на остановочный пункт

Таблица Г.1 – Подобранные значения параметров функции плотности гамма распределения для аппроксимации распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при условии отправления следующего электропоезда не ранее чем через 30 минут

Интервал до	A (k)	B (1/l)	k	c	Мода
7-9	2,38	3,478	1	0,55	3,8
10-10	2,05	4,857	1	0,64	4,1
11-15	2,15	5,043	1	0,64	4,8
16-20	2,1	5,727	0,5	0,76	5,8
21-25	2	5,900	1	0,89	4,9
26-30	2,07	5,794	0,5	0,95	5,7
31-40	2,25	6,160	1	1	6,7
41-50	2,55	6,774	2	1	8,5
51-60	2,85	6,757	2	1	10,5
61-90	2,4	9,643	1	1	12,5
91-120	2,85	7,838	1	1	13,5
121-1440	3,35	6,298	2	1	12,8

Таблица Г.2 – Подобранные значения параметров функции плотности логнормального распределения для аппроксимации распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при условии отправления следующего электропоезда не ранее чем через 30 минут

Интервал до	$\mu$	$\sigma$	k	c	Мода
7-9	2,2	0,586261	2,5	0,52	3,9
10-10	2,3	0,66611	2,5	0,64	3,9
11-15	2,4	0,673862	2,5	0,62	4,5
16-20	2,57	0,628688	3	0,72	5,8
21-25	2,5	0,706059	2,5	0,82	4,9
26-30	2,58	0,68983	2,5	0,85	5,7
31-40	2,75	0,728558	2,5	0,85	6,7
41-50	2,94	0,515608	6	1	8,5
51-60	3,1	0,487647	7	1	10,5
61-90	3,27	0,523706	7,5	1	12,5
91-120	3,26	0,464196	7,5	1	13,5
121-1440	3,21	0,446519	7,5	1	12,8

Таблица Г.3 – Подобранные значения параметров функции плотности логлогистического распределения для аппроксимации распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при условии отправления следующего электропоезда не ранее чем через 30 минут

Интервал до	a	b	k	c	Мода
7-9	7,5298498	2,19	1	0,53	3,8
10-10	9,8563167	1,82	1	0,55	4
11-15	10,0978562	2	1	0,59	4,83
16-20	11,4397489	2,05	1	0,7	5,8
21-25	11,2922398	1,9	1	0,78	5,1
26-30	11,9235536	1,85	0,5	0,81	5,7
31-40	14,0771786	1,75	0	0,8	6,7
41-50	15,5594615	2,1	1	0,9	8,5
51-60	17,7306062	2,23	1	0,92	10,5
61-90	21,5712129	2,15	1	0,94	12,5
91-120	20,9860580	2,4	1	0,95	13,5
121-1440	18,9463032	2,5	1	0,95	12,5

Таблица Г.4 – Подобранные значения параметров функции плотности логлогистического распределения для аппроксимации распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при условии отправления следующего электропоезда через 11-30 минут

Интервал до	a	b	k	c	Мода
5-5	8,4099863	2,25	2	0,365	3,5
6-6	8,7480433	2,05	2	0,41	3,2
7-7	7,8227695	2,05	2	0,51	2,65
8-8	8,9162749	2,05	2	0,52	3,3
9-9	8,6602540	2	2	0,57	3
10-10	10,3701766	1,95	2	0,54	3,8
11-11	10,7368837	1,9	2	0,56	3,8
12-12	11,2922398	1,9	2	0,57	4,1
13-13	11,6624772	1,9	2	0,59	4,3
14-14	10,5489728	1,95	2	0,65	3,9
15-15	11,4648664	2,1	2	0,69	5
16-20	12,2178332	1,9	2	0,65	4,6
21-25	12,5880706	1,9	2	0,75	4,8
26-30	11,4397489	2,05	2	0,85	4,8
31-40	15,1929151	1,85	2	0,8	5,9
41-50	13,8839014	1,9	2	0,9	5,5
51-60	12,7829410	2,15	2	0,95	6
61-90	16,3184654	2,05	2	0,95	7,7
91-1440	15,1379753	2,25	2	0,99	7,9

Таблица Г.5 – Подобранные значения параметров функции плотности логлогистического распределения для аппроксимации распределения подхода пассажиров на остановочный пункт при условии отправления следующего электропоезда не позднее чем через 10 минут

Интервал до	a	b	k	c	Мода
5-5	7,8808312	2	2	0,385	2,55
6-6	6,9282032	2	2	0,5	2
7-7	8,5769116	1,905	2	0,465	2,65
8-8	8,6141151	1,87	2	0,51	2,55
9-9	9,9800893	1,75	2	0,485	2,75
10-10	10,1901964	1,75	2	0,52	2,85
11-11	10,1286462	1,8	2	0,56	3,05
12-12	9,0292055	1,95	2	0,66	3,05
13-13	10,3292135	1,8	2	0,64	3,15
14-14	10,2888729	1,85	2	0,65	3,35
15-15	10,5773459	1,85	2	0,67	3,5
16-20	11,3377127	1,83	2	0,66	3,8
21-25	11,8275801	1,82	2	0,75	4
26-30	12,5926724	1,86	2	0,78	4,6
31-40	11,8793297	2,01	2	0,9	4,9
41-60	13,6569643	1,75	2	0,85	4,5
61-90	13,1025145	2,15	2	0,95	6,2
91-1440	13,2719490	2,03	2	0,94	5,8

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Охват корреспонденции пассажиропотока за определенный период времени в зависимости от воспринимаемого интервала

Таблица Д.1 – Охват корреспонденции пассажиропотока за период времени в зависимости от воспринимаемого интервала пригородным электропоездом в преимущественном направлении охвата

Воспринимаемый интервал	Межпоездной интервал											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	1,00	0,99	0,92	0,82	0,72	0,62	0,55	0,49	0,43	0,39	0,36	0,33
10	1,00	0,99	0,95	0,88	0,79	0,71	0,63	0,57	0,51	0,46	0,42	0,39
15	1,00	0,99	0,96	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,47	0,43
20	1,00	1,00	0,97	0,92	0,86	0,78	0,72	0,65	0,59	0,55	0,50	0,46
25	1,00	1,00	0,98	0,93	0,87	0,81	0,74	0,68	0,62	0,57	0,53	0,49
30	1,00	1,00	0,98	0,94	0,89	0,83	0,76	0,70	0,65	0,60	0,55	0,51
35	1,00	1,00	0,98	0,95	0,90	0,84	0,78	0,72	0,67	0,62	0,57	0,53
40	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	0,79	0,74	0,68	0,63	0,59	0,55
45	1,00	1,00	0,99	0,96	0,91	0,86	0,81	0,75	0,70	0,65	0,61	0,56
50	1,00	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76	0,71	0,66	0,62	0,58
55	1,00	1,00	0,99	0,96	0,93	0,88	0,83	0,77	0,72	0,68	0,63	0,59
60	1,00	1,00	0,99	0,97	0,93	0,88	0,83	0,78	0,73	0,69	0,64	0,60
75	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72	0,67	0,63
90	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,91	0,87	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66
105	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68
120	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,89	0,85	0,81	0,77	0,73	0,70
135	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,79	0,75	0,71
150	1,00	1,00	1,00	0,98	0,97	0,94	0,91	0,87	0,84	0,80	0,76	0,72
165	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74
180	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75

Таблица Д.2 – Охват корреспонденции пассажиропотока за период времени в зависимости от воспринимаемого интервала пригородным электропоездом в второстепенном направлении охвата

Воспринимаемый интервал	Межпоездной интервал											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	0,00	0,01	0,05	0,10	0,14	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15	0,14
10	0,00	0,00	0,03	0,07	0,10	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15
15	0,00	0,00	0,02	0,05	0,08	0,11	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16
20	0,00	0,00	0,02	0,04	0,07	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
25	0,00	0,00	0,01	0,04	0,06	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16
30	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,08	0,11	0,12	0,14	0,15	0,15	0,15
35	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15
40	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,14	0,15
45	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
50	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,14
55	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14
60	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14
75	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13
90	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
105	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,10	0,11	0,12
120	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11
135	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11
150	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10
165	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10
180	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09

Таблица Д.3 – Суммарный охват корреспонденции пассажиропотока за период времени в зависимости от воспринимаемого интервала

Воспринимаемый интервал	Межпоездной интервал											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,78	0,72	0,65	0,60	0,55	0,51	0,47
10	1,00	1,00	0,98	0,94	0,90	0,84	0,78	0,73	0,67	0,63	0,58	0,54
15	1,00	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	0,82	0,76	0,72	0,67	0,63	0,59
20	1,00	1,00	0,99	0,96	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74	0,70	0,66	0,62
25	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,77	0,72	0,68	0,65
30	1,00	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	0,87	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67
35	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68
40	1,00	1,00	0,99	0,98	0,95	0,92	0,89	0,85	0,81	0,77	0,73	0,70
45	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,89	0,86	0,82	0,78	0,75	0,71
50	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,83	0,79	0,76	0,72
55	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,90	0,87	0,84	0,80	0,77	0,73
60	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74
75	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83	0,79	0,76
90	1,00	1,00	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78
105	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80
120	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81
135	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82
150	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,90	0,88	0,85	0,83
165	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,86	0,84
180	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,91	0,89	0,87	0,84

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Рекомендации к порядку тиражирования разработанных схем такта пригородных электропоездов на радиальном направлении

Таблица Е.1 – Рекомендации к порядку тиражирования разработанных схем такта пригородных электропоездов на радиальном направлении в случаях осуществления межпикового и ночного отстоя преимущественно на станции расположенной в ближней пригородной зоне

Период суток	Название периода	Используемая схема такта по направлению к центру агломерации	Используемая схема такта по направлению от центра агломерации
5:00 - 6:00 (5:30 - 6:00)	Открытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под открытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под открытие движения
6:00 - 7:00	Утренний непиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под оборот пригородных электропоездов перед утренний пиковый периодом
7:00 - 8:00	Утренний пиковый период	Схема такта для <i>пикового</i> периода	
8:00 - 9:00			
9:00 - 10:00	Утренний пиковый период	Схема такта для <i>пикового</i> периода	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый
10:00 - 11:00	Дневной межпиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода
11:00 - 16:00		Схема такта для <i>непикового</i> периода	
16:00 - 17:00			Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый
17:00 - 18:00	Вечерний пиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый	Схема такта для <i>пикового</i> периода
18:00 - 19:00			
19:00 - 20:00			
20:00 - 21:00	Вечерний непиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под оборот пригородных электропоездов перед утренний пиковый периодом	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый
21:00 - 22:00		Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода
22:00 - 23:00		Схема такта для <i>непикового</i> периода	
23:00 - 0:00	Закрытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под закрытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под закрытие движения
0:00 - 1:00			

Таблица Е.2 – Рекомендации к порядку тиражирования разработанных схем такта пригородных электропоездов на радиальном направлении в случаях осуществления межпикового и ночного отстоя преимущественно на станции, расположенной в средней или дальней пригородной зоне

Период суток	Название периода	Используемая схема такта по направлению к центру агломерации	Используемая схема такта по направлению от центра агломерации
5:00 - 6:00 (5:30 - 6:00)	Открытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под открытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под открытие движения
6:00 - 7:00	Утренний непиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода
7:00 - 8:00	Утренний пиковый период	Схема такта для <i>пикового</i> периода	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый
8:00 - 9:00			Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под оборот пригородных электропоездов перед утренний пиковый периодом
9:00 - 10:00			
10:00 - 11:00	Дневной межпиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый
11:00 - 12:00		Схема такта для <i>непикового</i> периода	
12:00 - 13:00		Схема такта для <i>непикового</i> периода	
13:00 - 14:00			
14:00 - 15:00			
15:00 - 16:00			
16:00 - 17:00		Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под оборот пригородных электропоездов перед утренний пиковый периодом	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый
17:00 - 18:00	Вечерний пиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	Схема такта для <i>пикового</i> периода
18:00 - 19:00			
19:00 - 20:00	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода
20:00 - 21:00	Схема такта для <i>непикового</i> периода		
21:00 - 22:00	Схема такта для <i>непикового</i> периода		
22:00 - 23:00			
23:00 - 0:00	Закрытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под закрытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под закрытие движения
0:00 - 1:00			

Таблица Е.3 – Рекомендации к порядку тиражирования разработанных схем такта пригородных электропоездов на радиальном направлении в случаях достаточного технического оснащения для проведения ночного отстоя в дальней и средней пригородной зоне, а межпикового отстоя на головной станции или в ближней пригородной зоне пригородного направления

Период суток	Название периода	Используемая схема такта по направлению к центру агломерации	Используемая схема такта по направлению от центра агломерации
5:00 - 6:00 (5:30 - 6:00)	Открытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под открытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под открытие движения
6:00 - 7:00	Утренний непиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый	Схема такта для <i>непикового</i> периода
7:00 - 8:00	Утренний пиковый период	Схема такта для <i>пикового</i> периода	
8:00 - 9:00			
9:00 - 10:00			
10:00 - 11:00	Дневной межпиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с пикового периода на непиковый	
11:00 - 12:00			
12:00 - 13:00			
13:00 - 14:00			
14:00 - 15:00			
15:00 - 16:00			
16:00 - 17:00	Вечерний пиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под переход с непикового периода на пиковый
17:00 - 18:00			
18:00 - 19:00			
19:00 - 20:00	Вечерний непиковый период	Схема такта для <i>непикового</i> периода	Схема такта для <i>пикового</i> периода
20:00 - 21:00			
21:00 - 22:00			
22:00 - 23:00			
23:00 - 0:00	Закрытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под закрытие движения	Схема такта для <i>непикового</i> периода, <i>адаптированная</i> под закрытие движения
0:00 - 1:00			

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Пассажиропоток между укрупненными корреспонденциями на Рижском направлении МЖУ

Таблица Ж.1 – Пассажиропоток между укрупненными корреспонденциями на Рижском направлении МЖУ за час пикового периода перевозок рабочего дня месяца максимальных перевозок

	А	Б	В	Г1	Г2	Д	Е1	Е2	Ж	З1	З2	И	К	Л	М	Н
А		2	5	1	0	0	1	0	1	6	0	3	0	5	65	26
Б		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	19	8
В				11	4	3	4	3	4	22	1	6	0	11	125	54
Г1				6		5	8	8	7	53	1	9	1	14	124	42
Г2						1	1	1	1	6	0	2	0	3	36	13
Д							4	2	4	35	0	5	1	7	58	20
Е1							2		4	41	2	11	2	11	74	20
Е2									3	47	1	7	1	6	59	18
Ж										57	3	14	1	15	167	55
З1										162		206	18	140	1 114	300
З2												23	0	16	122	28
И													7	181	827	144
К														5	31	8
Л															3 322	1 125
М															4 053	5 992
Н																631

Таблица Ж.2 – Пассажиропоток между укрупненными корреспонденциями на Рижском направлении МЖУ за час пикового периода перевозок рабочего дня месяца максимальных перевозок с учетом перераспределения межзональных корреспонденций пассажиропотока

	А	Б	В	Г1	Г2	Д	Е1	Е2	Ж	З1	З2	И	К	Л	М	Н
А	0	2	5	1	0	1	1	0	1	6	0	4	0	5	65	26
Б	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	19	8
В	0	0	0	11	4	6	4	0	4	22	0	7	0	11	125	54
Г1	0	0	0	6		13	8	0	8	53	0	10	0	14	124	42
Г2	0	0	0			1	1	0	1	6	0	2	0	3	36	13
Д	0	0	0	0	0	0	4	14	4	35	0	6	0	7	58	20
Е1	0	0	0	0	0	0	2		6	41	0	12	0	11	74	20
Е2	0	0	0	0	0	0			4	47	0	8	0	6	59	18
Ж	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	8	16	0	15	167	55
З1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162		224	0	140	1 114	300
З2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			23	0	16	122	28
И	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	181	827	144
К	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	31	8
Л	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3 322	1 125
М	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4 053	5 992
Н	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	631

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

Результаты моделирования населенности пригородных электропоездов в  
утренний пиковый период на Рижском направлении МЖУ

Таблица И.1 – Расписание движения пригородных электропоездов в утренний пиковый период по направлению к Москве на Рижском направлении

Время приб. на Кур. вокз.	№ поезда на Риж. напр.	Станция отправления	Станция назначения	№ поезда на Кур. напр.	Маршрут на Курском направлении	Режим остановок						
						Б	Г2	Е2	32	К	ЛМ	МН
6:52	6402	Шаховская	Москва- Курская	6381	Царицыно - Львовская	1	0	0	0	1	1	1
6:58	7220	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
7:04	-	-	-	6953	Москва - Тула	0	0	0	0	0	0	0
7:10	7222	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
7:16	6210	Румянцево	Серпухов			0	0	1	1	1	1	1
7:22	7224	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
7:28	6212	Новоиерусалимская	Чехов			0	0	0	1	1	1	1
7:34	7226	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
7:40	6214	Волоколамск	Шарапова Охота			0	1	1	1	1	1	1
7:46	7228	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
7:52	6854	Новоиерусалимская	Серпухов			0	0	0	1	1	1	1
7:58	7230	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
8:04	6506	Румянцево	Стрешнево	6853	Царицыно - Львовская	0	0	1	1	1	1	0
8:10	7232	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
8:16	6404	Волоколамск	Стрешнево	7151	Москва - Серпухов	0	1	1	1	1	1	0
8:22	7234	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
8:28	7102	Шаховская	Люблино	-	-	0	0	0	0	0	1	1
8:34	7236	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
8:40	-	-	-	715	Москва - Курск	0	0	0	0	0	0	0
8:46	7238	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
8:52	6218	Новоиерусалимская	Шарапова Охота			0	0	0	1	1	1	1
8:58	7240	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
9:04	6220	Румянцево	Столбовая			0	0	1	1	1	1	1
9:10	7242	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
9:16	6508	Дедовск	Стрешнево	-	-	0	0	0	0	1	1	0
9:22	7244	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
9:28	6222	Волоколамск	Львовская			0	1	1	1	1	1	1
9:34	7246	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
9:40	6224	Новоиерусалимская	Чехов			0	0	0	1	1	1	1
9:46	7248	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1
9:52	6054	Шаховская	Тула			1	1	1	1	1	1	1
9:58	7250	Нахабино	Подольск			0	0	0	0	0	1	1



Таблица И.3 – Экономические показатели существующего расписания пригородных электропоездов в утренний пиковый период по направлению к Москве на Рижском направлении

Показатель	Значение	Ставка, руб/ед.изм.	Итог за утренний пик, руб/пик	Итог за 1 час утр. пикового периода, руб/ час
Поездная работа, поездо-км	1676,7 поездо-км			
Сервисное обслуживание (ТО, ТР, КР), ваг-км	18443,7 ваг-км	23,34 руб/ваг-км	430 476 руб.	144 391 руб.
Управление и эксплуатация, поездо-час	41,73 поездо-час	3 221 руб/поездо-час	134 424 руб.	45 309 руб.
Неосвоенный пасс-поток, пасс.	1185 пасс.			
Неосвоенный пассажиropoтoк, %	1,98%			
Неосвоенный пассажиpooбoрoт, пасс-км	81633 пасс.-км	3 руб/пасс-км	244 898 руб.	81 225 руб.
Неосвоенный пассажиpooбoрoт, %	5,59%			
Целевая Функция			809 798 руб.	269 933 руб.

Таблица И.4 – Значения управляемых переменных, формирующих рациональную схему такта при условии ограничения населенности на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 человек, а на участке Стрешнево – Москва не более 1172 человека

Слот в графике движения	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10
Время прибытия на головную станцию	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Код маршрута:	6	2	6	4	6	1	4	6	6	4
Режим остановок: Б	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1
Режим остановок: Г2	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
Режим остановок: Е2	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1
Режим остановок: З2	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
Режим остановок: К	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1

Таблица И.5 – Населенность пригородных поездов в схеме такта, рассчитанной при условии ограничения населенности на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 человек, а на участке Стрешнево – Москва не более 1172 человека

Участок	Густота пасс-потока, пасс.	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10	Неосвоенный пасс-поток, пасс.	Неосвоенный пасс-поток, %
АБ	116	0	0	0	0	0	106	0	0	0	0	10,3	8,9%
БВ	145	0	0	0	0	0	133	0	0	0	0	11,5	7,9%
ВГ	393	0	102	0	0	0	275	0	0	0	0	16,2	4,1%
ГД	711	0	251	0	0	0	428	0	0	0	0	32,5	4,6%
ДЕ	834	0	304	0	0	0	489	0	0	0	0	42,1	5,0%
ЕЖ	1 110	0	461	0	0	0	567	0	0	0	0	81,9	7,4%
ЖЗ	1 560	0	537	0	97	0	609	125	0	0	111	81,9	5,3%
ЗИ	3 250	0	789	0	518	0	694	629	0	0	535	85,6	2,6%
ИК	3 960	0	923	0	665	0	745	861	0	0	677	89,2	2,3%
КЛ	3 972	0	923	0	665	0	750	861	0	0	682	90,9	2,3%
ЛМ	12 057	850	1 681	850	1 441	850	1 534	1 613	850	850	1 455	84,8	0,7%
МН	8 485	775	954	775	888	775	938	921	775	775	890	20,2	0,2%

Таблица И.6 – Экономические показатели схемы такта рассчитанной при условии ограничения населенности на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 человек, а на участке Стрешнево – Москва не более 1 172 человека

Показатель	Значение	Ставка, руб/ед.изм.	Итог, руб
Поездная работа, поездо-км	628,3 поездо-км		
Сервисное обслуживание (ТО, ТР, КР), ваг-км	6 911 ваг-км	23,34 руб/ваг-км	161 310 руб.
Управление и эксплуатация, поездо-час	15,33 поездо-час	3 221 руб/поездо-час	49 389 руб.
Неосвоенный пассажиропоток, пасс.	148 пасс		
Неосвоенный пассажиропоток, %	0,7%		
Неосвоенный пассажирооборот, пасс-км	7 096 пасс-км	3 руб/пасс-км	21 289 руб.
Неосвоенный пассажирооборот, %	1,5%		
Целевая Функция			231 988 руб.

Таблица И.7 – Значения управляемых переменных, формирующих рациональную схему такта при условии ограничения населенности на участке Нахабино – Стрешнево не более 1694 человек, а на участке Стрешнево – Москва не более 1172 человека

Слот в графике движения	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10
Время прибытия на головную станцию	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
Код маршрута:	6	4	6	2	4	12	4	12	1	4
Режим остановок: Б	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Режим остановок: Г2	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1
Режим остановок: Е2	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1
Режим остановок: З2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
Режим остановок: К	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0

Таблица И.8 – Населенность пригородных электропоездов в схеме такта, рассчитанной с ограничением на использование слотов Н6 и Н8 на участке Стрешнево – Москва и с ограничением населенности на участке Нахабино – Москва не более 1694 пассажиров

Участок	Густота пасс-потока, пасс.	Н1	Н2	Н3	Н4	Н5	Н6	Н7	Н8	Н9	Н10	Неосвоенный пасс-поток, пасс.	
												Неосвоенный пасс-поток, пасс.	Неосвоенный пасс-поток, %
АБ	116	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0	14,6	12,6%
БВ	145	0	0	0	0	0	0	0	0	128	0	16,6	11,5%
ВГ	393	0	0	0	117	0	0	0	0	250	0	25,8	6,6%
ГД	711	0	0	0	285	0	0	0	0	380	0	46,8	6,6%
ДЕ	834	0	0	0	342	0	0	0	0	437	0	55,6	6,7%
ЕЖ	1 110	0	0	0	474	0	0	0	0	568	0	68,7	6,2%
ЖЗ	1 560	0	97	0	516	87	0	97	0	609	87	67,8	4,3%
ЗИ	3 250	0	515	0	598	433	0	515	0	685	433	72,2	2,2%
ИК	3 960	0	662	0	652	587	0	662	0	737	587	72,3	1,8%
КЛ	3 972	0	662	0	657	587	0	662	0	742	587	73,8	1,9%
ЛМ	12 057	850	1 438	850	1 445	1 476	737	1 548	737	1 530	1 370	74,9	0,6%
МН	8 485	775	887	775	911	1 604	0	1 644	0	962	874	53,8	0,6%

Таблица И.9 – Экономические показатели схемы такта, рассчитанной с ограничением на использование слотов Н6 и Н8 на участке Стрешнево – Москва и с ограничением населенности на участке Нахабино – Москва не более 1694 пассажиров

Показатель	Значение	Ставка, руб/ед.изм.	Итог, руб
Поездная работа, поездо-км	634,3 поездо-км		
Сервисное обслуживание (ТО, ТР, КР), ваг-км	6977,3 ваг-км	23,34 руб/ваг-км	162 850 руб.
Управление и эксплуатация, поездо-час	14,93 поездо-час	3 221 руб/поездо-час	48 101 руб.
Неосвоенный пассажиропоток, пасс.	150 пасс.		
Неосвоенный пассажиропоток, %	0,7%		
Неосвоенный пассажирооборот, пасс-км	7508 пасс-км	3 руб/пасс-км	22 523 руб
Неосвоенный пассажирооборот, %	1,5%		
Целевая Функция			233 474 руб.