

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

На правах рукописи



КОПЫЛОВА ЕКАТЕРИНА ВИТАЛЬЕВНА

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА
ОСНОВЕ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРОПОТОКА**

2.9.4. Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант
доктор технических наук, профессор
Козлов Петр Алексеевич

Москва – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ПАССАЖИРСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ.....	15
1.1. Городские агломерации. Значимость, особенности формирования и развития.....	15
1.1.1. Понятие о городских агломерациях, особенностях их формирования и развития.....	15
1.1.2. Значение городских агломераций для общества и государства.....	16
1.1.3. Анализ крупнейших мировых агломераций.....	17
1.1.4. Анализ тенденций развития городских агломераций Российской Федерации.....	19
1.1.5. Анализ роли транспорта в развитии городских агломераций.....	21
1.2. Анализ пассажиропотоков городских агломераций.....	27
1.3. Транспорт городских агломераций и понятие о пассажирских транспортных системах.....	40
1.4. Анализ практического опыта формирования пассажирских транспортных систем городских агломераций.....	43
1.4.1. История развития и особенности пассажирских транспортных систем за рубежом.....	43
1.4.2. Особенности формирования пассажирских транспортных систем городских агломераций Российской Федерации.....	50
1.5. Анализ научных исследований в области формирования пассажирских транспортных систем	61
1.5.1. Анализ исследований в области изучения пассажиропотоков.....	61
1.5.2. Анализ исследований в области организации пригородных, пригородно-городских и городских пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта.....	74

1.5.3. Анализ методов изучения и формирования транспортных систем.....	81
Выводы к главе 1.....	85
2. ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ ПассажиРОПОТОКА И АППАРАТ ОПТИМИЗАЦИИ	87
2.1. Проблема организации пассажиропотоков.....	87
2.2. Выбор и обоснование аппарата оптимизации.....	94
2.3. Возможности метода динамического согласования (МДС) для решения транспортных задач городской агломерации.....	100
2.4. Технология использования модели организации однородного пассажиропотока.....	108
2.5. Модель организации однородного пассажиропотока в Нижегородской агломерации.....	111
2.6. Модель организации неоднородного (многоструйного) пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации.....	117
Выводы к главе 2.....	126
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ОДНОРОДНОГО ПассажиРОПОТОКА.....	127
3.1. Технология создания расчетной модели.....	127
3.2. Организация однородного пригородного пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации. Общие возможности модели.....	147
3.3. Организация зарождающегося пассажиропотока.....	158
3.4. Организация прибывающего пассажиропотока.....	163
3.5. Согласованная организация зарождающегося и прибывающего пассажиропотока.....	166
3.6. Организация пассажиропотока при приоритете одного из направлений.....	174
Выводы к главе 3.....	178
4. ОРГАНИЗАЦИЯ МНОГОСТРУЙНОГО ПассажиРОПОТОКА	179
4.1. Постановка проблемы.....	179

4.2. Описание аппарата оптимизации. Отличия многопродуктовой модели.....	182
4.3. Апробация многопродуктовой модели на примере Нижегородской агломерации.....	186
4.3.1. Организация многоструйного пассажиропотока при непересекающихся периодах времени прибытия пассажиропотоков разных сегментов на головную станцию	186
4.3.2. Организация многоструйного пассажиропотока при пересекающихся периодах времени прибытия пассажиропотоков разных сегментов на головную станцию	199
4.4. Исследование взаимного влияния ограничений на корректировки при организации многоструйного пассажиропотока.....	216
Выводы к главе 4.....	220
5. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В НИЖЕГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ.....	221
5.1. Сущность и задачи имитационного моделирования.....	221
5.2. Выбор системы моделирования.....	222
5.3. Имитационная модель пригородного движения в Нижегородской агломерации.....	225
5.3.1. Особенности оптимизационной и имитационной моделей.....	225
5.3.2. Отображение структуры и технологии полигона.....	226
5.3.3. Результаты моделирования.....	232
Выводы к главе 5.....	250
6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НИТОК ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ СОСТАВАМИ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ.....	251
6.1. Содержательная постановка задачи.....	251
6.2. Оптимизационная модель.....	254

6.3. Расчеты по оптимизации оборота составов на примере пригородного пассажирского комплекса железнодорожного транспорта в Нижегородской агломерации	261
Выводы к главе 6.....	279
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	280
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	284
Приложение № 1.....	323

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Основа развития любого государства – целостное, комплексное развитие его отдельных регионов, социально-экономический каркас которых образуют городские агломерации и мегаполисы, являющиеся важнейшими местами сосредоточения трудовых, промышленных, культурных и других видов ресурсов. В Российской Федерации насчитывается 16 мегаполисов (городов-миллионеров) и 22 агломерации-миллионера, ряд которых образован городами с численностью населения менее 1 млн человек. Основным преимуществом агломерации является то, что, образуя общую систему расселения, несколько городов позволяют создать единый рынок, равный или превышающий по объему ресурсов крупный мегаполис. Формирование городских агломераций и рациональное использование их ресурсов для решения целого ряда экономических, социальных, экологических проблем, присущих современному урбанизированному обществу, невозможно без качественного обеспечения транспортных связей. Именно поездки в пригородном сообщении обеспечивают трудовую подвижность населения в агломерациях, способствуют развитию рынка труда и оказывают положительный мультипликативный эффект на развитие экономики отдельных регионов и страны в целом.

Перевозки железнодорожным транспортом характеризуются высокой степенью надежности, регулярности и экологичности. Данный вид транспорта обладает наибольшей провозной способностью, поэтому может стать базой для установления прочных транспортных связей в городских агломерациях и мегаполисах. Мероприятия, предусмотренные Концепцией развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом [112], направлены на обеспечение потребностей населения в качественном транспортном обслуживании и создание условий для устойчивого развития пригородных железнодорожных перевозок. Гарантировать необходимый уровень доступности пригородных перевозок для населения страны при заданных параметрах качества и безопасности

возможно только при условии разработки долгосрочных схем транспортного обслуживания населения с учетом возможностей всех видов транспорта. Формирование эффективных схем транспортного обслуживания населения требует решения ряда сложных технико-технологических, нормативно-правовых, экономических и управленческих задач и в современных условиях приобретает первостепенное значение как для государства и отдельных его регионов, так и для железнодорожного транспорта, как владельца транспортной инфраструктуры.

Для решения задач, стоящих перед железнодорожным транспортом, создана серьезная информационно-цифровая среда. При этом многочисленные автоматизированные системы в основном являются информационными. Выбор рациональных решений в различных сферах деятельности железнодорожного транспорта остается за человеком. В то же время человек не всегда способен справиться с многовариантностью возможных решений. Любые системы обработки больших данных должны строиться с применением оптимизационных моделей принятия решений. Такая задача ставится и в Транспортной стратегии Российской Федерации: «исследование и разработка аналитических систем и математических моделей, обеспечивающих поддержку принятия решений по регулированию функционирования и управлению развитием транспортного комплекса» [243].

Степень разработанности темы исследования

Совершенствование пригородных пассажирских перевозок в городских агломерациях и мегаполисах всегда занимало важное место в жизни государства и сейчас является одной из ключевых задач для холдинга «РЖД».

Большой научный и практический вклад в решение вопросов рационального функционирования пригородного, пригородно-городского и городского железнодорожного комплекса внесли работы отечественных и зарубежных ученых: Ф. П. Кочнева, Ю. О. Пазойского, В. А. Персианова, Н. В. Правдина, В. Г. Шубко, Л. А. Баранова, А. Г. Котенко, В. Г. Сидоренко, С. П. Вакуленко, В. Я. Негрея, А. Н. Киселева, С. А. Ваксмана, В. И. Терзи, Л. Б. Миротина, Я. Цибулки и др. Вопросам моделирования работы транспортных систем и

оптимизации транспортных процессов посвящены работы ученых П. А. Козлова, О. В. Осокина, Н. А. Тушина, В. В. Доенина, А. Э. Александрова, А. К. Головнича, А. М. Замышляева, и др.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационного исследования – повышение эффективности и клиентоориентированности пригородных пассажирских перевозок в городских агломерациях на основе организации пригородного пассажиропотока.

Основными задачами исследования для достижения поставленной цели стали:

- формулирование проблемы организации пассажиропотока на основе анализа научных исследований в сфере транспортного обеспечения населения городских агломераций и организации пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом;
- обоснование выбора метода динамического согласования для оптимизации пригородных пассажирских перевозок на основе организации пассажиропотока;
- выбор агломерации для отработки и апробации предлагаемых в диссертационном исследовании методологий;
- создание методологии организации пригородного пассажиропотока на основе метода динамического согласования;
- создание методологии организации многоструйного пассажиропотока на основе многопродуктового метода динамического согласования;
- разработка технологии проверки на имитационной модели результатов расчетов на оптимизационных моделях;
- разработка метода эффективного обеспечения составами графика движения пригородных поездов с созданием оптимизационной модели на основе динамической транспортной задачи.

Объектом исследования являются пригородные пассажирские перевозки, осуществляемые железнодорожным транспортом в городских агломерациях.

Предмет исследования – совершенствование работы железнодорожного транспорта в области транспортного обеспечения населения городских агломераций.

Научная новизна исследования состоит в разработанной впервые методологии оптимизации пригородных пассажирских перевозок в динамике на основе организации самого пассажиропотока, а именно:

- сформулирована проблема организации пассажиропотока для нахождения консенсуса между потребностями пассажиров и возможностями транспорта;
- разработана оптимизационная модель и технология ее применения для организации однородного пассажиропотока на основе метода динамического согласования;
- разработана оптимизационная модель и технология ее применения для организации многоструйного пассажиропотока на основе многопродуктового метода динамического согласования;
- разработан метод обеспечения ниток графика движения пригородных поездов составами с помощью оптимизационной модели на основе динамической транспортной задачи.

Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования

Теоретическая значимость заключается в создании методологической основы для дальнейших научных исследований в сфере оптимизации параметров пассажирских перевозок в динамике.

Практическая значимость работы состоит:

- в применении предлагаемых методологий организации пассажиропотока при разработке долгосрочных схем транспортного обслуживания населения в регионах;
- возможности формирования сбалансированной транспортной системы в каждой городской агломерации и определения рационального межтранспортного баланса на основе оптимизационных моделей;

- обеспечении возможности уменьшения статических резервов пригородного движения (как инфраструктурных, так и подвижного состава) благодаря организации пассажиропотока в динамике;
- обеспечении эффективного использования составов пригородных поездов при использовании динамической транспортной задачи для оптимального обеспечения подвижным составом графика движения пригородных поездов;
- возможности формирования обоснованных предложений по развитию транспортной инфраструктуры на основе использования разработанных моделей оптимизации и технологии их совместного использования с имитационной моделью;
- использовании разработанных моделей оптимизации на основе организации пассажиропотока как инструмента для экспертизы предлагаемых проектировочных решений по усилению пропускных способностей пригородных линий и развитию инфраструктуры станций и остановочных пунктов, включая пассажирские обустройства, в том числе с применением имитационного моделирования;
- создании предпосылок для эффективного развития городских агломераций на основе обеспечения устойчивых транспортных связей между городами-спутниками и городами-ядрами, и, как следствие, повышении качества жизни населения регионов и страны в целом.

Апробация разработанных методологий организации пассажиропотока и метода обеспечения ниток графика движения составами пригородных поездов проведена на Нижегородской агломерации. Проверка результатов расчетов на оптимизационных моделях организации пассажиропотока проведена на имитационной модели в системе ИМЕТРА.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач в диссертации использовались методы системного анализа, метод динамического согласования, динамическая транспортная задача, имитационное моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

- методология организации однородного пригородного пассажиропотока на основе однопродуктового метода динамического согласования;
- методология организации многоструйного пригородного пассажиропотока на основе многопродуктового метода динамического согласования;
- технология совместного использования оптимизационной и имитационной модели для исследования возможности реализации выбранного варианта организации пассажиропотока при заданном графике движения;
- метод оптимального обеспечения составами графика движения пригородных поездов на основе динамической транспортной задачи.

Степень достоверности и апробации результатов исследования

Достоверность полученных результатов подтверждается логически выстроенным процессом исследования, обоснованными научными предложениями, корректностью применения математических методов для решения поставленных задач, экспериментальными расчетами на оптимизационных моделях, сделанными на основе анализа результатов расчетов выводами и применением результатов исследования в практической деятельности.

Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» (на заседании кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» в 2021 году), а также на:

- Международной научно-практической конференции «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» (Москва, 2015 г.);
- Международной научно-практической конференции «Транспортные системы: тенденции развития» (Москва, 2016 г.);
- заседании секции «Пассажирские перевозки» научно-технического совета ОАО «РЖД» (Москва, 2016 г.);

- II-й международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие территорий» (Москва, 2019 г.);
- заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» (Москва, 2017, 2021 г.);
- Международной научно-практической конференции «Федор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России» (Москва 2021 г.).

Разработанные в диссертации методологии рекомендованы Центром по корпоративному управлению пригородным комплексом ОАО «РЖД» для использования пригородными пассажирскими компаниями при разработке комплексных планов транспортного обслуживания населения в субъектах Российской Федерации в части пригородных пассажирских перевозок на средне- и долгосрочную перспективу. Методология организации пригородного пассажиропотока на основе метода динамического согласования принята к внедрению на полигоне деятельности АО «Волго-Вятская пригородная пассажирская компания» и использована при организации мультимодальных пассажирских перевозок в Нижегородской агломерации. Соответствующие акты приведены в Приложении № 1 диссертации.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (266 наименований) и одного приложения.

В первой главе на основе проведенного анализа мирового опыта развития территорий и повышения качества жизни населения показана значимость городских агломераций и определена ведущая роль транспорта в их формировании и успешном функционировании. Сформулированы признаки внутриагломерационных пассажиропотоков. Выполнен анализ теоретических исследований и практических решений по обеспечению пассажирских перевозок в агломерациях. Сформулирована проблема организации пассажиропотока.

Во второй главе освещены основные проблемы, связанные с организацией пассажиропотока, сформулированы задачи организации однородного и многоструйного (неоднородного) пассажиропотока. Обоснован выбор в качестве

аппарата оптимизации метода динамического согласования, основанного на динамической транспортной задаче. Разработаны оптимизационные модели и технология их применения. Предложена технология выстраивания направленного итерационного процесса для сокращения числа экспериментов при поиске компромиссного варианта организации пассажиропотока из числа формально оптимальных вариантов.

В третьей главе показаны возможности разработанной методологии организации однородного пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации. Проанализированы результаты выполненных на оптимизационной модели экспериментов по организации однородного пассажиропотока. Эксперименты выполнены для различных условий организации транспортного обслуживания населения городских агломераций, в том числе при приоритете отдельных станций, направлений и видов транспорта с учетом различных ограничений на станциях и участках.

В четвертой главе отработана методология организации многоструйного (неоднородного) пассажиропотока. Разработанная оптимизационная модель в динамике отображает процессы зарождения, перемещения, ожидания в очередях и погашения пассажиропотоков не только в общем виде, но и по отдельным сегментам. Для каждого сегмента пассажиропотока можно менять стоимости корректировок и очередей, отдавая таким образом приоритет тому или иному сегменту пассажиропотока. Подтверждена логика работы модели путем направленного изменения этих параметров и анализа выдаваемых моделью результатов.

В пятой главе реализована технология имитационной проверки расчетов на оптимизационных моделях. Проанализированы существующие системы моделирования и выбрана имитационная система ИМЕТРА, как наиболее подходящая для моделирования пригородного движения. Проведены расчеты и моделирование для двух вариантов: при равномерном пассажиропотоке со случайным разбросом и при пассажиропотоке, организованном с использованием разработанных оптимизационных моделей. Проанализированы полученные

результаты, показывающие сокращение ожидания пассажирами отправления в 1,5–2 раза и снижение всплесков пассажиропотока на станции назначения при организованных потоках.

В шестой главе предложена технология оптимального оборота составов для обеспечения ниток графика движения пригородных поездов с использованием нового метода, разработанного на основе динамической транспортной задачи. Проведены расчеты по нескольким вариантам: при заданном числе составов и разрешении на сдвиг ниток графика, при заданном числе составов и при запрещении сдвига ниток графика, при свободном привлечении составов из заданного резерва и различных стоимостных параметрах. Проведена апробация разработанной технологии на примере пригородного пассажирского комплекса железнодорожного транспорта в Нижегородской агломерации.

1. ПАССАЖИРСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

1.1. Городские агломерации. Значимость, особенности формирования и развития

1.1.1. Понятие об агломерациях, особенностях их формирования и развития

Городские агломерации представляют собой компактную пространственную группу поселений, объединенных производственными, культурно-бытовыми, трудовыми, рекреационными и иными связями в сложную систему, что позволяет создать на их основе рынок, равный суммарной численности жителей поселений. Таким образом, формирование агломераций резко расширяет круг граждан, получающих доступ к услугам высокого качества, которые экономически нецелесообразно реализовывать в городах с небольшой численностью населения, а значит повышают качество жизни населения страны в целом.

Исторически агломерации формировались за счет более выгодного положения городов-ядер, ускоренных темпов роста их экономического и социального развития. В конце прошлого столетия на формирование агломераций оказало серьезное влияние резкое сокращение мест приложения труда в пригородной зоне крупных городов, а также жилищная застройка субурбанизированных территорий.

Основными показателями и характеристиками сформировавшихся городских агломераций являются:

- плотность населения на 1 м²;
- численность населения (от 100 тыс. человек);
- плотность застройки (не более 20 км между городом-ядром и городами-спутниками);
- количество городов-спутников;

- интенсивность поездок населения между городом-ядром и городами-спутниками;
- наличие единой инфраструктуры.

Агломерации характеризуются высокой степенью индустриализации, концентрацией социальной инфраструктуры (учебные заведения, медицинские, культурные учреждения и др.), высокой плотностью населения и регулярными трудовыми миграциями.

Каждую сформировавшуюся городскую агломерацию можно условно разбить на несколько зон, начиная от центра:

- центральная историческая часть города-ядра;
- деловой центр с развитой сферой услуг;
- зона жилой застройки, частично совмещенная с офисными зданиями;
- зона массовой многоэтажной застройки (селитебная территория, промышленные зоны) с развитой социальной сферой;
- пригородные территории, образованные городами-спутниками и другими тяготеющими населенными пунктами.

Площадь и границы каждой зоны весьма условны, и часто определяются развитием населенных пунктов, составляющих агломерацию.

1.1.2. Значение агломераций для общества и государства

Мировой практический опыт показывает, что при развитии отдельных городов негативные последствия начинают превосходить положительный эффект при увеличении количества жителей до 150–400 тыс. человек. Предполагается, что при объединении таких городов в агломерацию каждый город в отдельности не будет испытывать трудностей, сопровождающих жизнь в крупнейших городах и городах-миллионерах.

Несмотря на большое количество положительных эффектов, развитие агломераций имеет и недостатки: их функционирование связано с рядом

трудностей. Одна из них – это сложность административного управления и стратегические особенности развития инфраструктурных объектов центральной части, ориентированного на жителей города-ядра, а не районов тяготения. При этом большая протяженность коммуникаций и постоянно возрастающая нагрузка на них приводит к снижению качества услуг жилищно-коммунального хозяйства и транспорта. Повышающееся воздействие на окружающую среду приводит к ухудшению экологической обстановки. Кроме того, на экологическую ситуацию воздействует транспорт, без которого невозможно формирование агломерации.

1.1.3. Анализ крупнейших мировых агломераций

Некоторые агломерации имеют площадь и численность населения, сопоставимые с аналогичными показателями целой страны. При выстраивании ранжированного списка крупнейших мировых агломераций также учитывается плотность их населения. Порядковое место агломерации в списке с течением времени часто меняется в зависимости от протекающих экономико-политических процессов, влияющих на развитие тех или иных муниципальных образований, а также в зависимости от уровня развития транспортных коммуникаций, обеспечивающих территориальное единство населенных пунктов. Самой большой по занимаемой площади из двадцати крупнейших городских агломераций мира считается Токио-Йокогама с численностью населения 37,5 млн человек. Формирование и существование такой агломерации во многом стало возможным благодаря высокому уровню развития транспортной системы Японии, в том числе железнодорожного транспорта. Крупнейшие аэропорты страны: Ханеда и Нарита в Токио, Кансай и Итами в Осака, Син-Титосе и Саппоро, Фукуока и Миядзаки – имеют регулярное транспортное сообщение с центрами городов-спутников посредством монорельса и железнодорожного транспорта, и органично интегрированы с сетью магистрального железнодорожного и городского транспорта.

В США 7 % населения проживает в городах-миллионерах, а в агломерациях-миллионерах в семь раз больше. Хорошим примером служит Сан-Франциско с численностью населения всего 740 тыс. человек, но при этом являющийся ядром агломерации с общей численностью жителей более 4 млн человек. В полицентрической агломерации Бостон-Вашингтон, занимающей примерно 3 % территории страны и обеспечивающей порядка четверти национального ВВП, проживает 15 % населения страны. Агломерация Нью-Йорк с плотностью населения более 2 тысяч жителей на квадратный километр, но при этом является самым крупным финансовым центром мира. В Америке железнодорожный транспорт пользуется меньшей популярностью среди пассажиров. Многие американские города проектировались и исторически развивались с учетом обеспечения удобства использования личного автотранспорта. Перевозки на дальние расстояния выполняются в основном авиатранспортом. Однако развитие других видов пассажирского транспорта, в том числе пригородно-городских транспортных систем с участием железнодорожного транспорта, обеспечивают необходимые внутриагломерационные миграции. В США работает наибольшее в мире число региональных железных дорог (около 600), которые считаются наиболее перспективными с точки зрения развития транспортных сетей страны. 80 % ВВП в США производится в восьми агломерациях, каждая из которых размещена на территории, очерчиваемой радиусом 300–400 км, с плотной транспортной инфраструктурой. Необходимость присоединения муниципального образования к агломерации в США рассматривается в случае, если 25 и более процентов населения одного муниципального образования работает в другом городе (а значит осуществляет трудовые миграции).

Стремительное развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта в Китае и гармоничное последовательное развитие региональных и пригородно-городских пассажирских перевозок способствовали тому, что три агломерации этой страны: Шанхай, Пекин и Гуанчжоу-Фошань – вошли в список десяти крупнейших агломераций мира.

Анализ деятельности агломераций, образовавшихся на базе европейских столиц, таких как Париж (27-е место), Лондон (29-е место), показывает, что, несмотря на сравнительно невысокую численность населения, они обеспечивают значительный вклад в ВВП своих стран.

1.1.4. Анализ тенденций развития городских агломераций Российской Федерации

По численности населения Москва находится на 15-м месте в списке крупнейших мировых агломераций, а Санкт-Петербург – лишь на 71-м месте. Начиная с 2010 года в Российской Федерации наблюдается рост численности населения, при этом на текущий момент более 70 % населения страны проживает в городах. В 2015 году в Российской Федерации насчитывалось 20 крупнейших городов (с численностью населения от 500 тыс. чел. до 1 млн человек) и 15 городов-миллионеров (с численностью населения более 1 млн человек). Города с такой численностью населения характеризуются высокой степенью индустриализации и социально-экономического развития, что обеспечивает их население достаточным количеством рабочих мест и позволяет пользоваться широким спектром социально-культурных и социально-бытовых услуг. Количество городов-миллионеров и крупнейших городов очень мало для Российской Федерации, в них проживает сравнительно небольшая часть населения страны – именно эти граждане ежедневно имеют возможность пользоваться развитой социальной инфраструктурой и сферой услуг, характерной только для крупных населенных пунктов. Естественным процессом в таких условиях является тяготение к таким городам ближайших населенных пунктов, что приводит к перерастанию отдельных городов в городские агломерации.

В настоящее время в Российской Федерации в качестве городской агломерации может рассматриваться группа населенных пунктов с численностью населения наибольшего из городов-ядер более 100 тыс. человек и нахождением в

пределах 1,5-часовой транспортной доступности от него не менее двух тяготеющих городов.

В Российской Федерации сформировались 22 агломерации-миллионера (рисунок 1.1), ряд которых образован городами, не имеющими статуса миллионера (например, Саратовская, Новокузнецкая, Тульско-Новомосковская), а также порядка 17 крупных агломераций.

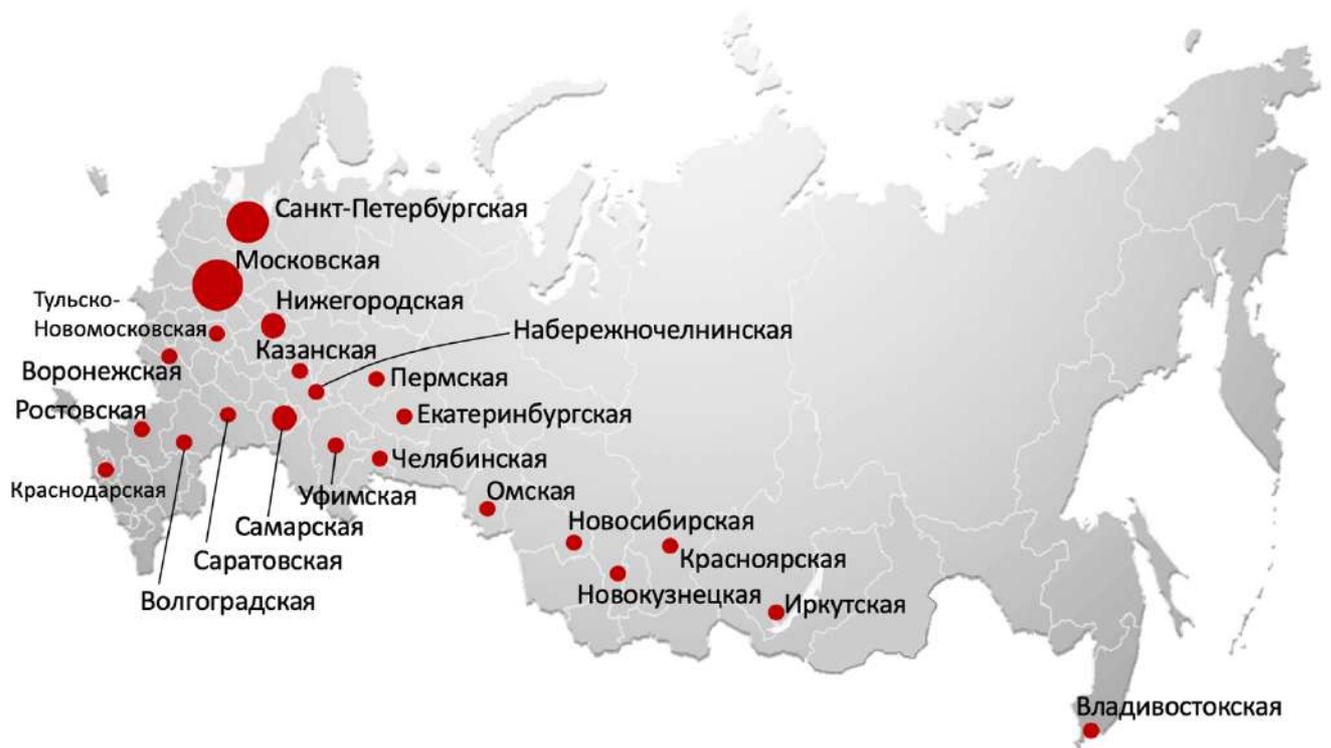


Рисунок 1.1 – Агломерации-миллионеры Российской Федерации

Наиболее распространены моноцентрические агломерации (например, Екатеринбургская, Нижегородская, Новосибирская и др.), которые формируются сосредоточением нескольких городов-спутников вокруг одного города-ядра, который лидирует по площади и экономическому развитию и оказывает доминирующее влияние на все населенные пункты своей пригородной зоны. Значительно меньше число полицентрических агломераций (например, Самарско-Тольяттинская, Тульско-Новомосковская).

Правительство Российской Федерации ставит перед всеми сферами экономики задачу сбалансированного пространственного развития страны. На настоящий момент определена 41 опорная агломерация, где к 2030 году

планируется создать условия для интенсивного экономического роста с вовлечением 60 млн человек, а более 15 из этих агломераций должны будут показать темпы экономического развития выше среднероссийского. Агломерации станут центрами притяжения, основными драйверами экономического роста и жилищного строительства, но необходимо решать вопросы с мобильностью населения.

1.1.5. Анализ роли транспорта в развитии городских агломераций

В экономике любой агломерации важнейшую роль играет степень развития транспортного обслуживания, обеспечивающая необходимую для сферы производства подвижность населения. Исторический мировой опыт показывает, что даже жители крупнейших городов и городов-миллионеров вынуждены ежедневно проводить в транспорте от одного до шести часов – практически четверть своей жизни. Потребность населения в основной транспортной услуге – перевозке, связана с работой, учебой, отдыхом, лечением, туризмом и другими целями – и является одной из первоочередных потребностей жизнедеятельности человека.

В 70–80-х годах прошлого века произошло резкое снижение роли общественного транспорта, в том числе железнодорожного, в обеспечении пригородных пассажирских перевозок. Такое явление обусловлено развитием технологий автомобилестроения и выбором населения в пользу использования личного автотранспорта из-за более высокой комфортности поездки. Высокий уровень автомобилизации во многих странах привел к перегруженности автодорог, возникновению многокилометровых и многочасовых автомобильных пробок. Вследствие чего существенно ухудшилась экологическая ситуация и произошел спад подвижности населения в агломерациях.

Единственным возможным решением транспортных проблем городских агломераций и обеспечения пригородных пассажирских перевозок стало развитие железнодорожного транспорта и других видов общественного рельсового

транспорта. Это потребовало проведения реформы организационно-правовой структуры управления деятельностью железнодорожного транспорта. В приоритетную зону реформирования вошел пассажирский комплекс, в том числе обеспечивающий пригородные перевозки. Целью стало создание благоприятных условий для эффективного развития пассажирских перевозок с учетом принципов клиентоориентированности и, как следствие, рост территориальной подвижности населения. Это, с одной, стороны решает важные задачи, стоящие перед любым государством в части обеспечения свободы передвижения граждан, с другой стороны, открывает новые возможности для технико-технологического и экономического развития железнодорожного транспорта.

Анализ мирового опыта показывает, что в развитых зарубежных странах обеспечение транспортных связей в городских агломерациях является частью социальной политики государства, и государство в различной степени выполняет контроль, допуск перевозчиков на транспортный рынок и финансирование перевозок. Так как пригородные перевозки наиболее развиты в городских агломерациях и мегаполисах, региональные власти принимают активное участие в организации перевозочного процесса, а именно: формируют заказы на перевозку в соответствии с определяемыми ими объемами, организуют или принимают участие в организации конкурсных процедур на право выполнения заданного объема перевозок, осуществляют контроль и мониторинг качества транспортного обслуживания и уровня удовлетворенности пассажиров предоставляемыми услугами.

В крупнейших городских агломерациях мира приоритет отдается железнодорожному транспорту. Например, в Берлинской агломерации доля бюджета, направляемая на развитие рельсовых видов транспорта, в три раза превышает расходы на развитие автодорог. Доля общественного транспорта в Парижской агломерации достигает 60 %, а объем инвестиций в его развитие за последние 10 лет составил 17 млрд евро. Кроме того, 47 % доходов от осуществления пригородных и пригородно-городских перевозок в Париже – это транспортный налог, который платят предприятия, осуществляющие свою

деятельность на территории Парижской агломерации. Для повышения качества обслуживания пассажиров в агломерациях Франции, Германии и Швейцарии применяется интегрированный тактовый график движения пригородных поездов, согласованный с графиками движения автобусов и поездов дальнего следования.

Стратегия транспортного развития столицы Венгрии направлена на увеличение пассажиропотока в пригородных сообщениях на 80 % к 2040 г., в том числе на переключение 12 % из 1 млн жителей агломерации, пользующихся автомобилями, на железнодорожный транспорт [83].

Реформы, проведенные на железных дорогах зарубежных стран, позволили повысить уровень качества транспортного обслуживания пассажиров в пригородном сообщении и увеличить пассажиропоток в 1,5–2 раза по отношению к «дореформенному» уровню. Опыт реформирования пассажирского железнодорожного комплекса в зарубежных странах нельзя было полностью применить в России. Причиной числе прочих стала высокая социальная значимость пригородных пассажирских перевозок, где железнодорожный транспорт играет одну из важнейших ролей и в удаленных регионах страны не имеет альтернативы.

В работе [120] показано, что с одной стороны, транспорт является неотъемлемым и обязательным условием формирования городской агломерации, так как обеспечивает пространственную общность территорий, экономические, социальные и другие связи, выполняя грузовые и пассажирские перевозки; с другой стороны, транспорт является одной из проблемных сторон, так как при развитии агломерации (поглощение новых населенных пунктов – увеличение площади, количества трудовых миграций) нагрузка на него возрастает. Хорошая транспортная доступность усиливает агломерационный эффект. Временной параметр доступности в городских агломерациях предложен российским ученым Г. А. Гольцем – «константа Гольца» составляет полтора часа. Таким образом, транспорт также может влиять на пространственный размер агломераций, обеспечивая определенные скорость и объем перевозок. Например, при увеличении скорости до 150 км/ч из центра Твери до центра Москвы можно будет добраться быстрее, чем из ближайших окраин столицы (например, Южное Бутово).

Некоторые исследования показывают, что при увеличении скорости поездки в два раза в 50 и 100-километровой зонах может привести к увеличению заработной платы жителей этих зон на треть.

В настоящее время именно качество транспортного обеспечения в большинстве случаев является сдерживающим фактором развития городских агломераций в Российской Федерации. Особенно это касается агломераций, образованных городами-миллионерами, т. к. даже сами эти города не имеют рациональных транспортно-логистических схем, способных обеспечить необходимый уровень пассажирских перевозок.

Большинство российских агломераций по данным международных консалтинговых агентств отстает по популярности железнодорожного транспорта в 7–10 раз от сопоставимых зарубежных агломераций (рисунок 1.2).

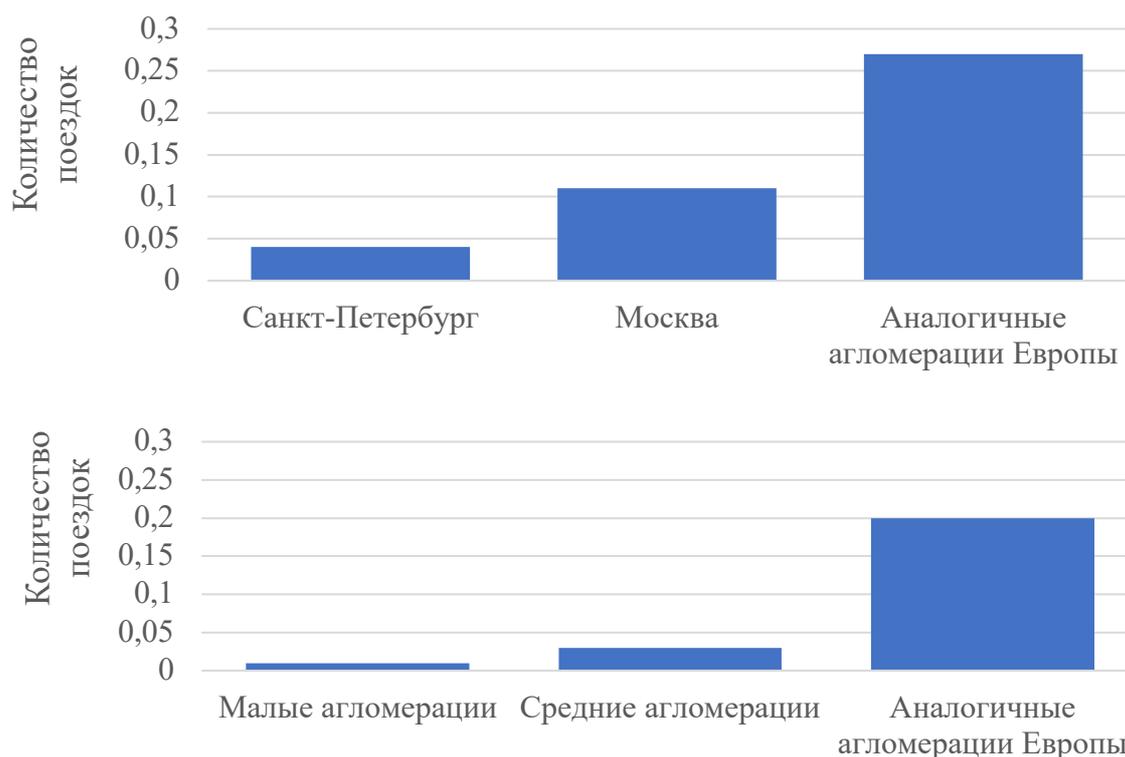


Рисунок 1.2 – Количество поездок в пригородном сообщении на железнодорожном транспорте в день, приходящееся на 1 жителя агломерации

Уровень развития транспортной системы сказывается практически на всех сферах жизнедеятельности общества: экономической, социальной политической,

демографической, экологической и т. д., поэтому разграничить выполняемые этой системой экономические и социальные функции можно только условно. Важная государственная задача в области развития и совершенствования пассажирских перевозок состоит в создании условий для повышения мобильности и территориальной подвижности населения (интенсивности перемещений, не связанных со сменой места жительства). Регулярные миграции населения к местам приложения труда, учебы и отдыха приводят к формированию городских агломераций и определяют направления их развития, в том числе развития транспортного комплекса.

На развитие транспортного комплекса и формирование транспортной системы городской агломерации влияет ряд внешних и внутренних по отношению к транспортному комплексу факторов. Внешние факторы не поддаются влиянию со стороны транспортной системы или же их взаимное влияние достаточно косвенно – это экономическая ситуация, политическая обстановка, климатические условия, социально-демографическое развитие и т. д. К внутренним факторам можно отнести элементы транспортного комплекса и их характеристики. Любой транспортный комплекс определяют три основных составляющих: инфраструктура, подвижной состав и технология.

По прогнозам, заложенным в программы развития различных сфер экономики Российской Федерации, можно сделать вывод о том, что если не предпринимать никаких мер, то к 2030 г. средняя скорость движения по автодорогам в агломерациях страны снизится в 2,5 раза, то есть до 7 км/ч. Для решения транспортных проблем при развитии городских агломераций прорабатываются проекты создания магистрального рельсового каркаса с вовлечением пригородного железнодорожного транспорта (проект «Городская электричка»). Правительство страны ставит перед транспортом задачу формирования транспортных систем мирового уровня в 26 агломерациях, что позволит сократить на 15 % время в пути от работы до дома, на 15 % увеличить число пользователей общественного транспорта, на 15 % снизить вредное воздействие транспорта на экологию. По опросам, проводимым Координационным

центром правительства Российской Федерации 61 % жителей агломераций готовы пересесть с личного на общественный транспорт, если он станет комфортнее, быстрее и безопаснее.

Конечным пользователем услуг пассажирского транспорта является пассажир, который в пределах агломерации совершает от одной до трех и более пересадок, даже при регулярных поездках. Для снижения транспортной усталости время в пути, включая продолжительность пересадок, должно быть минимально целесообразным. Минимально целесообразной продолжительностью поездки можно считать такую продолжительность, которая устраивает пассажира определяя его выбор в пользу поездки по данной логистической цепочке, и может быть обеспечена при существующем уровне развития транспортной системы. Для достижения такой продолжительности необходимо обеспечить ритмичность работы транспорта. В Московской агломерации крайне высокая частота прибытия-отправления транспортных средств, что изначально обеспечивает согласованность и ритмичность работы различных видов транспорта при обслуживании пассажиров. Следовательно, повышается качество транспортного обслуживания населения, снижается транспортная усталость, и, в то же время, обеспечивается эффективность работы транспортных средств, однако в ряде случаев при залповых пассажиропотоках возникает повышенная нагрузка на инфраструктуру.

Транспортные комплексы городских агломераций отстают от Московской и Санкт-Петербургской агломераций в вопросах частоты и согласованности следования транспортных средств различных видов транспорта даже в пиковые часы. Поэтому обеспечение ритмичности работы транспорта в городских агломерациях крайне актуальная и перспективная задача. В то же время работа транспорта должна выстраиваться на основе ритмов изменения пассажиропотоков. И, кроме того, при реализации концепции клиентоориентированности на рынке услуг в отношении внешних клиентов (в данном случае пассажиров) необходимо учитывать структуру пассажиропотока и требования, предъявляемые каждым целевым сегментом к параметрам поездки.

1.2. Анализ пассажиропотоков городских агломераций

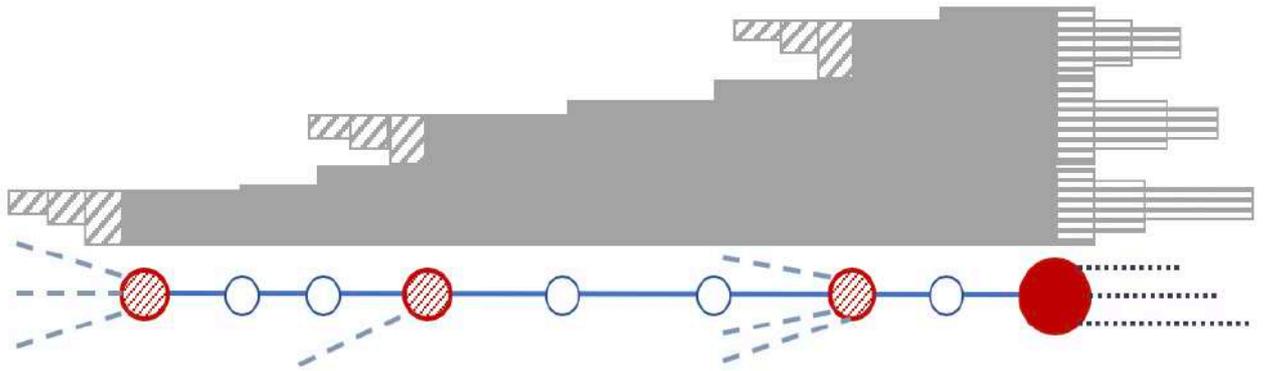
Одним из основных признаков сформировавшейся городской агломерации является наличие устойчивых массовых пассажиропотоков, которые обусловлены ежедневными миграциями населения к местам приложения труда, учебы и отдыха. В этой связи вопрос изучения пассажиропотоков является определяющим в поиске путей формирования устойчивой транспортной системы, способствующей развитию городской агломерации. Исследованиям в этой сфере посвящена работа [134].

Поскольку городские агломерации характеризуются полуторачасовой транспортной доступностью между городом-ядром и городом-спутником, то можно сказать, что для пассажиропотоков агломерации свойственны те же характеристики, что и для пригородных пассажиропотоков, то есть их пространственная и временная неравномерность.

Зарождение пассажиропотока на станциях отправления также происходит неравномерно, в том числе внутри каждого периода (пикового и непикового). Если еще несколько десятилетий назад можно было в целом считать появление пассажиров на станции равномерным, то сейчас это уж слишком серьезное допущение. Ранее любой пассажир готовился к поездке, руководствуясь действующим нормативным расписанием, которое могло оперативно корректироваться в зависимости от технологических особенностей работы железнодорожного транспорта в определенный текущий момент времени. Пассажир старался прийти немного заранее, чтобы не опоздать на нужный ему пригородный поезд. Сейчас же расписание пригородных поездов соблюдается с высокой степенью точности, до 99 %. Кроме того, пассажиры с помощью сети Интернет и мобильных приложений могут в режиме реального времени следить за расписанием движения поездов, его возможными изменениями и корректировками, и более точно планировать свою поездку. С учетом современного ритма жизни, когда человек старается снизить расходы времени на перемещения, формирование пассажиропотока по отправлению не происходит

равномерно. Также на процесс формирования пассажиропотоков на станции отправления накладывает влияние нормативное и фактическое расписание подвозящих видов транспорта. Необходимо учитывать и логику возможного поведения человека: сразу ли он пойдет на платформу отправления или воспользуется услугами, предоставляемыми на вокзальном комплексе (остановочном пункте), будет спешить на ближайший пригородный поезд или задержится на территории вокзального комплекса и поедет на следующем поезде.

Пространственная неравномерность, то есть распределение по длине пригородного участка выражается в том, что пассажиропоток может иметь различную величину и другие характеристики по мере приближения к головной станции города-ядра. Исторически пригородные пассажиропотоки рассматривались достаточно укрупненно и только до прибытия на головную станцию пригородного участка. В современных условиях с позиции формирования транспортной системы городской агломерации к анализу пассажиропотоков стоит подходить более детально. В моноцентрических агломерациях пассажиропоток по мере приближения к городу-ядру, как правило, увеличивается. Это увеличение происходит нелинейно: характер распределения пассажиропотока зависит от расположения городов-спутников и других населенных пунктов, генерирующих массовые пассажиропотоки, относительно пригородного участка. Таким образом, пригородный пассажиропоток на каждом направлении в городской агломерации формируется из локальных пассажиропотоков отдельных населенных пунктов, а по прибытии на головную станцию перераспределяется, «смешиваясь» с пассажиропотоками, поступающими с других направлений и пассажиропотоками непосредственно города-ядра. Укрупненно это показано на рисунке 1.3.

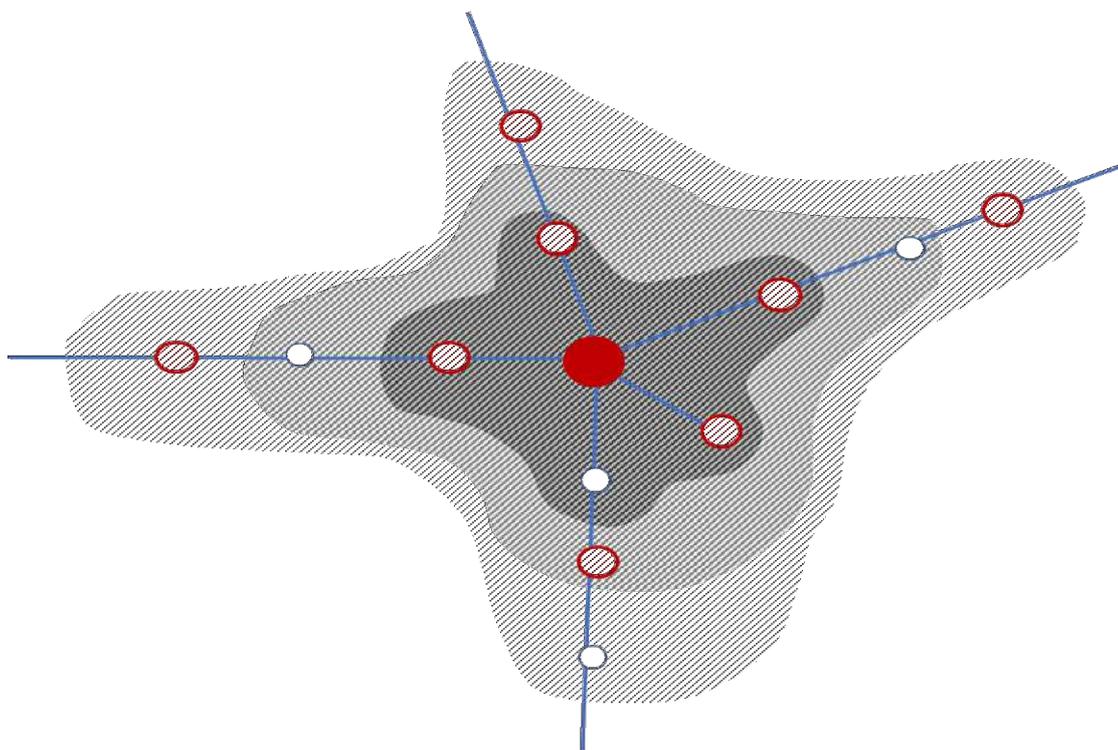


Условные обозначения:

-  – город-ядро (головная станция пригородного участка);
-  – города-спутники (станции и остановочные пункты, генерирующие основные пассажиропотоки);
-  – небольшие населенные пункты в зоне тяготения железнодорожной линии (остановочные пункты);
-  – пригородный железнодорожный участок (направление перемещения основного пассажиропотока);
-  – маршруты городского и пригородно-городского транспорта, подвозящего пассажиров к станции;
-  – маршруты транспорта города-ядра;
-  – пассажиропоток пригородного участка (густота пассажиропотока);
-  – пассажиропоток города-спутника в направлении железнодорожной станции;
-  – пассажиропоток «в распыление» по маршрутам городского транспорта города-ядра.

Рисунок 1.3 – Пространственная неравномерность пассажиропотока агломерации

На рисунке 1.3 представлено одно направление, соединяющее города-спутники с городом-ядром. Пассажиропотоки города-ядра формируются из пассажиропотоков нескольких таких направлений (рисунок 1.4). По прибытию в город-ядро пассажиропотоки суммируются и «распыляются» по городским и пригородно-городским маршрутам.



Условные обозначения:

-  – максимальная густота пассажиропотока;
-  – средняя густота пассажиропотока;
-  – низкая густота пассажиропотока.

Рисунок 1.4 – Густота пассажиропотоков на подходах к городу-ядру

По мере приближения к городу-ядру густота пассажиропотока увеличивается. Соответственно увеличивается количество и частота движения транспортных средств и, казалось бы, должна увеличиваться их вместимость. Однако по прибытию на головную станцию пассажиропотоки из разряда пригородных переходят в разряд городских со свойственными им характеристиками: сравнительно небольшие расстояния перемещения, многообразие маршрутов перемещения и т. д. То есть, несмотря на то что в городе-ядре пассажиропоток в несколько раз превосходит пассажиропоток пригородного направления, используются в основном меньшие по вместимости транспортные средства, поскольку количество направлений и маршрутов перемещения пассажиров несравнимо велико.

Перераспределение пассажиропотоков в городских агломерациях между направлениями движения и транспортными средствами различных видов транспорта происходит с совершением пересадок, что увеличивает общие затраты времени на перемещение. В ритме современной жизни человек старается максимально эффективно использовать свое время. Различные мобильные устройства и доступ к беспроводному Интернету позволяют постоянно оставаться на связи для работы, общения, учебы и развлечений даже во время поездки. Однако, пересадки при совершении поездки продолжают создавать различные неудобства для пассажиров, в том числе и тем, что увеличивают общее время, затрачиваемое на перемещение. В городских агломерациях основная доля пассажиров совершает минимум одну-две пересадки при поездке в одну сторону. Поэтому время, закладываемое на пересадку, не должно быть слишком продолжительным, но при этом должно, с одной стороны, позволить безопасно и спокойно перейти из одного транспортного средства в другое и, с другой стороны, иметь резерв на случай сбоя в движении для восстановления расписания.

Совершенно справедливо будет заметить, что чем меньше времени пассажир перемещается в транспортном средстве, тем меньше должно быть время ожидания в пункте пересадки, и, напротив, при более продолжительной поездке более длительная пересадка будет вполне допустима. Рациональная продолжительность пересадки с точки зрения клиентоориентированности и с учетом технико-технологических возможностей является важным параметром при формировании транспортной системы городской агломерации. При определении продолжительности пересадки необходимо учитывать ряд параметров: развитость коммуникационных путей инфраструктуры транспортно-пересадочного узла (ТПУ), плотность расписания движения транспортных средств на маршруте (возможность пересадки в следующее транспортное средство), характеристики пассажиропотока, совершающего пересадку, и т. д.

Итак, пространственную неравномерность пассажиропотока городской агломерации определяют:

- количество городов-ядер (моноцентрическая или полицентрическая агломерация);
- количество городов-спутников и их расположение относительно транспортной инфраструктуры;
- параметры инфраструктурных объектов и количество подходов к городу-ядру;
- расположение объектов притяжения, порождающих и погашающих массовые пассажиропотоки.

Другой особенностью пригородных пассажиропотоков, на которой должно базироваться формирование транспортной системы городской агломерации, является их временная неравномерность: по сезону года, по дням недели, по времени суток. Эта неравномерность связана с целью поездок пассажиров.

Если говорить о сезонной неравномерности, то, например, в летний период из-за поездок на дачу возрастает пассажиропоток в выходные дни, а в будние дни пассажиропоток напротив – снижается, что связано с отсутствием такого сегмента пассажиропотока, как студенты и школьники, и с сокращением доли пассажиров, совершающих поездки на работу, в связи с периодом отпусков (рисунок 1.5).

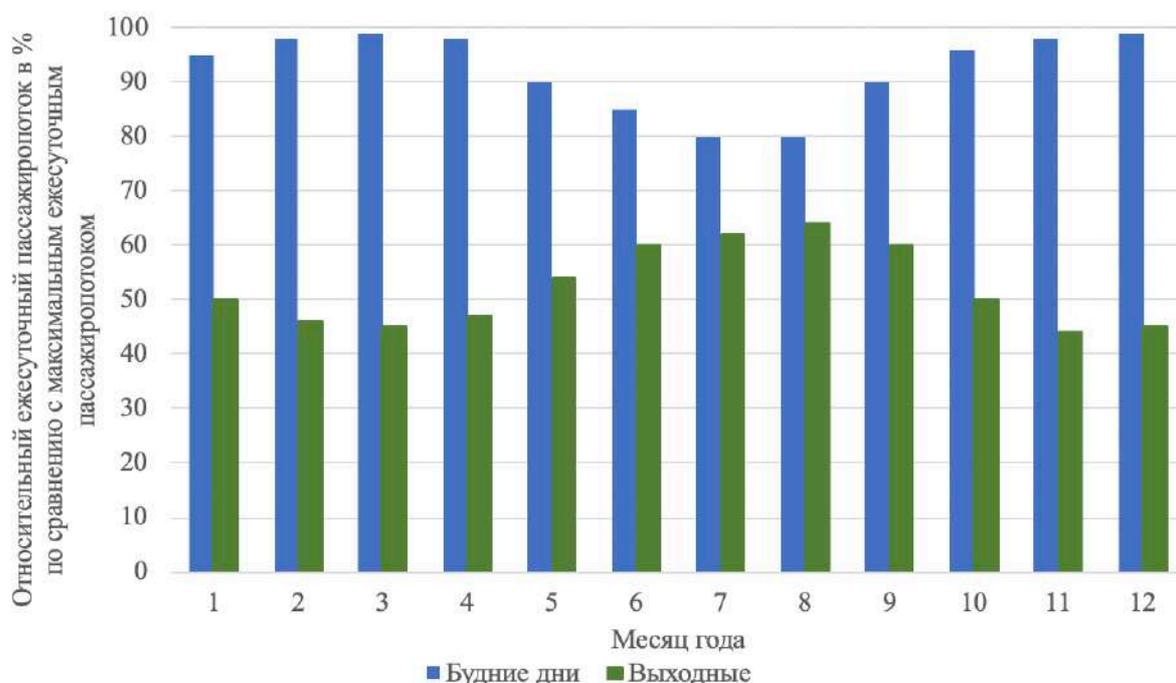


Рисунок 1.5 – Сезонная неравномерность пассажиропотока городских агломераций

В будние дни утренний «пик» прибытия пассажиров на головную станцию имеет более четкие, узкие границы времени, что связано с фиксированным временем начала работы. Вечерний же «пик» отправления с головной станции пассажиров более размыт, что связано с отсутствием привязанности человека в это время суток к жесткому графику и выполнением личных дел, походами по магазинам, местам культурного отдыха и развлечений после окончания рабочего дня (рисунки 1.6, 1.7).

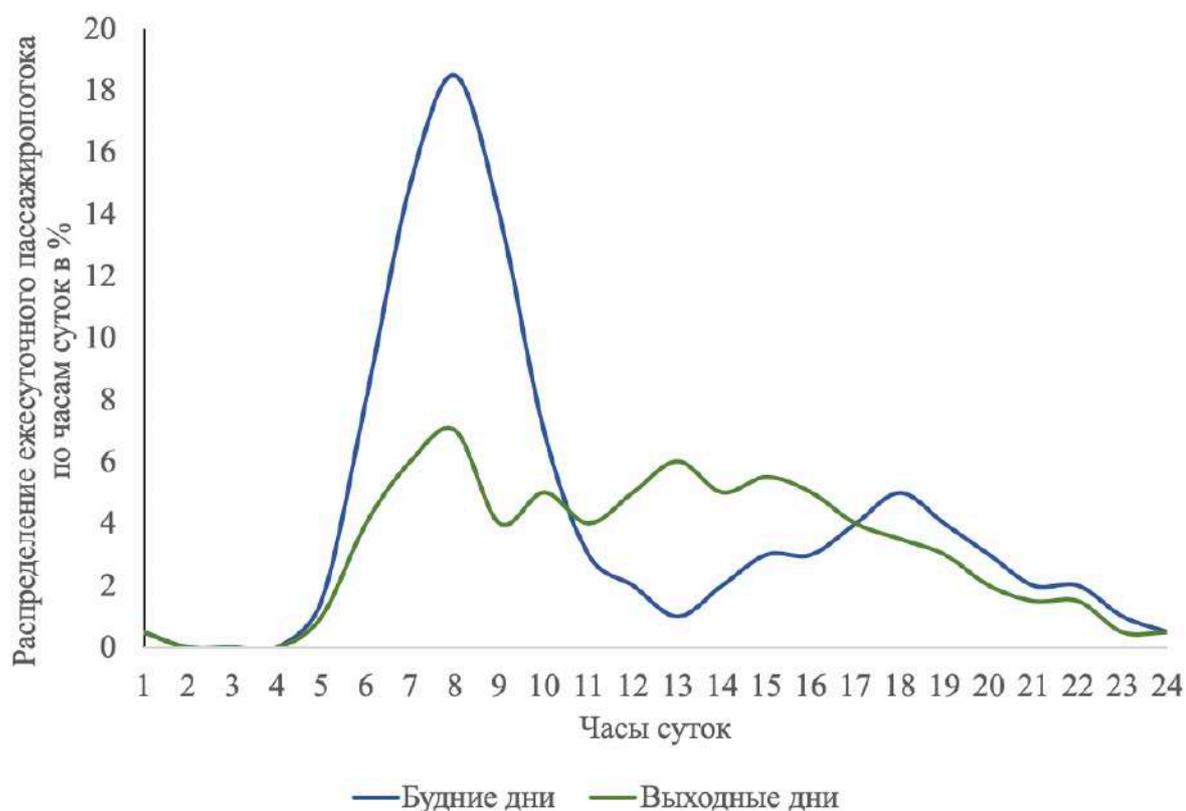


Рисунок 1.6 – Неравномерность пассажиропотока по прибытию на головную станцию участка в течение суток

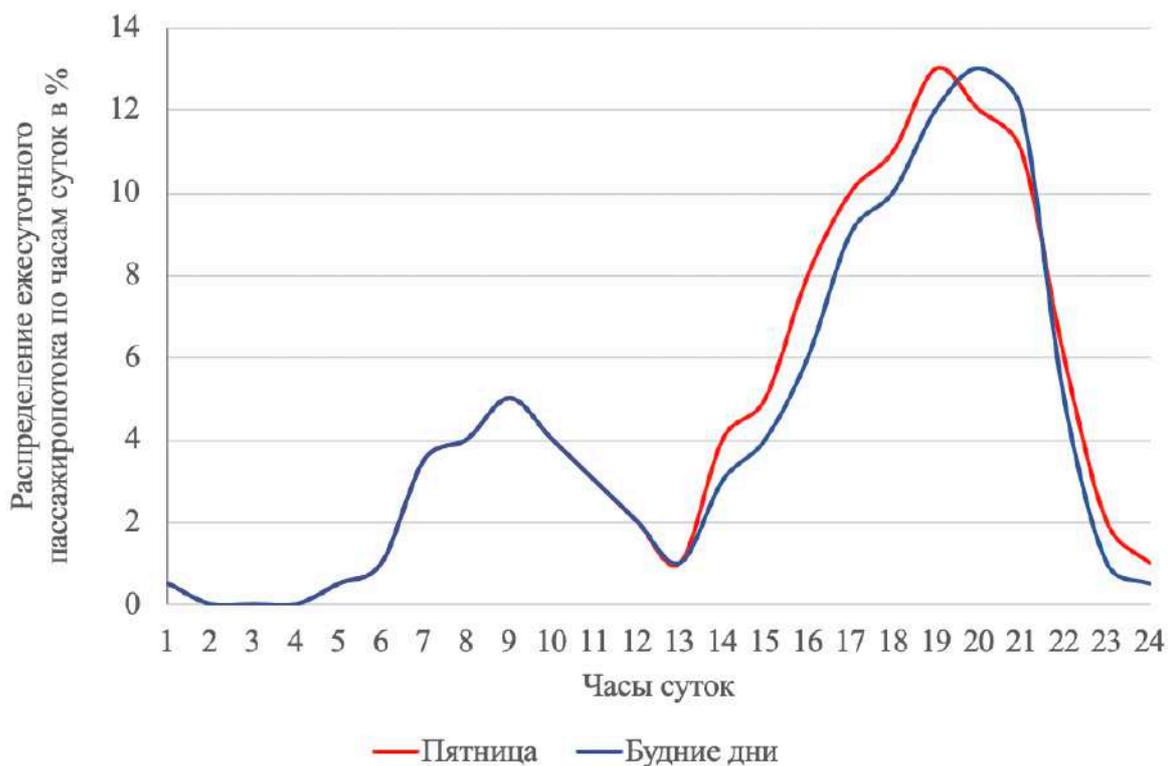


Рисунок 1.7 – Неравномерность пассажиропотока по отправлению с головной станции участка в течение суток

В любой сезон года неравномерность пассажиропотока по дням недели связана со снижением ярко выраженных «пиковых» периодов в утренние и вечерние часы – пассажиропоток значительно ниже и более равномерно распределен в течение суток.

Неравномерность пригородного пассажиропотока обычно учитывалась на железнодорожном транспорте при составлении графиков и расписаний пригородных поездов (различных по сезонам года и дням недели). При формировании транспортной системы городской агломерации необходимо, чтобы данный аспект был учтен на всех видах транспорта, образующих эту систему.

Временную неравномерность пассажиропотока определяет в основном цель поездки пассажира и соответствующий ей необходимый период совершения поездки. Поездки к местам работы и учебы достаточно жестко привязаны ко времени работы предприятий и учебных заведений – такие поездки формируют основной устойчивый пассажиропоток. Поездки, не привязанные жестко к

определенному времени, также формируют значительный, но «плавающий» пассажиропоток.

Кроме того, в современных условиях необходимо рассматривать не только неравномерность пассажиропотока, но и его неоднородность, которая заключается в том, что пассажиропоток, следующий по одному маршруту, состоит из различных сегментов. В частности, выше уже было сказано о том, как изменяется в течение года пассажиропоток с учетом различных образующих его сегментов (рисунок 1.8) и как это отражается на графике и расписании движения пригородных поездов.

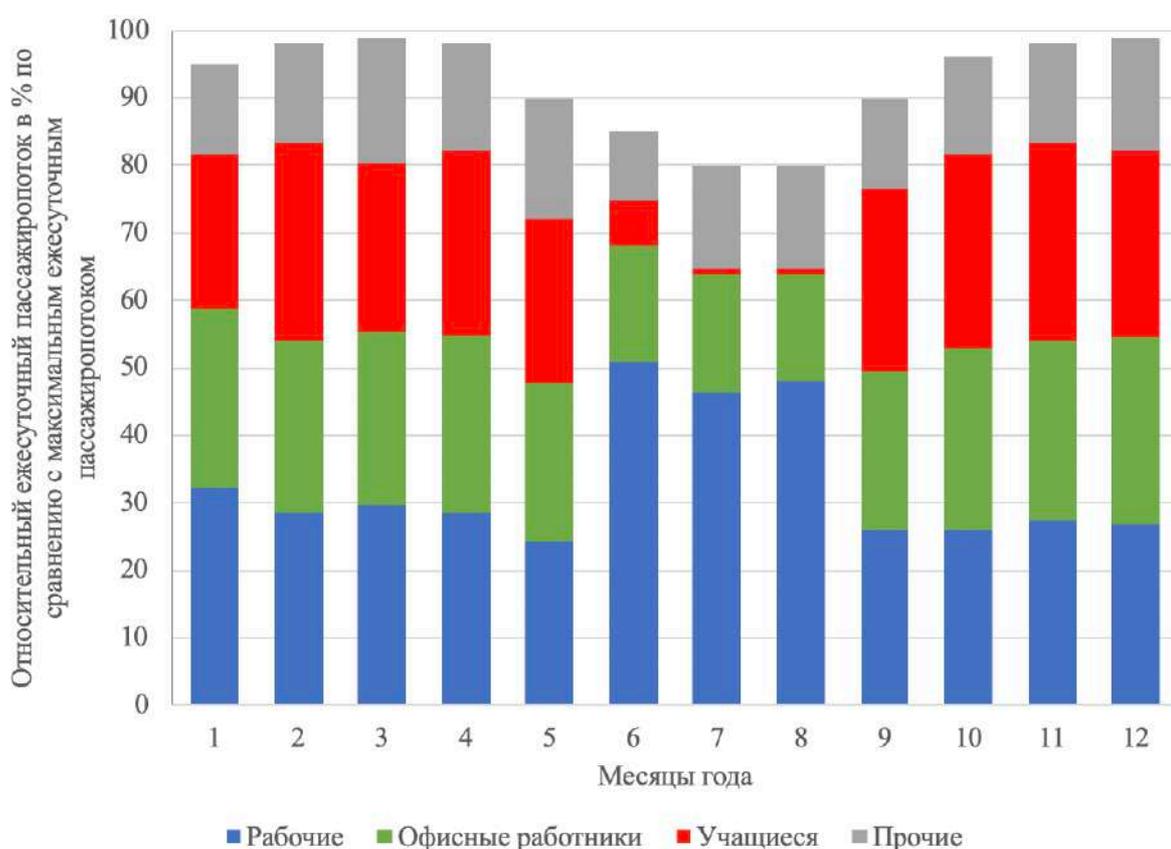


Рисунок 1.8 – Неравномерность пассажиропотока по сезонам года в будние дни с учетом различных сегментов

Если в целом говорить об укрупненных сегментах пассажиропотока, то они могут быть дифференцированы по платежеспособности и соответствующим требованиям к параметрам поездки, включая время ее совершения, комфорт и набор услуг в пути следования. Многочисленные исследования, проводимые Всероссийским центром исследования общественного мнения, ОАО «РЖД» и

пригородными пассажирскими компаниями, показывают, что пригородный пассажиропоток городских агломераций состоит из следующих укрупненных групп сегментов: рабочие со сменным графиком работы, офисные работники, учащиеся (студенты и школьники), прочие пассажиры (рисунки 1.9, 1.10).

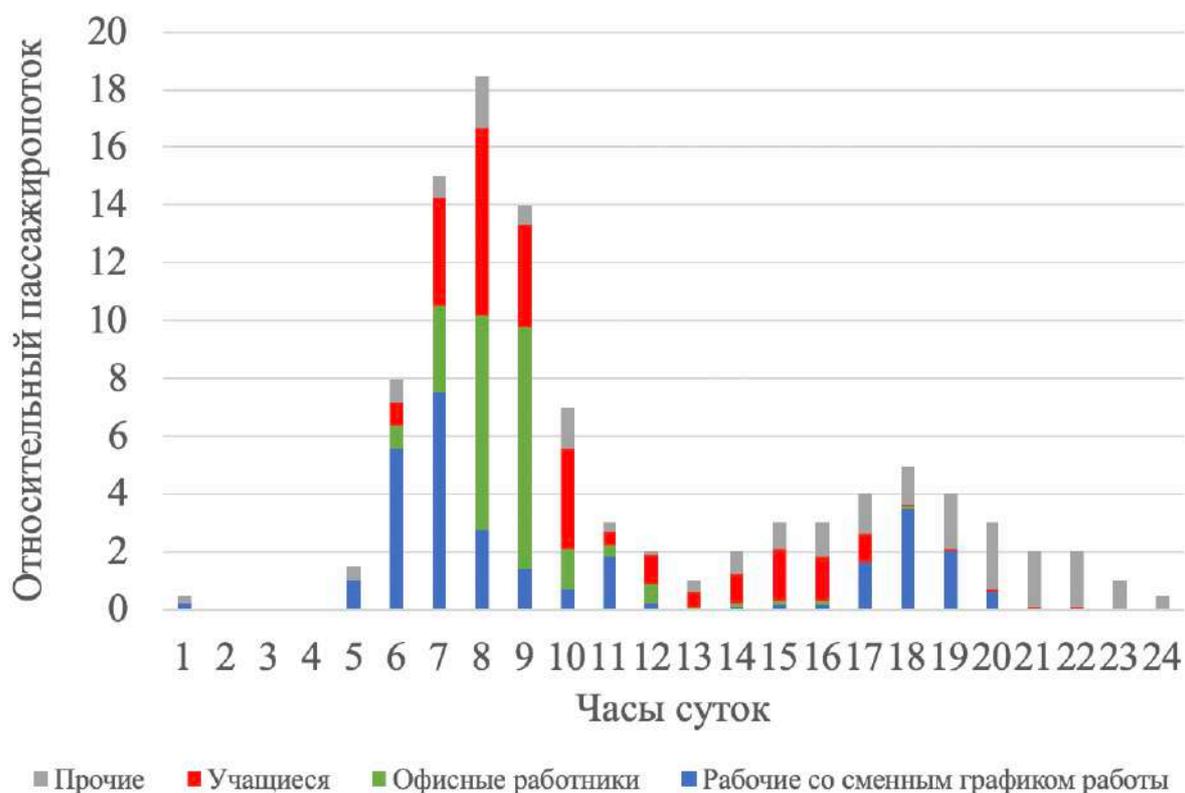


Рисунок 1.9 – Неравномерность пассажиропотока по прибытию на головную станцию в течение суток с учетом различных сегментов

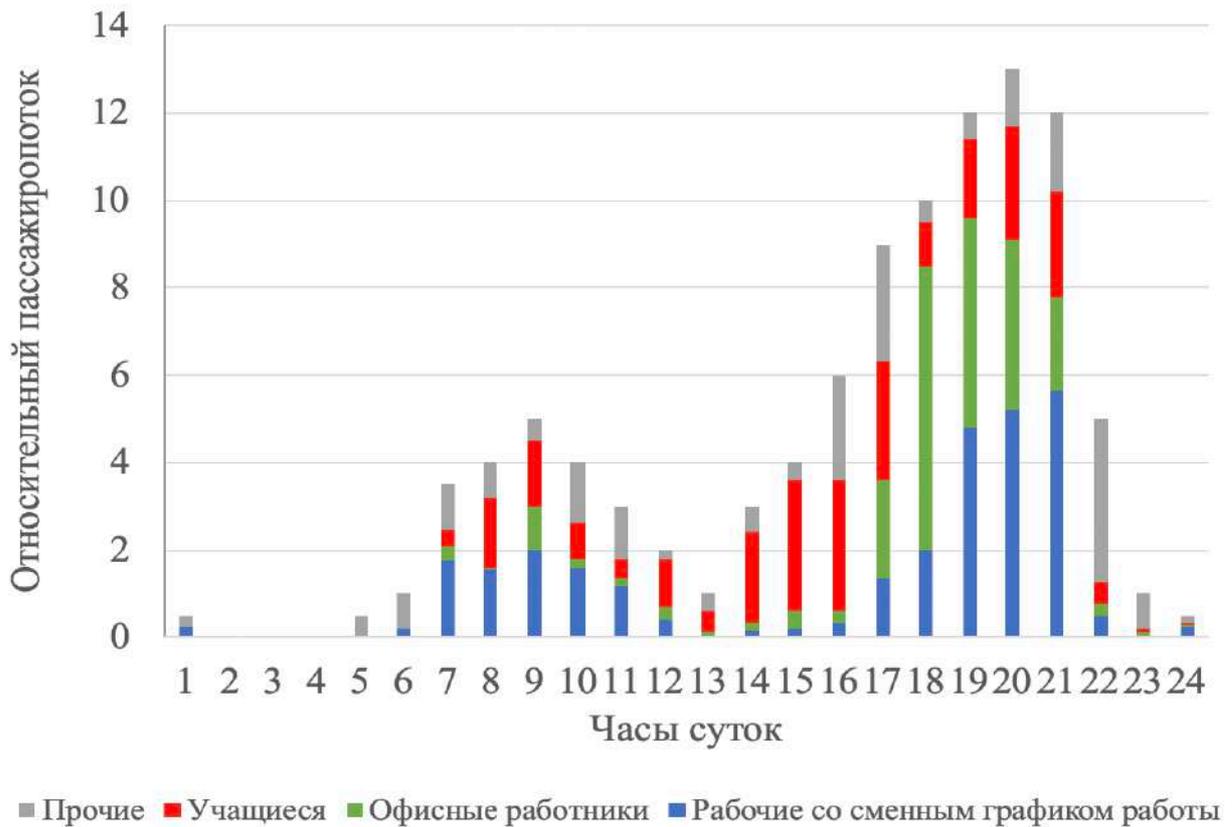


Рисунок 1.10 – Неравномерность пассажиропотока по отправлению с головной станции в течение суток с учетом различных сегментов

В настоящее время неоднородность пассажиропотока частично учтена на железнодорожном транспорте включением в состав пригородных поездов вагонов различного класса с дифференцированными тарифами, в ряде случаев назначением поездов разного класса комфортности. Принципы клиентоориентированного обслуживания при формировании транспортной системы требуют обеспечения единого сквозного уровня качества по всему маршруту поездки пассажира.

Таким образом, можно сделать следующие выводы о пассажиропотоках городских агломераций, которые должны быть учтены при формировании транспортной системы:

1. Пассажиропотоки городской агломерации неравномерны в пространстве и времени, и им свойственны признаки как пригородных, так и городских пассажиропотоков.

2. Пассажиропотоки городских агломераций неоднородны по своей структуре и должны рассматриваться в разрезе составляющих их сегментов, при

этом потребности одних сегментов могут быть учтены только при составлении расписания движения, а других – также при выборе классов обслуживания.

3. При совершении внутриагломерационных поездок основная часть пассажиров пользуется не одним видом транспорта и совершает порядка 1–3 пересадок.

4. Значительная часть поездок пассажиров в городских агломерациях жестко привязана ко времени, что обусловлено целью поездки. В основном это поездки на работу и учебу.

Сложность изучения пассажиропотоков и маршрутов их перемещения заключается в том, что пассажиропотоки формируются на существующих маршрутах. Потенциальные пассажиры самостоятельно оценивают возможности различных видов транспорта, существующие маршруты, стоимость проезда, расписание движения, комфорт и другие параметры предстоящей поездки, сопоставляют их со своими потребностями и выбирают способ перемещения (рисунок 1.11). Особого внимания при формировании транспортной системы требуют безальтернативные маршруты, то есть те, где у пассажира отсутствует выбор (есть только один способ совершения поездки). Неудовлетворительное транспортное обслуживание на таких маршрутах может привести к полному отказу от поездок, смене места жительства и серьезным социально-экономическим изменениям в населенном пункте.



Рисунок 1.11 – Сопоставление потребностей пассажира и возможностей транспорта на рассматриваемом маршруте

Итак, на формирование пассажиропотоков и распределение их между маршрутами следования и видами транспорта оказывают влияние как факторы, которые исходят от самого пассажира, так и не зависящие от него или частично зависящие факторы. Чем больше параметров предполагаемой поездки соответствует ожиданиям пассажира, тем более вероятен выбор данного способа поездки по рассматриваемому маршруту.

В свою очередь, тот транспортный продукт, который может быть предложен пассажирам, формируется под воздействием ряда внешних и внутренних по отношению к транспорту факторам.

1.3. Транспорт городских агломераций и понятие о пассажирских транспортных системах

В настоящее время транспорт городских агломераций представлен видами городского общественного транспорта, входящих в состав агломерации муниципальных образований, пригородным общественным транспортом, обеспечивающим связь между муниципальными образованиями, а также личным автотранспортом.

Сейчас еще нельзя говорить о существовании именно пассажирской транспортной системы городской агломерации. Если подходить к этому вопросу с позиций того, что систему составляют несколько элементов, каждый из которых в свою очередь является системой. С точки зрения агломерации есть транспортные системы отдельных муниципальных образований: города-ядра и городов-спутников.

Для обеспечения устойчивости работы системы она должна иметь возможность сопротивляться внешним факторам, то есть обладать самоподдержанием. Можно сказать, что сейчас частично самоподдержание осуществляет сам пассажир, который любым способом стремится добраться до пункта назначения (выбирает тот или иной вид транспорта, пересеживается в личный автомобиль, заказывает такси, пересеживается на метро и т. д.). В транспортных системах крупных городов в последние годы можно отметить и наличие самоподдержания (при ремонте участков метрополитена взамен вводят автобусные маршруты для обеспечения транспортного обслуживания). Транспортная система каждого муниципального образования управляема местными органами власти, в то время как внутриагломерационные связи (между этими муниципальными образованиями) находятся уже в ведении региональных властей. Кроме того, межагломерационные транспортные связи обеспечиваются не одним видом транспорта, а как минимум двумя: железнодорожным и автомобильным. С точки зрения агломерации можно говорить о транспортном

комплексе, предсистеме. Для обеспечения достижения агломерационного эффекта должна быть именно пассажирская транспортная система городской агломерации.

В городе-ядре и в каждом городе-спутнике есть своя транспортная система с определенными ритмами, с точки зрения агломерации в этой системе есть подсистема, ответственная за доставку пассажиров на вокзал железнодорожной станции (или автостанции) с целью последующей поездки пригородным транспортом. У пригородного транспорта в свою очередь другие ритмы работы. Необходимо установить такой баланс и найти такие параметры, при которых будет обеспечена целостность пассажирской транспортной системы агломерации и ее активное самоподдержание.

Сейчас в данной «системе» присутствуют элементы дезорганизации: «серые автобусы» (нигде не зарегистрированные маршруты, осуществляющие подпольную деятельность), частные перевозчики. Либо их можно рассматривать как лишние и ненужные факторы, внешние по отношению к системе. Повлиять на них напрямую нельзя, но если система будет максимально соответствовать ожиданиям пассажиров, то это внешнее и лишнее само собой отпадет. Личный автотранспорт, с одной стороны, также внешний элемент относительно системы – его достаточно сложно организовать, несмотря на использование таких подходов, как платные дороги, платные парковки и т. д. Поэтому даже если перехватывающая парковка вблизи железнодорожной станции, то рассматривать личный транспорт, на котором пассажир добирается до посадки в пригородный поезд как часть системы пока еще нельзя, поскольку управляющее решение принимается не одним человеком.

Выше было сказано, что пассажир сейчас сам пытается организовать самоподдержание своей «личной» транспортной системы, но по отношению к «всеобщей» транспортной системе он может также являться и дезорганизующим фактором. В отличие от груза, который был принят к перевозке, а далее его везут так, как определяет перевозчик, пассажир – может сам изменить свой маршрут, если условия поездки его не удовлетворяют. Конечно, с точки зрения транспортной системы не стоит рассматривать каждого отдельного пассажира – следует вести

речь об определенных укрупненных сегментах пассажиропотока, объединенных общими признаками (цель поездки, средний доход, предпочитаемое время совершения поездки и т. д.). Поэтому если говорить о цели существования транспортной системы городской агломерации, то это гарантированное обеспечение перемещения (в нужное время и по нужному маршруту) наиболее массовых и устойчивых сегментов пассажиропотока.

Если провести предварительный анализ, то можно сказать:

а) у объекта есть общая функция – доставка пассажиров в нужное время в нужное место с определенным уровнем комфорта;

б) основные параметры: время, стоимость поездки и комфорт;

в) подсистемы: транспортные системы каждого города (муниципального образования) и внутриагломерационные связи между ними. Функции подсистем: городские – подвоз пассажиров к пригородным поездом (или автобусам); у пригородных поездов (или автобусов) функция основного перевозчика и обеспечение транспортных связей между городом-ядром и городами спутниками. Параметры каждой подсистемы: характеристики подвижного состава и инфраструктуры, которые позволяют осуществлять перевозку в определенное время с определенной провозной способностью с определенным уровнем комфорта за определенную стоимость и т. д.;

г) дезорганизующее воздействие могут оказывать «серые перевозчики», личный автотранспорт, сами пассажиры; кроме того, можно отметить ограниченность перевозочных ресурсов (в том числе инфраструктура) экономические факторы (все хотят получить прибыль лично для своей компании);

д) обеспечение системной целостности может быть достигнуто за счет того, что функции отдельных элементов системы могут управляемо меняться. Например, утром в час «пик» автобусы привозят пассажиров на вокзал, где они пересеиваются на пригородный поезд, а днем пассажиропоток значительно меньше, на железнодорожном транспорте «окна», поэтому пассажиропоток на пригородном направлении в дневные часы (особенно в периоды «окон») может быть освоен этими автобусами.

Если проводить аналогию между пассажирской транспортной системой и живым организмом, то можно ее сравнить с кровеносной системой: вены и артерии, которые доставляют кровь к и от сердца (города-ядра) и капилляры, доставляющие кровь в самые «отдаленные» участки тела. Есть органы, где нужно больше сосудов и капилляров (города с большой плотностью населения), а есть где их требуется гораздо меньше. Состав крови тоже неоднородный и может меняться (различные транспортные средства с различной вместимостью, различная скорость движения, различная пропускная способность и т. д.). При этом снабжение органов кислородом посредством кровеносной системы необходимо осуществлять своевременно и в разные периоды жизнедеятельности организма с различной интенсивностью и в различном объеме, иначе работа органов может быть нарушена. Проведенное сравнение вполне логично, поскольку без транспортной системы, обеспечивающей стабильные ритмичные перемещения населения внутри городской агломерации, невозможно существование и развитие ни одной сферы экономики городской агломерации.

1.4. Анализ практического опыта формирования пассажирских транспортных систем городских агломераций

1.4.1. История развития и особенности пассажирских транспортных систем за рубежом

В любой стране развитие агломераций – это естественный, но сложный процесс, требующий развития всех видов коммуникаций, и в первую очередь транспортных. Это хорошо видно на примере городских агломераций стран с достаточно высоким уровнем ВВП. При этом исследования, проводимые в таких странах, показывают, что недостаточное развитие транспортных систем и автомобильные «пробки» приводят к потере до 9 % ВВП ежегодно, а в Китае данный показатель достигает 10 %.

Наибольшее количество городских агломераций сформировано и продолжает формироваться в Европейских странах. Этому процесс способствует сравнительно небольшое расстояние между крупными населенными пунктами, которое не превышает 200 км. В России же даже города-миллионеры зачастую не имеют крупных городов-спутников, особенно в восточной части страны (Новосибирск, Омск, Красноярск). Расстояние между центрами производственно-экономической и социально-культурной жизни достигает 700 км (Омск – Новосибирск, Хабаровск – Владивосток, Ижевск – Екатеринбург). Это опять же связано с ролью транспорта в размещении населенных пунктов – чем ниже развитость транспортной инфраструктуры, тем ниже плотность населения и удаленность населенных пунктов друг от друга. Данные, приведенные в таблице 1.1 демонстрируют существенную разницу плотности населения в Европе и России.

Таблица 1.1 – Плотность населения в различных странах

Страна	Плотность населения, чел/км ²
Великобритания	255
Германия	229
Швейцария	185
Польша	123
Франция	115
Россия (Центральный федеральный округ)	59,2
Россия (Восточные регионы)	3 – 15

Разветвленная железнодорожная сеть и наличие различных категорий поездов обеспечивает устойчивые транспортные связи между крупными городами Европы, способствуя существенному повышению агломерационного эффекта. В этом вопросе Россия еще в начале пути, поэтому требуются новые технологические и технические решения в сфере развития пассажирских транспортных систем городских агломераций.

При анализе зарубежного опыта в части обеспечения транспортного обслуживания городских агломераций важно учитывать ряд особенностей государств, где мультимодальные пассажирские перевозки получили широкое распространение.

Проведенный анализ [136] позволил выделить основные категории пассажирских поездов, обращающихся в зарубежных странах с развитыми железнодорожными перевозками:

- пригородно-городские поезда, обеспечивающие внутриагломерационные перемещения (маршрут от начальной до конечной станции не превышает 60 км, поезд преодолевает его за 1–1,5 часа с остановками практически на всех станциях);
- региональные поезда с местами для сидения (маршрут ограничен географией региона и преодолевается полностью за 5–6 часов, в пределах маршрута следования пригородно-городских поездов остановок не совершает);
- межрегиональные поезда с местами для сидения схожи по своим характеристика с региональными, но маршруты их следования выходят за границы одного региона;

Поезда приведенных категорий предназначены для обеспечения транспортных связей внутри одной агломерации, а также для связи соседних агломераций друг с другом. При этом маршруты следования межрегиональных поездов не обязательно ограничены городами-ядрами двух агломераций, но, как правило, начинаются в одном из них.

В странах, где развито высокоскоростное сообщение, скоростные и высокосортные поезда также задействованы в обеспечении межагломерационных транспортных связей. Одним из ярких примеров здесь можно назвать Китай, обладающий наибольшей в мире сетью высокосортных магистралей. В крупнейших агломерациях Китая (Пекин, Шанхай) центральные вокзальные комплексы представляют собой крупнейшие ТПУ с широким спектром различных услуг, объединяя не только железнодорожные линии различных направлений, но и

маршруты транспорта на магнитном подвесе (в основном в аэропорты) и автомобильного транспорта.

Ночные поезда с местами для лежания не имеют особой популярности среди населения и отличаются повышенными тарифами, в которые заложена не только поездка, но и, так называемое, пользование «гостиничными услугами» в пути следования.

Не только широкий спектр категорий пассажирских поездов в развитых зарубежных странах приводит к повышению подвижности населения и позволяет развивать мультимодальные перевозки. Этому также способствует ряд других факторов.

В странах Европейского Союза система организации перевозок выстроена на принципах клиентоориентированности, то есть создания максимальных удобств пассажиру. Пригородно-городские, региональные и междугородние перевозки могут осуществляться одним перевозчиком или разными перевозчиками, входящими в холдинг, а также самостоятельными (независимыми) перевозчиками. Однако во всех перечисленных случаях в той или иной степени перевозки интегрированы между собой (в последнем случае интеграция обеспечивается благодаря наличию внешних координирующих органов – транспортных союзов, ассоциаций и т. п.).

Принципы клиентоориентированной интеграции состоят в том, что поезда различных сообщений максимально дополняют друг друга. Обычно на узловых станциях время отправления (прибытия) региональных поездов согласовано с временем прохождения междугородних (международных) поездов таким образом, чтобы обеспечивалась возможность пересадки пассажиров между поездами различных видов сообщений. Такая концепция позволяет значительно увеличить доступность железнодорожного транспорта. Для удобства пассажиров создаются единые информационные системы, позволяющие получать максимально полную информацию о возможных вариантах поездки по мультимодальному (интермодальному) маршруту. Например, информационный сервис DB позволяет пассажиру находить множество вариантов проезда между двумя заданными

станциями (как беспересадочные, так и альтернативные с пересадками). Благодаря такой организации информационно-справочного обслуживания мобильность пассажира многократно возрастает.

Компания *FromAtoB* (*verkehrsmittelvergleich*) – мультимодальный планировщик путешествий, агрегирует данные более чем 700 агентств, предоставляет возможности для быстрого бронирования средств авиа-, железнодорожного транспорта, автотранспорта (автобусы и райдшеринг (*carpooling*)) и подбирает самые дешевые билеты, включая специальные предложения от транспортных компаний. Создан при поддержке правительства Германии и Европейской комиссии и используется для путешествий по Европе и из Европы в Соединенные Штаты Америки. Планировщик мультимодального путешествия предлагает на выбор несколько видов транспорта с функциями умного решения: «минимальные временные затраты» или «минимальная стоимость».

Обеспечение подвижности населения является одной из ключевых задач железных дорог Швейцарии *Schweizerische Bundesbahnen (SBB)*. Более 20 лет *SBB* использует понятие «комбинированной мобильности», подразумевающее использование нескольких видов транспорта для обеспечения поездки пассажира «от дери до двери». Для организации внутриагломерационных перемещений в Швейцарии используют городской, автомобильный и железнодорожный транспорт, работающие по согласованным расписаниям и имеющие единую систему информирования пассажиров, интегрированную систему контроля и оплаты поездок и систему мониторинга качества транспортных услуг. Также все участвующие в согласованной перевозке пассажирские компании имеют единую систему лояльности. Вся эта технологическая и информационная взаимосвязь также реализована в Интернет-ресурсах. При этом изначально роль провайдера таких логистических услуг взял на себя именно железнодорожный транспорт, то есть *SBB*.

Отдельного внимания заслуживает опыт крупнейших зарубежных железнодорожных операторов, владеющих собственным автобусным парком.

Компания *Deutsche Bahn (DB)* стала не только первопроходцем в этом вопросе, но и сегодня успешно реализует и развивает данный вид бизнеса, о чем свидетельствует ее новая стратегия развития междугороднего автобусного парка, в соответствии с которой до конца 2016 года *DB* планирует увеличить предложение на рынке автобусов дальнего следования в четыре раза. Такой эффект обусловлен, в первую очередь, историей развития рынка пассажирских перевозок Германии, нетипичной для Старого Света. Европейские страны-соседи (Франция, Испания, Бельгия) автобусное и железнодорожное сообщение развивали параллельно на принципах свободной конкуренции. На немецких землях более 80 лет процветала монополия – закон от 1934 года запрещал прокладывать автобусные маршруты длиннее 50 км так, где уже проходила ветка железной дороги (т. е. практически везде, за исключением небольших городков и удаленных населенных пунктов). Таким образом, единственным наземным способом передвижения для жителей (помимо личного автотранспорта) была железная дорога, а единственным перевозчиком – национальный железнодорожный оператор *DB*.

Концерн *DB* первым среди железнодорожных операторов приобрел собственный автобусный парк. Начиналось все с перевозок пассажиров на автобусе из Берлина в Дортмунд, поездка длилась в два раза дольше, чем на скоростном поезде *ICE*, но стоила в 2,5 раза дешевле. Выгодная ценовая политика привлекла население и уже к 2009 году *DB* автобусами за год перевозили до 700 тыс. пассажиров. Успешный опыт позволил расширить зону влияния и немецкий концерн купил французскую компанию *Veolia Transdev (VTCE)*, специализирующуюся на перевозках по восточной Европе, создав автобусный сервис на дальние расстояния. После этой сделки *DB* запустил автобусные перевозки в 15 европейских странах. Сегодня междугороднее автобусное сообщение обслуживает пассажиров в рамках тарифной системы немецких железных дорог. Существуют как регулярные автобусные рейсы, так и рейсы–«дублеры» пассажирских поездов на период ремонтных работ на железной дороге.

Еще одним крупнейшим железнодорожным оператором, владеющим автобусным парком, является компания Национальная компания железных дорог

Франции *Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF)*. В ее состав также входит автобусная компания, автобусы которой курсируют на тех направлениях, где нет железной дороги или пассажиропоток невелик. Часто, чтобы добраться до места назначения, *SNCF* продает комбинированный проездной документ «поезд+автобус», купить который можно как в кассе, так и на сайте *SNCF*. Автобусы, принадлежащие компании, перевозят пассажиров не только по территории Франции, но и в другие страны Европы. Поскольку стоимость проезда автобусом значительно ниже, чем поездом такие перевозки пользуются спросом у населения.

Amtrak – американская компания, которая также занимается и железнодорожными, и автобусными пассажирскими перевозками. Компания принадлежит американскому правительству, ежегодно перевозит более 30 млн пассажиров и обслуживает 500 пунктов назначения в 46 штатах США и трех провинциях Канады. При этом спецификой железных дорог в Америке является незначительное внимание к пассажирским перевозкам. Сегодня относительно удобно можно перемещаться с помощью железной дороги только в трех районах: Чикагская агломерация, маршрут Бостон – Ричмонд, проходящий через Нью-Йоркскую агломерацию, Филадельфию и Вашингтон, и Калифорния. Относительно интенсивное движение пассажирских поездов осуществляется вдоль канадской границы, во Флориде и в отдельных районах Восточного побережья. Покрытие остальной территорией маршрутной сетью пассажирских железнодорожных перевозок крайне низко: либо железнодорожные линии отсутствуют вообще, либо интенсивность движения пассажирских поездов не превышает одной пары в сутки. В таких условиях система автобусных маршрутов *Amtrak*, связывающих железнодорожные станции с районами, не имеющими железной дороги (или имеющими железную дорогу – но не имеющими пассажирского движения на ней) – это необходимое условие функционирования компании.

Поскольку авиатранспорт занимает лидирующие позиции в США – именно в Северной Америке компания воздушного транспорта *SAS Airlines* и

железнодорожная *Amtrak* предприняли первые попытки в области организации «смешанных пассажирских сообщений». *SAS Airlines* оформляет проездные документы на авиаперелет из США в Швецию и Данию, состоящие из двух частей, вторая из которых используется для проезда из аэропорта назначения в нужный город вместо внутреннего по стране. С начала XXI века авиакомпании по всему миру активно взаимодействуют с железнодорожным транспортом в части обеспечения взаимосвязи аэропортов с центром ближайшего мегаполиса с целью повышения доступности своих услуг.

Актуальный тренд, который сегодня можно наблюдать не только в Германии, но и в мировой железнодорожной отрасли в целом, заключается в активном развитии крупными железнодорожными компаниями бизнеса междугороднего автобусного сообщения. Компании, входящие в данный бизнес, преследуют очень практические цели:

- создание эффективного сервиса, который обеспечивает приток пассажиров на железнодорожный транспорт за счет предоставления транспортной доступности в регионы с ограниченной железнодорожной инфраструктурой («последняя миля»);
- минимизация оттока пассажиров с железнодорожного транспорта на автобусный вид перевозки, привлекаемых более низкой стоимостью проезда и гибким расписанием;
- получение прибыли из смежного с пассажирскими железнодорожными перевозками сегмента бизнеса и создание дополнительного источника дохода для бизнеса железнодорожных вокзалов.

1.4.2. Особенности формирования пассажирских транспортных систем городских агломераций Российской Федерации

В Российской Федерации ежедневные трудовые внутриагломерационные миграции населения на расстояния от 50 до 150–200 км требуют повышения скорости перемещения для сокращения непроизводительного времени,

проводимого пассажирами в пути. Основными видами транспорта, осуществляющими пригородные и пригородно-городские перевозки, являются общественный автомобильный (автобусы и маршрутные такси) и железнодорожный транспорт. Кроме того, значительную долю поездок население агломераций совершает с помощью личных автомобилей, что негативным образом сказывается на экологической обстановке. Ученые пришли к выводу о том, что ежегодно в агломерациях дополнительные затраты топлива из-за «пробок» составляют порядка 2,9 млн литров, а дополнительные выбросы в атмосферу CO₂ – 7 тысяч литров.

Пригородные пассажирские перевозки, осуществляемые железнодорожным транспортом, имеют ряд специфических особенностей в России, связанных с организационно-технологическими, экономико-управленческими и нормативно-правовыми вопросами:

- значительная доля маршрутов пригородных перевозок проходит по территории нескольких субъектов Российской Федерации, характеризующихся различным уровнем жизни, а следовательно, различными требованиями к поездке;
- каждый регион самостоятельно формирует заказ на пригородные перевозки, исходя из своих потребностей по обеспечению подвижности населения;
- пригородные отличаются высокой степенью пространственной и временной неравномерности, обусловленной особенностями формирования пассажиропотока;
- в основном пригородные пассажирские перевозки осуществляются на одной инфраструктуре, используемой для обращения пассажирских поездов других категорий и грузовых поездов;
- отсутствие конкуренции между перевозчиками на железнодорожном транспорте при высокой степени конкуренции со стороны автомобильного транспорта;
- высокая доля убыточных маршрутов пригородного железнодорожного сообщения;

– разрозненность нормативной базы, регулирующей взаимодействие участников перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, а также организации мультимодальных пассажирских перевозок с участием других видов транспорта.

В 2003–2010 годах в Российской Федерации прослеживалась стабильная тенденция сокращения транспортной работы и пассажирооборота на пригородном железнодорожном транспорте в среднем на 3,5 % в год. В 2011 году с введением мер государственной поддержки пригородного комплекса количество отправленных пассажиров выросло к 2010 году на 5,6 %, пассажирооборот – на 4,6 %. В 2012 году прирост к предыдущему году составил 7,3 и 7,8 процента соответственно [112].

По итогам работы пригородных пассажирских компаний (ППК) за 2014 год перевезено 967,2 млн пассажиров, что составило 99,3 % от объема перевозок в 2013 году, пассажирооборот снизился по отношению к 2013 году на 2,1 %, 12 компаний обеспечили безубыточную работу. Сумма выпадающих доходов ППК составила 14,7 млрд рублей. Из региональных бюджетов компенсировано 8,3 млрд рублей. В результате ежегодного недофинансирования пригородных перевозок задолженность регионов практически зеркально отражается в виде задолженности ППК перед ОАО «РЖД» за услуги аренды подвижного состава и инфраструктуры. На 31 декабря 2014 года суммарная задолженность перед ОАО «РЖД» составляла 36 млрд, рублей.

В январе 2015 года было приостановлено курсирование 312 пригородных поездов. По поручению Президента Российской Федерации от 04.02.2015 года о восстановлении пригородного сообщения в 37 регионах движение пригородных поездов восстановлено, договор на транспортное обслуживание заключен с 52 субъектами Российской Федерации. На слушаниях в Общественной палате Российской Федерации в 2015 году были озвучены основные предпосылки необходимости государственной поддержки развития пригородного сообщения, среди которых:

- пригородные пассажирские перевозки осуществляются с целью обеспечения транспортного обслуживания граждан для повышения подвижности населения страны и, как следствие, создания условий для развития экономики и роста ВВП;
- доступность пригородных железнодорожных перевозок для широкого круга граждан, в том числе граждан с невысокими доходами или проживающих вдали от возможных мест приложения труда, является важным аспектом социальной политики каждого региона и государства в целом;
- в агломерациях и мегаполисах развитое железнодорожное пригородное, пригородно-городское и внутригородское сообщение являются важным условием уменьшения заторов на автомобильных магистралях, что снижает негативное влияние на экологию, уменьшает затраты времени человека на перемещение, что в итоге создает предпосылки для роста ВВП за счет увеличения производительности труда;
- использование железнодорожного транспорта для осуществления пригородных пассажирских перевозок повышает их надежность и регулярность.

Кроме того, важность пригородного железнодорожного транспорта в Российской Федерации подчеркивается тем фактом, что примерно 23–39 % его пассажиров не имеют альтернативных вариантов перемещения на используемых маршрутах.

В соответствии с Концепцией развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом [112] 82 субъектами Российской Федерации были разработаны комплексные планы транспортного обслуживания населения регионов (КПТО). Утверждение в Министерстве транспорта Российской Федерации разработанных КПТО имело своей целью определить эффективную схему транспортного обслуживания населения в субъектах Российской Федерации всеми видами пригородного транспорта и сформировать перечень маршрутов, которые будут включаться в региональный заказ на текущий и последующие периоды. Новосибирская, Омская, Волгоградская области, Красноярский и

Алтайский край при разработке КПТО отдали приоритет железнодорожному транспорту в обеспечении транспортной доступности.

Однако уже на сегодняшний день выявлен ряд недостатков при формировании систем транспортного обслуживания агломераций, таких как: дублирование маршрутов движения пригородных поездов автобусными маршрутами, неэффективность использования транспортных средств и т. д.

Реализуемая в холдинге «РЖД» «Концепции развития мультимодальных пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта» [111] подтверждает осознанность руководством компании важности интеграции различных видов транспорта с целью максимально эффективного использования преимуществ каждого из них. Современная система междугородных и пригородных пассажирских перевозок отличается исключительной сложностью, вызванной ее социально-экономической составляющей. Целый комплекс экономических и социальных объектов – предприятия-перевозчики, владельцы транспортной инфраструктуры, заказчики перевозок, пассажиры-потребители услуги, действуют как система с противоречивыми интересами и целями ее элементов. Постановке и решению задач, направленных на формирование эффективной бизнес-модели пригородного пассажирского комплекса на базе железнодорожного транспорта посвящены многочисленные работы практиков и ученых [2, 11, 21, 50, 54, 55, 62, 79, 95, 197 – 199, 221, 249].

Высокая социальная значимость общественного транспорта предъявляет серьезные требования к эффективности и клиентоориентированности пассажирских перевозок. Помимо обеспечения высокого уровня надежности и безопасности перевозочного процесса, повышения качества предоставляемых услуг необходимо серьезно развивать маршрутную сеть пассажирских перевозок.

Необходимы новые системные подходы к комплексному развитию пассажирского сообщения в регионах. На первый план также выходят проблемы развития современной транспортной инфраструктуры, расстановки приоритетов развития отдельных видов транспорта и повышения эффективности использования бюджетных средств на достижение поставленных целей [246].

Автобусный транспорт позволяет расширить географию маршрутной сети АО «ФПК», привлекая дополнительный пассажиропоток, и реализовать услугу перевозки по принципу «от двери до двери». Кроме того, данный подход позволил оптимизировать существующую маршрутную сеть железнодорожных перевозок за счет продления маршрутов по принципу «последней мили», а также замены низкоэффективных участков железнодорожного сообщения автобусным, тем самым существенно снизив издержки перевозки в целом.

Замена неэффективных железнодорожных маршрутов автобусами.

С помощью автобусного транспорта были заменены беспересадочные вагоны на маршрутах Валуйки – Старый Оскол (с последующей пересадкой на поезд до Москвы) и Кострома – Ярославль (с последующей пересадкой на поезд до Санкт-Петербурга). При этом затраты при назначении автобусов вместо поездов на локомотивной тяге сократились в 23 и в 14 раз соответственно, а экономия на каждом маршруте составляет порядка 6 млн рублей в месяц.

Подвоз пассажиров по принципу «последней мили».

Продление железнодорожных маршрутов с помощью автобусного транспорта по принципу «последней мили» было реализовано на маршрутах Вологда – Ярославль, Серов – Бокситы, Себеж – Великие Луки (отменен с марта 2018 года), Тольятти – Сызрань (отменен с мая 2017 года), Колчаново – Пикалево (отменен с декабря 2016 года), Котлас – Великий Устюг (курсировал в 2015-2016 гг. в период новогодних праздников).

Транспортное обеспечение безальтернативных маршрутов.

На маршрутах Белгород – Кисловодск/Адлер отсутствует прямое железнодорожное сообщение в связи с отменой поездов № 23/24 Москва – Адлер, № 27/28 Москва – Кисловодск, курсировавших через территорию Украины.

Создание конкурентного продукта «подвоз автотранспортом к дневным поездам», например, автобус на маршруте Вологда – Ярославль, подвозящий пассажиров к дневным поездам 102/105 Москва – Ярославль (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Перечень смешанных маршрутов АО «ФПК»

Станция отправления	Станция пересадки	Станция назначения	Дата реализации	Расстояние следования автотранспорта, км	Статус
Валуйки	Старый Оскол	Москва	01.12.2014	155	курсирует
Белгород	Россошь	Адлер, Кисловодск, Новороссийск	29.05.2015	260	курсирует
Кострома	Ярославль	Санкт-Петербург	05.07.2015	90	курсирует
Пикалево/ Тихвин	Колчаново	Москва	29.05.2015	160	отменен с декабря 2016 г.
Себеж	Великие Луки	Москва, Санкт-Петербург	30.05.2015	150	отменен с марта 2018 г.
Бокситы	Серов	Екатеринбург	29.05.2015	120	курсирует
Сызрань	Тольятти	Пенза	29.05.2015	81	отменен с мая 2017 г.
Котлас	Великий Устюг	Москва	14.01.2016	70	курсировал в 2015–2016 гг. в период новогодних праздников
Вологда	Ярославль	Москва	04.03.2016	200	курсирует

Указанные маршруты были отобраны на основании предложений, поступивших от филиалов АО «ФПК» и прошедших экспертную оценку в центральном аппарате. Основными критериями для принятия решения были такие факторы, как наличие потенциального пассажиропотока, удобное для пересадки время прибытия/отправления поезда, протяженность маршрута автобусного сообщения, экономический потенциал.

Компанией АО «ФПК» реализовано 9 мультимодальных маршрутов с использованием автотранспорта, из них в настоящее время курсирует 6.

С начала курсирования перевезено 207,2 тыс. человек. По итогам 2017 года более 69 тыс. пассажиров воспользовались мультимодальными перевозками АО «ФПК».

Опытом интеграции с использованием автобусных перевозок обладают и пригородные пассажирские компании (дочерние общества ОАО «РЖД»).

В пригородном сообщении в 2017 году на полигоне 9 ППК на 74-х направлениях организовано комплексное обслуживание пассажиров с предоставлением услуги мультимодального сообщения «поезд плюс автобус» (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Мультимодальные маршруты в 2017 году

Наименование ППК	Количество маршрутов	Объем перевозок, тыс. пас.
АО «Кузбасс-пригород»	17	0,405
АО «СЗППК»	12	1,000
АО «ППК «Черноземье»	10	0,145
АО «МТППК»	10	2,082
АО «ВВППК»	8	10,722
АО «Свердловская ПК»	5	4,106
АО «Башкортостанская ППК»	3	2,806
АО «Центральная ППК»	3	15,223
АО «ПКС»	2	2,435
АО «Пермская ППК»	1	24,537
АО «Самарская ППК»	1	0,549
АО «Байкальская ППК»	1	44,456
АО «Саратовская ППК»	1	5,640
Общий итог	74	114,106

Наиболее показательным примером организации интермодальных перевозок является опыт АО «Центральная ППК» [183], АО «Волго-Вятской пригородной пассажирской компании» (АО «ВВППК»), АО «Московско-Тверской пригородной пассажирской компании» (АО «МТППК») и АО «Содружество» [1].

Пригородный железнодорожный транспорт обеспечивает магистральные перевозки пассажиров по направлениям, связывающим периферийные районы с областными центрами, где есть устойчивый пассажиропоток, а автобусное

сообщение обеспечивает фидерные перевозки и не конкурирует с железнодорожным транспортом.

Поиск потенциальных партнеров из числа автобусных перевозчиков производится на станциях, где уже развито автобусное сообщение и автобусные маршруты проложены в непосредственной близости от железнодорожных вокзалов. На начальном этапе пригородные компании оказывают услуги за более низкий процент (агентское вознаграждение) по сравнению с автовокзалами.

На полигоне деятельности АО «МТППК» введены в тестовом режиме интермодальные перевозки по маршруту Москва – Тверь (на Ласточке) – Торжок (на автобусе). Данная услуга организована в рамках продуктивного взаимодействия АО «МТППК» с администрацией Тверской области и набирает популярность среди пассажиров, так как билет с гарантированным посадочным местом в автобусе по стыковочному с «Ласточкой» расписанию можно купить в режиме «одного окна». Пригородная компания планирует и дальше развивать интермодальные перевозки по принципу «поезд плюс автобус» и в настоящее время оценивается экономическая эффективность новых маршрутов Тверской области.

В 2015 году АО «ВВППК» в рамках расширения доли рынка, сохранения и увеличения пассажиропотока внедрила комплекс услуг по организации мультимодальных пассажирских перевозок «от двери до двери». При поддержке Министерства транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области компания заключила договоры с автопредприятиями и приступила к реализации проекта интермодальных перевозок «электричка плюс автобус». Часть пути пассажир следует на пригородном поезде, часть – на автобусе. Начальный этап проекта предусматривал:

- синхронизацию рейсов пригородных поездов и автобусных маршрутов;
- информационное сопровождение клиента об этапах логистической цепочки (расписание, станция пересадки, стоимость проезда, пункты продаж билетов и т. д.);

- предоставление билетопечатающей техники автопредприятиям, участвующим в перевозочном процессе;
- перекрестное оформление билетов на пригородные автобусы, отправляющиеся от станции Семенов и Урень – через пригородные железнодорожные кассы, и билетов на пригородные поезда через автостанции населенных пунктов Воскресенское и Шаранга.

Внедренный в АО «ВВППК» программно-технический комплекс позволяет осуществлять продажи проездных документов на любой вид транспорта. Необходимо только добавить в автоматизированную систему расписание, тарифную сетку и соответствующие правила льготного проезда.

В декабре 2016 г. при поддержке Департамента транспорта Владимирской области АО «ВВППК» успешно внедрило проект организации кассового пункта по продаже билетов на автобусы на железнодорожной станции Гусь-Хрустальный. Проект предусматривает оформление проездных документов на пригородные и межмуниципальные автобусы 6 автоперевозчиков Владимирской области. Ежедневно производится обслуживание 50 автобусных рейсов. В 2017 году смешанные перевозки осуществляются по следующим маршрутам Нижегородской области:

- Нижний Новгород – Урень – Шаранга – Тонкино – Ветлуга (12 рейсов в сутки);
- Нижний Новгород – Семенов – Воскресенское (4 рейса в сутки);
- Нижний Новгород – Заволжье – Чкаловск (15 рейсов в сутки);
- Нижний Новгород – Шахунья – Шаранга (2 рейса в сутки);
- Киров – Юрья – Верховино (3 рейса в сутки).

Необходимо отметить, что перспективное развитие смешанных перевозок пассажиров в Холдинге, удержание, стабилизация и наращивание пассажиропотока – это стратегическая задача всего пассажирского комплекса холдинга «РЖД» [10].

В этой связи в число важнейших приоритетов входит решение следующих стратегических задач:

- укрепление конкурентных позиций холдинга «РЖД» по отношению к альтернативным видам транспорта и зарубежным перевозчикам;
- снижение рисков от падения железнодорожных перевозок;
- получение дополнительных доходов.

Основным преимуществом предоставляемой услуги для пассажиров является «бесшовный» принцип поездки, достигаемый за счет:

- гарантированного предоставления места в автобусе;
- отсутствие необходимости приобретать проездные документы на проезд в двух кассах – железнодорожной и автобусной;
- согласованного расписания движения железнодорожного и автобусного транспорта.

Указанные проекты реализуются благодаря предоставлению:

- автоперевозчикам в аренду помещений на железнодорожных вокзалах для размещения в них касс по продаже билетов;
- на привокзальных площадях мест для организации посадки пассажиров в автобусы и высадки из них;
- права пользования на общих основаниях помещениями санитарных комнат, залов ожидания на железнодорожных вокзалах.

Сотрудничество с автоперевозчиками в регионах целесообразно рассматривать по существующей в настоящее время схеме с учетом коммерческих предложений компаний и анализа наиболее выгодных условий в целях выполнения заданий по взысканию выручки. Также стратегическим направлением является создание ТПУ на базе строящихся и существующих вокзалов путем перевода автовокзалов или пунктов остановки автобусов на территорию железнодорожных вокзалов, что повышает удобство пассажиров.

Для реализации Концепции мультимодальных пассажирских перевозок в пригородном сообщении практиками разработано несколько вариантов бизнес-моделей. Предпринимаемые перевозочными компаниями действия и выполняемые разработки показывают современные потребности бизнеса, государства и

населения. Однако следует отметить, что принимаемые практиками решения основаны либо на практическом опыте зарубежных стран, который не всегда в полной мере применим к условиям нашей страны, либо на чисто экономических обоснованиях. С организационно-технологической точки зрения подходы не меняются. Реализация новых подходов, новой технологии, требует и новых научных подходов, которые позволят не только грамотно выполнить экономические расчеты и реализовать бизнес-идеи, но и существенно повысить эффективность принимаемых решений на основе нового обоснованного научного подхода.

1.5. Анализ научных исследований в области формирования пассажирских транспортных систем

1.5.1. Анализ исследований в области изучения пассажиропотоков

Транспортное обслуживание населения городских агломераций – это сложнейшая система, для эффективности функционирования которой необходимы предварительные расчеты, прогнозирование, планирование и моделирование технологических и бизнес-процессов, базирующиеся на научном подходе.

Различные алгоритмы, методики и методологии были предложены ведущими учеными для решения многообразных задач организации пригородных пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта. Фундаментальные научные исследования российских ученых были проведены в следующих областях:

- методология изучения спроса на пригородные пассажирские перевозки;
- прогнозирование размеров пассажиропотоков по пригородным направлениям;
- технико-экономическое обоснование развития пассажирской инфраструктуры, включая выбор числа и мест размещения зонных пассажирских станций;
- выбор типа графика движения и схем прокладки пригородных поездов;
- расчет рациональных размеров движения пригородных поездов;

- оптимизация графика оборота составов пригородных поездов;
- взаимодействие железнодорожного транспорта с другими видами транспорта при осуществлении пригородных пассажирских перевозок.

Обоснованность, применимость к различным условиям, объективность и эффективность тех или иных методик подтверждаются теоретическими расчетами и практикой их применения. В этом вопросе крайне важную роль играют исходные данные, положенные в основу выполняемых расчетов, поэтому особое значение имеют такие параметры исходных данных, как: надежность источника их получения, полнота, объективность, сопоставимость, форма представления и др.

При организации транспортного обслуживания городских агломераций основными, особенно при реализации концепции клиентоориентированности, являются исходные данные о пассажиропотоках. Однако именно эти данные всегда вызывали много трудностей в получении и обработке. Сложности связаны с тем, что изучаются пассажиропотоки, которые уже сформировались не только под воздействием внешних факторов (расположение населенных пунктов и мест приложения труда, финансовой стабильностью в регионе и т. д.), но и с учетом уже сложившейся транспортной ситуации: действующих расписаний движения, вместимости и комфортности транспортных средств и т. д. Вторая проблема связана с массовостью пассажиропотоков, что не позволяет учесть мнение и потребности каждого.

Изначально исследования в области пассажиропотоков были посвящены исключительно методам определения их корреспонденций между станциями и анализу влияющих на их формирование факторов.

Так работа Е. П. Локтева [168] посвящена анализу факторов, оказывающих влияние на формирование пригородных пассажиропотоков. Разработанная автором система показателей позволяла определить размеры пассажиропотоков между населенными пунктами в зависимости от целей поездок пассажиров, однако данная система не учитывала зависимость многообразия целей поездки в зависимости от сезона года, времени суток и других факторов.

А. П. Артынов [13, 14] предлагал использовать несколько способов определения величин пассажиропотоков, различающихся затратами на их организацию и точностью получаемых данных: талонный, визуальный, приближенный. Проведение подобных исследований пассажиропотоков даже в различные временные периоды (сезоны года, дни недели, часы суток) дают возможность получить информацию только о количественных параметрах пассажиропотоков, но не позволяют определить структуру пассажиропотока в зависимости от различных его характеристик.

Недостатком ряда исследований по проблемам исследования и прогнозирования пригородного пассажиропотока является то, что практически в каждой работе рассматривались либо аспекты, влияющие на распределение пассажиропотоков по различным периодам времени, либо пространственное распределение пассажиропотоков.

Цибулка Я. провел масштабные аналитические исследования [247] затрат времени населения на поездку городским общественным и личным транспортом. При этом автор изучал не объем и структуру пассажиропотоков, а скорее поведение пассажиров при выборе вида транспорта. В работе сформированы закономерности распределения пассажиропотоков в зависимости от затрат времени на поездку и от ее дальности, проработаны варианты выбора средств передвижения населением и теоретические функции моделирования их выбора. Кроме того, автором была определена степень относительной значимости отдельных характеристик комфорта в системе городского общественного транспорта, таких как: регулярность и надежность, ожидание транспорта, пересадки, шум, пассажирское место, защита от погодных явлений, доступность остановочных пунктов, микроклимат в транспортном средстве.

Вопросам совершенствования методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского общественного транспорта также посвящены работы [155 – 158] Лебедевой О. А., основной целью которых было развитие системы планирования пассажирских перевозок, а также управления ими с применением средств автоматизированного подсчета количества пассажиров. В качестве

автоматизированных методов автором рассматриваются: сбор данных с электронно-оптических датчиков автоматизированных систем подсчета входа и выхода пассажиров в транспортное средство, а также получение информации из систем автоматизированного контроля оплаты проезда. Автором предложена методика обработки данных о размерах пассажиропотоков, получаемых с детекторов прохода, с целью повышения точности и достоверности результатов и формирования матриц корреспонденций пассажиропотоков.

При планировании городских перевозок в связи с их массовостью допустимо использовать данные о существующем пассажиропотоке. В основном временные и пространственные колебания городских пассажиропотоков носят достаточно постоянный характер. Однако и в сфере городских перевозок существуют ряд внешних и внутренних факторов, которые со временем могут привести к изменению корреспонденций пассажиропотоков (развитие транспортной инфраструктуры города, открытие новых объектов массового притяжения (торгово-развлекательных центров, офисных зданий и т. д.). С точки зрения пригородных пассажирских перевозок эти факторы могут играть еще более серьезную роль, так как речь идет уже о связи муниципальных образований между собой. Поэтому многие ученые считали важным направлением исследований прогнозирование пассажиропотоков и посвятили этому вопросу отдельные свои труды.

Еще в 70–80-х годах прошлого века Н. В. Правдин и В. Я. Негрей в своих научных трудах [206, 207] одними из первых предложили решать задачу долгосрочного прогнозирования пассажиропотоков в автоматизированном режиме. Однако при этом авторы склонялись к мнению, что более эффективным является краткосрочное прогнозирование с учетом среднечасовых пассажиропотоков. Вопрос горизонта прогнозирования можно считать открытым и сегодня: с одной стороны, при формировании комплексных планов транспортного обслуживания регионов необходима разработка долгосрочных схем, а с другой, – политические, экономические, социально-демографические и другие факторы, влияющие на формирование пассажиропотока, в современных

условиях развития нашей страны динамически меняются в коротких интервальных значениях. В более поздней работе [209] В. Я. Негрей отмечал важность прогнозирования для обеспечения надежности пассажирских перевозок.

Позже С. А. Ваксман в своих работах и докладах [233, 32] рассмотрел методы прогнозирования объема перевозок на городском пассажирском транспорте, а также выполнил анализ влияния социально-демографических факторов на абсолютную подвижность и ее параметры. Отдельное внимание уделено анализу пространственно-временной неравномерности внутригородских передвижений и организационно-экономическим механизмам удовлетворения потребностей населения городов в передвижении. Автор утверждает, что городскому движению присуще такое свойство, как адаптация и наличие элементов самоорганизации в различных формах. Базируясь на теории Г. А. Гольца о том, что «конструирование нормативов в области временной доступности всегда базировалось на полуосознанном наличии в реальной действительности стабилизирующихся (самоорганизующихся) затрат времени на передвижения», автор показал, что под влиянием планируемого суточного количества перемещений изменяются параметры подвижности. Поэтому все планирование предлагается осуществлять с точки зрения предельных допустимых для населения затрат времени на передвижения.

Н. В. Кузнецова предложила систему маркетингового планирования объема пригородных пассажирских перевозок [149] в основном с экономической точки зрения влияния на прогнозные объемы продаж. Использование маркетинговых методов, в том числе для повышения конкурентоспособности пригородных железнодорожных перевозок, нашли отражение в работах многих авторов [96, 187, 214, 232, 235]. Однако эти исследования были выполнены без учета совершенствования технологических решений, в отличие от работ [175, 222, 220, 250].

Важно отметить те труды ученых, которые направлены уже не только на исследование и прогнозирование пассажиропотоков, но и на формирование на их базе технологических решений по совершенствованию организации перевозочного

процесса. В своей работе [241] Терзи В. И., для решения проблем внутригородского и пригородного сообщения предлагал создание мультимодальных транспортных узлов. На основе данных о пассажиропотоках определялись размеры движения пригородных поездов. Выполняя анализ прибытия/отправления пассажиров на головную станцию в рабочие и выходные дни, а также анализ населенности пригородных поездов, автор опирался на уже сформировавшиеся пассажиропотоки, время совершения поездки которыми обусловлено уже сложившимся расписанием движения транспортных средств. При этом, говоря о формировании мультимодальных систем, автор изучает только пассажиропотоки в пределах пригородного железнодорожного участка.

Муковнина Н. А. в своей работе [181] поставила цель обосновать выбор рациональных решений по организации движения пригородных поездов в зависимости от размеров и структуры пассажиропотока на участке. Автор предлагает ранжировать пассажиропотоки по количественным показателям работы транспорта (объем отправленных пассажиров, пассажирооборот и т. д.) и по качественным характеристикам пассажиропотока (сегментирование в зависимости от различных параметров и требований к поездке). В работе предложено разделить пригород на зоны: центральная часть города, спальные микрорайоны, промышленная зона и пригород. Для оценки распределения пассажиропотоков на участках используется теория вероятностей, а именно относительная частота основных струй пассажиропотоков, данные о которых по мнению автора должны стабилизироваться при продолжительных наблюдениях. Таким образом, автор делает вывод, что относительная частота основных струй пассажиропотока устойчива по временному фактору, то есть не изменяется на основных маршрутах вне зависимости от сезона года и суммарной величины пассажиропотока. То есть, Муковнина Н. А. в итоге рассматривает структуру пассажиропотока как основную его часть и «все остальные», все дальнейшие расчеты, направленные на рационализацию пригородных перевозок, производятся исходя из учета интересов основной части. В работе, выполненной в соавторстве с Солдаткиным В. И. [182],

рассматривается вопрос совершенствования пригородных перевозок за счет использования засылочных составов.

Медведь О.А. в своих работах [173 – 177] в основу совершенствования технологии пригородных пассажирских перевозок положила структуру пассажиропотоков и ее динамику. Исследования автора посвящены изучению и анализу особенностей массовых, стабильных и сконцентрированных во времени групп пассажиров. Скорее, пассажиропотоки являются не основой, а исходными данными для совершенствования технологии, однако какие методы и технологические решения предложены автором для назначения пригородных поездов и совершенствования технологии. Основным направлением совершенствования пригородных пассажирских перевозок выбрано сокращение времени нахождения пассажиров в пути следования. Однако, если говорить только о железнодорожном транспорте, о котором идет речь в работе автора, то этого можно достичь, просто увеличив скорость движения, реализовав соответствующие стандартные технологические решения для подвижного состава и инфраструктуры, и технологические для построения графика движения и оборота пригородных поездов. При этом время в пути следования пассажира городской агломерации зависит не только от времени поездки по железной дороге, но и от работы других видов транспорта, согласованности их расписаний, а также от того, насколько удовлетворяет потенциального пассажира время прибытия в пункт назначения. Не всегда сокращение времени в пути – это путь совершенствования, если пассажиру придется все равно ожидать в пункте назначения.

Медведь О. А. в работах [174 – 176] справедливо замечает, что существенным недостатком метода планирования и прогнозирования пригородных перевозок является перенесение особенностей поездок отдельных, пусть и массовых групп пассажиров на весь пассажиропоток в целом. Автором рассмотрены вопросы сегментирования пассажиропотоков на основе данных, получаемых из системы автоматизированного контроля учета оплаты проезда, с помощью опросов и визуальных наблюдений. Дальнейшее исследование автора строится на анкетировании пассажиров и формировании потребительских требований к

поездке и оценке значимости различных ее параметров для пассажира при принятии решения о выборе способа перемещения. На примере Санкт-Петербургского железнодорожного узла показано, что основными сегментами пассажиропотока в утренние часы «пик» являются руководители, служащие, учащиеся и рабочие, то есть та часть пассажиропотока, поездки которых жестко привязаны ко времени. Далее в работе предлагается формировать адресное расписание, то есть назначать целевые поезда для этих основных сегментов пассажиропотока. Для составления адресного расписания предлагается просто построить график движения пригородных поездов, взяв за основу желаемые каждым сегментом пассажиропотока точки прибытия на головную станцию и, сократив число остановок, уменьшить время в пути следования. Предельное время ожидания пассажирами пригородного поезда определяется только исходя из условия меньшего суммарного времени на поездку железнодорожным транспортом относительно затрат времени на поездку автотранспортом, без учета других факторов. Предлагаемый в работе алгоритм назначения целевых поездов основан на изучении пассажиропотока, прибывающего в пригородных поездах на головную станцию и дальнейшей корректировки графика движения с учетом вероятности перехода пассажиров в более ранний или поздний по измененному расписанию поезд. При этом не учтены пропускные способности и возможности изменения расписаний работы других видов транспорта на логистическом маршруте перемещения пассажиров.

Не только в исследованиях, которые выполнялись для одного вида транспорта (железнодорожного, автомобильного, городского общественного транспорта), но и в исследованиях, которые выполнялись с целью организации мультимодальных пассажирских перевозок [241], рассматривался пассажиропоток только на участке (на одном из этапов перевозки), при этом не анализировалось перемещение пассажиропотока по территории остановочных пунктов, вокзальных комплексов и ТПУ.

В то же время отдельные научные работы были направлены на анализ пассажиропотоков именно ТПУ. Так Евреенова Н. Ю. в своем исследовании [73]

рассмотрела три метода проведения обследований пассажиропотоков в ТПУ: отчетно-статистический, анкетный и натурный (видеофиксация, визуальный). Все эти методы позволяют получить данные о перемещении пассажиропотоков по территории ТПУ. При этом натурный метод позволяет отследить по направлению и времени перемещения категорию пассажиропотока (пассажиры пригородных, дальних или высокоскоростных поездов), но только анкетный метод позволяет получить данные обо всем маршруте следования пассажира. Однако анкетный метод требует большого объема выборки для ее репрезентативности и возможности отнесения данных об опрошенных пассажирах на весь пассажиропоток. Кроме того, и в других исследованиях, выполненных в соавторстве с Вакуленко С. П. [45, 46, 74] ставится задача смоделировать пассажиропоток исключительно на территории ТПУ. Следует заметить, что ТПУ является местом перераспределения пассажиропотоков между маршрутами одного или нескольких видов транспорта. С точки зрения перевозчика именно здесь и зарождается пассажиропоток, поэтому важно рационально организовать работу ТПУ, вокзального комплекса, остановочного пункта. Однако не следует забывать, что перечисленные объекты инфраструктуры связаны между собой через саму перевозку, поэтому работа одного объекта непременно влияет на работу другого. Современные аспекты организации работы вокзальных комплексов в части обеспечения обслуживания пассажиров представлены в работах [117, 138].

Этапы «работы» с пассажиропотоками при проведении научных и практических исследований с различными целями можно представить в общем виде (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Этапы формирования данных о пассажиропотоках (существующая ситуация)

Представленная на рисунке 1.12 схема достаточно проста, однако каждый этап включает в себя сложные процессы, которым посвящали свои исследования многие ученые, в том числе те, работы которых, были рассмотрены выше. Методики, предложенные в данных исследованиях, обоснованы и применимы в зависимости от цели конкретного исследования. Однако первичная цель каждого ранее проведенного исследования состояла в получении данных о пассажиропотоке на одном из этапов совершения поездки. Для организации транспортного обслуживания городских агломераций в условиях развития клиентоориентированности такой подход не позволит получить полную адекватную картину транспортной ситуации. Разрозненные исследования на каждом отдельном виде транспорта и на каждом отдельном этапе перевозки

приводят к дублированию информации и несопоставимости результатов и, в итоге, к ограниченности и нерациональности принимаемых решений.

Необходимо реализовать комплексный подход к изучению пассажиропотоков на всей протяженности логистической цепочки перемещения: от момента зарождения до момента погашения. Современные технические возможности позволяют получать, обобщать и анализировать информацию обо всем маршруте следования пассажира, включая перемещение в пунктах пересадок.

При этом основная доля исследования была направлена на выявление и формализацию закономерностей формирования пассажиропотоков. При этом не учитывалось или уделялось недостаточное внимание тому, что пассажиропоток формируется не только под воздействием внешних факторов, но и под воздействием внутренних по отношению к транспортной системе факторов. Так, например, в пригородном сообщении пассажир приходит под заранее известное расписание пригородных поездов, выбирая заранее наиболее подходящий для него вариант, который позволит оказаться в пункте назначения в требуемое время. Можно сказать, что пассажир сам выступает логистом своих поездок, выбирая маршрут следования и виды транспорта с максимально соответствующими его потребностям и ожиданиям параметрами перевозки. При этом пассажир не имеет полной информации о технико-технологических возможностях транспорта. Стремясь развивать клиентоориентированные подходы, транспорт «подстраивает» свою работу к пассажиру, который в свою очередь «подстраивается» под возможности и предложения транспорта. Это приводит не только к неэффективному использованию транспортных средств и инфраструктуры, но и к тому, что пассажиру предоставляется услуга, не в полной мере отвечающая его ожиданиям.

Можно сделать вывод о том, что само-по-себе изучение закономерностей формирования пассажиропотоков не дает возможности получить максимальный эффект от предлагаемых на его основе мероприятий. Пассажиропотоки необходимо сначала организовывать на основе данных о закономерностях их

формирования, а далее рассчитывать параметры транспортной системы уже для организованного пассажиропотока (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Этапы формирования данных о пассажиропотоках (перспективный алгоритм)

Факторы, влияющие на выбор пассажиром способа и времени перемещения, маршрута следования, закономерности изменения пассажиропотоков в

пространстве и времени под влиянием этих факторов должны быть учтены при организации пассажиропотоков.

Организация пассажиропотока является одним из основных этапов формирования исходных данных для определения параметров пассажирской транспортной системы городской агломерации и включает в себя выбор из множества вариантов распределения пассажиропотоков в пространстве и времени такого варианта, при котором все пассажиры будут прибывать в пункт назначения в допустимый для них период времени при существующих ограничениях. Такой подход позволит освоить максимальный пассажиропоток общественным транспортом – пассажиры, получающие транспортную услугу, соответствующую их требованиям, будут менее заинтересованы в использовании личного автотранспорта.

При этом организовывать можно как существующий пассажиропоток, так и прогнозный, полученный по одной из признанных в научном сообществе методик прогнозирования.

При современном уровне развития информационных и цифровых технологий обеспечивается высокая точность расчетов любой сложности. Точность и эффективность расчетов, проводимых с использованием любых методик и программно-аппаратных комплексов зависит от исходных данных.

Помимо приведенных в проанализированных выше работах методов и источников получения информации о пассажиропотоках в настоящее время можно использовать данные операторов мобильной связи по аналогии с тем, как это предложено делать для общественного транспорта мегаполиса в работе [73]. Использование данных, полученных из различных источников, позволит повысить их точность и достоверность полученных результатов.

Определение параметров пассажирской транспортной системы городской агломерации на основе организованных пассажиропотоков позволит получить как экономический, так и социальный эффект, а именно:

- максимально освоить пассажиропотоки общественным транспортом, снизив нагрузку на экологию;

- наиболее рационально спланировать использование транспортных средств и инфраструктуры;
- наиболее полно удовлетворить потребности пассажиров и повысить клиентоориентированность работы транспортного комплекса;
- иметь возможность впоследствии управлять пассажиропотоком.

Также максимально полные данные о пассажиропотоке позволяют с наибольшей точностью использовать методы прогнозирования и моделирования пассажиропотоков, в том числе с использованием методов математического моделирования [15, 31, 51, 53, 90, 151].

1.5.2. Анализ исследований в области организации пригородных, пригородно-городских и городских пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта

Основоположником научного направления в области организации пассажирских перевозок является Ф. П. Кочнев, многочисленные работы [143 – 146] которого посвящены различным сферам пригородных перевозок: исследованиям пассажиропотоков, параметрам железнодорожных линий (включая проектирование зонных станций и повышение их пропускной способности), выбору технико-эксплуатационных характеристик подвижного состава и оптимизации веса и скорости движения пригородных поездов, системе управления пригородными перевозками, включая построение графика движения пригородных поездов и графика оборота составов.

В работах Ф. П. Кочнева, изданных еще в середине прошлого века, уже отмечено, что «Важнейшей задачей организации работы железных дорог по пассажирским перевозкам является эффективное использование технического оснащения, при котором обеспечивались бы наилучшее обслуживание пригородных пассажиров и наименьшая себестоимость перевозок», а также «При составлении расписания необходимо обеспечить полное удовлетворение потребностей пассажиров в передвижении в город и из города во все часы суток, в

том числе и в часы образования максимального пассажиропотока, равномерную населенность поездов в течение суток и минимальную затрату пассажирами времени на проезд и на ожидание поездов». Для достижения этих целей Ф. П. Кочнев решались следующие задачи:

- правильное определение потребных размеров движения;
- распределение поездов по часам суток в соответствии с величиной пассажиропотока;
- организация зонного движения пригородных поездов;
- обеспечение такой частоты движения поездов, при которой пассажиры не затрачивали бы много времени на ожидание отправления.

Все эти задачи сводились к задачам линейного программирования с минимизацией расходной составляющей.

Кроме того, Ф. П. Кочнев был одним из первых ученых, кто считал важным вопросом координированное использование всех видов транспорта и посвятил часть своих трудов координации работы железнодорожного с другими видами транспорта в части обслуживания пассажиров в пригородном сообщении. В работе [146] рассматривалась организация работы отдельных видов транспорта по нескольким схемам:

- 1) использование железнодорожного транспорта в качестве основного, а городских видов транспорта – в качестве подвозящих;
- 2) осуществление пригородных пассажирских перевозок полностью одним из видов городского транспорта, в основном автомобильного;
- 3) совместное использование нескольких видов городского транспорта.

Целесообразность применения одной из схем в зависимости от мощности пассажиропотока, схемы транспортного узла и взаимного расположения населенных пунктов предлагалось определять по нескольким условиям:

- обеспечение лучшего обслуживания пассажиров;
- наименьшие затраты времени на проезд;
- использование пропускной способности линии;

– себестоимость перевозок.

Ф. П. Кочневым также были сформированы первые подходы к составлению интегрированного расписания, было отмечено, что «необходимо предусмотреть:

- 1) согласованность подхода поездов в узлах, объединяющих по выходу в пригород из городской разветвленной сети один или несколько параллельно работающих маршрутов;
- 2) согласованность с расписанием движения на железных дорогах – в случае параллельно работающих маршрутов городского и железнодорожного транспорта;
- 3) согласованность движения поездов, работающих в пригороде по подвозу пассажиров к пригородным линиям, с поездами пригородного следования...» [143].

Одним из выводов, сделанных автором, был вывод о том, что в случае пересадки пассажиров с городского транспорта на железнодорожный дополнительная потеря времени пассажирами на подходы и ожидание составляет от 30 до 80 % от общего времени проезда. Для решения этой проблемы было предложено не согласовать работу транспорта, а организовать максимально беспересадочное сообщение. При этом совершенно понятно, что в современных условиях зоны расселения населения агломераций расположены таким образом, что практически невозможно при поездке между муниципальными образованиями воспользоваться только одним видом общественного транспорта.

В работе [146] автором был описан случай внешнего воздействия на формирование пассажиропотока: «Для разгрузки железнодорожного и городского транспорта в утренние пиковые часы начало работы в отдельных предприятиях и учреждениях установлено в интервале до трех часов (Москва и Ленинград)».

Ф. П. Кочневым был предложен ряд методик расчета капитальных и эксплуатационных затрат на организацию скоординированной перевозки пассажиров в пригородном сообщении различными видами транспорта. Далее автор осуществлял выбор оптимального варианта по освоению пассажиропотоков на пригородной линии на основании капитальных и эксплуатационных затрат на

каждый вид транспорта и по мощности пассажиропотока. Несмотря на то, что автор употреблял термин «оптимальный вариант» по сути какой-либо аппарат или метод оптимизации в предлагаемых методиках отсутствовал. На тот момент данный вопрос не получил более детальной глубокой проработки и применения научного подхода.

К вопросам рационального взаимодействия различных видов транспорта, логистике пассажирских перевозок, а также организации мультимодальных и интермодальных пассажирских перевозок вернулись только через несколько десятилетий.

В работе [231] К. Ю. Скалов и А. П. Михеев на основе технико-экономических расчетов предложили методику выбора оптимального варианта транспортной системы крупных городов. При этом в качестве одного из решений предлагается использовать унифицированный транспорт пригородно-городского сообщения, то есть унифицировать инфраструктуру и подвижной состав железных дорог и метрополитена. По сути – это не мультимодальные перевозки, а замена двух видов транспорта одним, что не может получить широкого применения, достаточно затратно, и скорее связано с решением ряда технических задач, а не формированием нового научного подхода.

В 2005 году в своей работе [159] Н. В. Левадная предложила подход для определения влияния пригородного железнодорожного транспорта на транспортную систему города. Автор использовала математическую модель для определения межрайонных корреспонденций и потоков и выявила математическую зависимость распределения пассажиров пригородного железнодорожного транспорта в зависимости от времени, затрачиваемого на поездку. По сути, результаты работы направлены на формирование исходных данных о пассажиропотоках в зоне «город-пригород».

Использованию в городских агломерациях железнодорожного транспорта в качестве внутригородского посвящены работы Головнича А. К. [36, 190, 212] и многих других авторов [20, 52, 91, 120, 200, 201, 218, 242]. Эти работы в основном

носят описательный характер и отражают значимость железнодорожного транспорта для решения транспортных проблем в крупных городах.

Технологические основы развития интермодальных пассажирских перевозок были сформулированы Киселевым А. Н. [93]. В работах, выполненных в соавторстве с Вакуленко С. П. [88, 123, 125, 126, 133, 135], получила развитие тема логистики пассажирских перевозок, сформирован понятийный аппарат и основные принципы. Также вопросам логистики пассажирских перевозок посвящены работы [115, 122, 124, 128]. Помимо логистики научные труды Вакуленко С. П., в том числе выполненные в соавторстве с Куренковым П.В., Голубевым П.В., Еврееновой Н.Ю., Куликовой Е.Б., Колиным А.В., Роменским Д.Ю. [33 – 35, 37 – 39, 40 – 44, 47, 180, 215], внесли существенный вклад в решение широкого круга технико-технологических задач развития пригородных, пригородно-городских и городских пассажирских перевозок.

Логистика транспортных потоков, которой посвящена работа Л. С. Федорова и В. А. Персианова [245] основана на системном подходе и содержит общие моменты без решения конкретных научно-практических задач. Также в работе Миротина Л. Б. [167] рассмотрены общие вопросы логистики общественного транспорта. В работе Апатцева В. И. [12] представлены способы выбора оптимального интермодального маршрута поездки пассажиров при помощи информационной системы «Поиск пассажирского маршрута на разных видах транспорта». Оптимизацию перемещения пассажира было предложено осуществлять с использованием аппарата нечетких множеств.

Работы Голубева П. В. [63 – 65] посвящены выбору параметров пассажирских обустройств в пригородно-городских транспортных системах и направлена на решение задач развития инфраструктурного комплекса при организации пересадок пассажиров между пригородным железнодорожным транспортом и метрополитеном.

Решению отдельных проблем развития мультимодальных пассажирских перевозок и пригородно-городского транспорта посвящены труды Котенко А. Г. [141, 142]. На настоящий момент логистике как важнейшему направлению

развития пассажирских перевозок посвящены исследования многих ученых и практиков: Р. В. Панк [196, 248], Е. В. Лякиной [56, 170], В. Г. Санкова [223, 224], И. Н. Егоровой и О. Н. Мелешко [75 – 78] и др. [22, 92, 110, 150, 179, 234, 239, 255].

Все выполненные работы раскрывали решение отдельных проблем организации и технологии работы именно железнодорожного транспорта, как основного при освоении пассажиропотоков городских агломераций и мегаполисов.

На сегодняшний момент вопрос оптимизации параметров пригородных перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом, наиболее полно изложен в трудах Пазойского Ю. О. [189, 191–195]. В работе [192] предложено решение ряда оптимизационных задач. Автор предлагает разделить систему освоения пригородных пассажиропотоков на железнодорожном транспорте на ряд оптимизационных подсистем по функциональному признаку и обеспечить их взаимодействие посредством информационных связей. В работе использованы математические методы, в том числе задача линейного программирования, и предложено программное обеспечение для выполнения расчетов по данным методам. Несмотря на всесторонность и комплексность решаемых задач, в работе имеется большое количество предположения и допущений: принята постоянная интенсивность пассажиропотока, из чего вытекает требование равномерной прокладки пригородных поездов на графике движения. Задача решается статически, выбором из некоторого множества. Если не выполняются принятые предположения и нужно строить, по сути, управляемый во времени график, то нужна динамическая модель. Все подтверждающие расчеты производятся в направлении движения от головной станции, хотя важнее обратное направление, когда пассажиры едут на работу и поездка жестко привязана ко времени. Важно, что предложенные модели базируются на обеспечении эффективной работы железнодорожного транспорта при организации пригородных пассажирских перевозок.

Значительный вклад в развитие теоретических основ организации пригородных и пригородно-городских перевозок, в том числе с формированием диаметральных маршрутов в городских агломерациях внесла Бещева Н. И. [23 –

26]. Однако при определении размеров движения электропоездов были сделаны существенные допущения. Несмотря на предложение определять размеры движения отдельно по периодам суток, предлагаемые методики не позволяли учесть неравномерность распределения пассажиропотока по длине пригородного участка.

Проблемам эффективности пригородных пассажирских перевозок посвящены работы Куренкова П. В. [153, 154] Гарбузовой В. В. [58–61], Шкуриной Л. В. [252, 253] и многих других ученых и практиков [48, 81, 94, 147, 148, 152, 160, 169, 178, 184, 185, 186, 216, 217, 219, 225, 238, 240, 262]. Естественно, с повышением экономической эффективности и решением финансово-экономических вопросов тесно связаны проблемы ценообразования и тарифной политики в сфере пригородных пассажирских перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом. Исследованиям в этой области посвящены работы В. В. Щукина [263 – 266], О. Г. Леоновой [161 – 165], В. П. Постникова [202 – 205] и других авторов [19, 30, 49, 57, 67, 80, 87, 166, 171, 208, 213, 230, 236, 237, 251, 254].

Решению экономических проблем пригородных пассажирских перевозок с позиций клиентоориентированности посвящены исследования М. А. Шнейдера [256 – 261] и Е. А. Проскуряковой [210, 211, 260].

Клиентоориентированность находит свое проявление также в использовании новейших технологий при организации транспортных процессов. Внедрению перспективных беспилотных технологий в городские транспортные системы посвящены труды Баранова Л. А. [16 – 18]. Большой вклад в автоматизацию графиков движения городского транспорта на примере метрополитена внесла Сидоренко В. Г. [226 – 229]. Более широко вопрос автоматизации и цифровизации транспортных процессов рассматривается в работах Бородина А. Ф. [27 – 29, 82] и Замышляева А. М. [84 – 86]. В условиях максимального сокращения участия человека в управлении транспортными средствами и автоматизации транспортных процессов вопросы организации пассажиропотоков и управления ими приобретают большую значимость.

Одной из последних работ в сфере управления пассажиропотоками стала работа Исакова Т. А. [89], посвященная автоматизации регулирования пассажиропотока при проведении крупномасштабных культурно-массовых мероприятий. В работе предлагается математический аппарат и требования к автоматизированной системе для обеспечения управляемого подвоза пассажиров к местам массовых мероприятий и вывоза с этих мероприятий. То есть речь идет практически об однородном пассажиропотоке (все едут с одной целью на один стадион). За основу взята плотность потока и предложены мероприятия по его максимально комфортному продвижению ко времени начала матча с минимизацией числа возможных опозданий. В качестве аппарата проверки выбрана система моделирования Anylogic. Оценка данной системы будет дана в последующих главах при анализе и выборе систем моделирования для решения задач, поставленных в данном исследовании.

1.5.3. Анализ методов изучения и формирования транспортных систем

В работах Доенина В. В. [70, 71] описан подход к созданию системы формализованных моделей и методики моделирования дискретных массовых потоков, особенностью которых является то, что каждый их элемент самостоятельно выбирает логику управления своим движением. Также автором предложены математические модели, позволяющие описывать и анализировать как дискретные, так и непрерывные транспортные процессы, управляемые с помощью логических операторов. В работе [69] автора приведены методы описания взаимодействующих параллельных процессов перемещения объектов различного рода в распределенных системах какого-либо вида. Приведен опыт практического применения предлагаемых моделей для экспертизы качества транспортных процессов на метрополитене, наземном городском транспорте и пересадочных узлах. В работе [72] предложен аналитический аппарат для описания и исследования поведения изучаемых объектов в динамических процессах передвижения по транспортным сетям с учетом возмущающих воздействий

внешней среды и изменяющихся условий реализации перевозок. Работы Доенина В. В. внесли значительный вклад в теоретические исследования в сфере моделирования работы транспортных систем, но не решают проблему организации пассажиропотока.

Для определения параметров пассажирских транспортных систем на базе железнодорожного транспорта широко используется различными авторами задача линейного программирования. Она же была использована и для расчета рациональных размеров движения транспортных средств в интермодальной транспортной системе [113]. Несмотря на то, что в данном случае ограничения и критериальная функция позволяли одновременно выполнять расчет размеров движения пригородных поездов и автотранспорта для обеспечения сбалансированности предлагаемых мест на всех звеньях логистической цепочки перевозки пассажиров, дальнейшее согласование осуществлялось вручную. Задача решалась статически.

Также статически рассмотрено Трегубовым В. Н. в работе [244] решение проблем, связанных с обеспечением эффективного функционирования городского пассажирского транспорта, включая формирование оптимизационных, информационно-аналитических и статистических моделей процессов в логистической системе городского пассажирского транспорта.

В последние годы с развитием информационных технологий различными авторами применяется имитационное моделирование для исследований в сфере пригородных пассажирских перевозок [66, 68, 172].

В предлагаемых ранее методиках ТПУ рассматривались только обобщено, как место пересадки пассажиров с определенной продолжительностью. На самом же деле ТПУ сам представляет собой сложнейший элемент транспортной системы поскольку включает как транспортную инфраструктуру для приема-отправления и выполнения операций с поездами и другими транспортными средствами, так и пассажирские обустройства для перемещения и обслуживания пассажиров. Сложность оптимизации параметров работы элементов ТПУ заключается в том, что одни элементы (приемо-отправочные пути, стрелочные горловины и т. д.)

накладывают ограничения на ритмичность движения поездов, а другие (платформы, сходы, переходы, билетные кассы и т. д.) – на пассажиропотоки. Поэтому при решении задач транспортного обслуживания населения городских агломераций необходимо также обеспечивать рациональный подвод и отправление пригородных поездов и автотранспорта в ТПУ. Начинать при этом необходимо с организации пассажиропотока, то есть оптимизировать ритмы отправления и прибытия пассажиров по всем начальным-конечным и пунктам пересадки. Делать это необходимо в динамике.

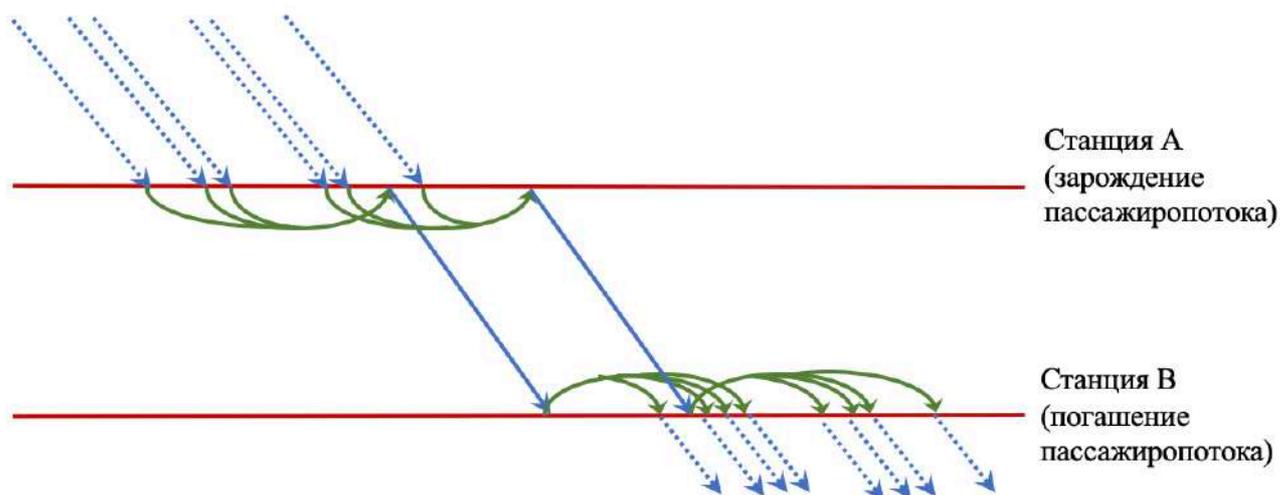
Козлов П. А. является основоположником теории организации транспортных потоков в динамике. Использование динамической транспортной задачи [102, 105, 107, 97, 98, 101] предоставит больше возможностей для решения практических задач согласованного взаимодействия элементов пассажирской транспортной системы агломерации. Ранее на практике и в научных исследованиях данная задача применялась в основном только для оптимизации параметров грузовых перевозок. Данному вопросу посвящены труды П. А. Козлова, в том числе выполненные в соавторстве с О. В. Осокиным, Н. А. Тушиным, В. С. Колокольниковым [108, 106, 109, 188, 100, 103, 104].

Ранее на практике и в научных исследованиях данная задача применялась в основном только для оптимизации параметров грузовых перевозок.

Рассматривая по аналогии с грузовыми перевозками, пункт зарождения пассажиропотока на железнодорожном транспорте (куда пассажиры доставляются городскими видами транспорта) как производство, а пункт погашения (где пассажиры пересекаются на городские виды транспорта) как потребителя, можно с помощью статической транспортной задачи найти минимум затрат на перевозку из пункта зарождения пассажиропотока в пункт его погашения.

Учитывая особенности формирования пригородного пассажиропотока и его пространственную неравномерность, можно с уверенностью сказать, что для данной задачи транспортный поток, пассажиропоток, генерируемый на станции отправления, и погашаемый на станции назначения, величины непостоянные и изменяются во времени. Назначаемые пригородные поезда и автобусы задают

ритмы отправления и прибытия пассажиров и, в то же время, приводят к накоплению пассажиров на этих станциях в зависимости от расписания работы городских видов транспорта в пунктах отправления и назначения (рисунок 1.14).



Условные обозначения:

-  – передвижение пассажиров на автомобильном общественном транспорте;
-  – передвижение пассажиров на пригородном железнодорожном транспорте;
-  – пересадки пассажиров между видами транспорта.

Рисунок 1.14 – Схема зарождения и погашения пригородных пассажиропотоков

Недостатком применяемых сегодня методов является невозможность рационально адаптировать транспортную систему к меняющимся условиям функционирования, тем более сделать это достаточно оперативно. Например, «окна» на железнодорожном транспорте или проведение ремонта федеральных и региональных трасс и автодорог местного значения, а также другие проблемы, которые могут возникнуть с инфраструктурой или подвижным составом, приводят к снижению пропускной, а в итоге и провозной, способности отдельных элементов логистической цепочки перевозки пассажиров, а в итоге всей мультимодальной транспортной системы. Кроме того, в результате происходит хаотичное переключение пассажиропотока между параллельными маршрутами: кто-то пользуется компенсационными маршрутами (если они были назначены), другим видом транспорта или личным автотранспортом, кто-то переносит время поездки и т. д.

Необходимо понимать, что при корректировке работы одного из элементов транспортной системы, это должно быть учтено в работе других ее элементов. Модели, позволяющие определять оптимальные параметры транспортной системы в динамике для любых изменяющихся условий, являются наиболее перспективными для решения задач, которые ставятся перед транспортным комплексом городских агломераций.

Если выбрать такой метод и сделать такую модель, которая установит такие оптимальные параметры, при которых будут согласованы ритмы транспортных систем муниципальных образований городских агломераций и ритмы внутриагломерационных связей, то по видимому данная модель может быть и применена при соответствующих параметрах для организации пассажирских транспортных систем с участием поездов дальнего следования, скоростных и высокоскоростных, но в этих системах уже пригородный транспорт будет играть роль «подвозящего» к станции.

Выводы к главе 1

1. Показана значимость городских агломераций для развития общества и государства в целом. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта обозначено важнейшее место транспорта в формировании и успешном функционировании городских агломераций, определена первостепенная роль железнодорожного транспорта.

2. Проанализированы пассажиропотоки городских агломераций и выявлены свойственные для них признаки, которые необходимо учитывать при формировании пассажирских транспортных систем.

3. Проанализированы труды отечественных и зарубежных ученых в сфере изучения пассажиропотоков и совершенствования организации пригородных, пригородно-городских и внутригородских пассажирских перевозок, в том числе при формировании транспортных систем городских агломераций.

4. В основном все ранее применяемые на практике методики и теоретические исследования сводились к использованию статических методов без учета динамики процессов пригородных пассажирских перевозок.

5. Для повышения клиентоориентированности и более эффективной организации пригородных пассажирских перевозок в городских агломерациях необходимо использовать методы, позволяющие учесть динамику процессов зарождения, продвижения и погашения пассажиропотоков.

2. ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ ПАССАЖИРОПОТОКА И АППАРАТ ОПТИМИЗАЦИИ

2.1. Проблема организации пассажиропотоков

Если при организации грузовых перевозок речь идет об организации вагонопотоков в поезда на основе данных о грузопотоках, то в пассажирских перевозках всегда шла речь об «освоении пассажиропотоков» – то есть цель была всегда в том, чтобы перевезти пассажиров. Либо же еще речь шла об организации пригородных пассажирских перевозок, то есть организовывалась перевозка: опять же с целью перевезти пассажиров. При этом к перевозке принимался существующий пассажиропоток, сформированный под воздействием внешних и внутренних по отношению к транспорту факторов. В первой главе описаны различные методы исследования пассажиропотоков, получения наиболее точных и полных данных о существующих пассажиропотоках и об их прогнозных величинах. В современной практике ведения транспортного бизнеса применяются различные маркетинговые методики воздействия на принятие решения пассажиром при выборе им вида транспорта, времени поездки, класса обслуживания и т. д. – перевозчики разрабатывают различные бонусные программы, направленные на повышение потребительской лояльности. Однако в большинстве случаев решения о проведении подобных акций являются бессистемными или чисто интуитивными. На настоящий момент нет методики, позволяющей организовать пассажиропоток так, чтобы максимально учесть потребности пассажиров (максимально соответствовать ожиданиям пассажиров) и в то же время рационализировать работу транспорта. Маркетинговые методы будут эффективно работать только при предварительно организованном пассажиропотоке, когда будет понятен предполагаемый комплексный эффект от планируемых мероприятий. В свою очередь, для качественного освоения грамотно организованного пассажиропотока требуется создание значительно меньших резервов со стороны железнодорожного транспорта (пропускной способности

участков и объектов инфраструктуры на станциях отправления и назначения, подвижного состава, персонала и т. д.).

В качестве статических резервов с точки зрения организации пассажирских перевозок может рассматриваться подвижной состав различных видов транспорта. Если говорить о городских агломерациях, то это в основном подвижной состав железнодорожного и автомобильного транспорта. При формировании транспортной системы может быть снижено количество составов пригородных поездов (или автотранспорта) в обороте, либо снижен непроизводительный пробег свободных мест в пригородных поездах и автотранспорте.

ТПУ можно только частично рассматривать в качестве «склада», поскольку пассажир не будет ждать слишком долго отправления далее по маршруту. Каждый последующий перевозчик является получателем пассажира от предыдущего перевозчика на маршруте (рисунок 2.1), при этом, если основным перевозчиком является железнодорожный транспорт, то даже при наличии дублирующих маршрутов автотранспорта, в часы «пик» он будет практически незаменим в части обеспечения необходимой провозной способности.

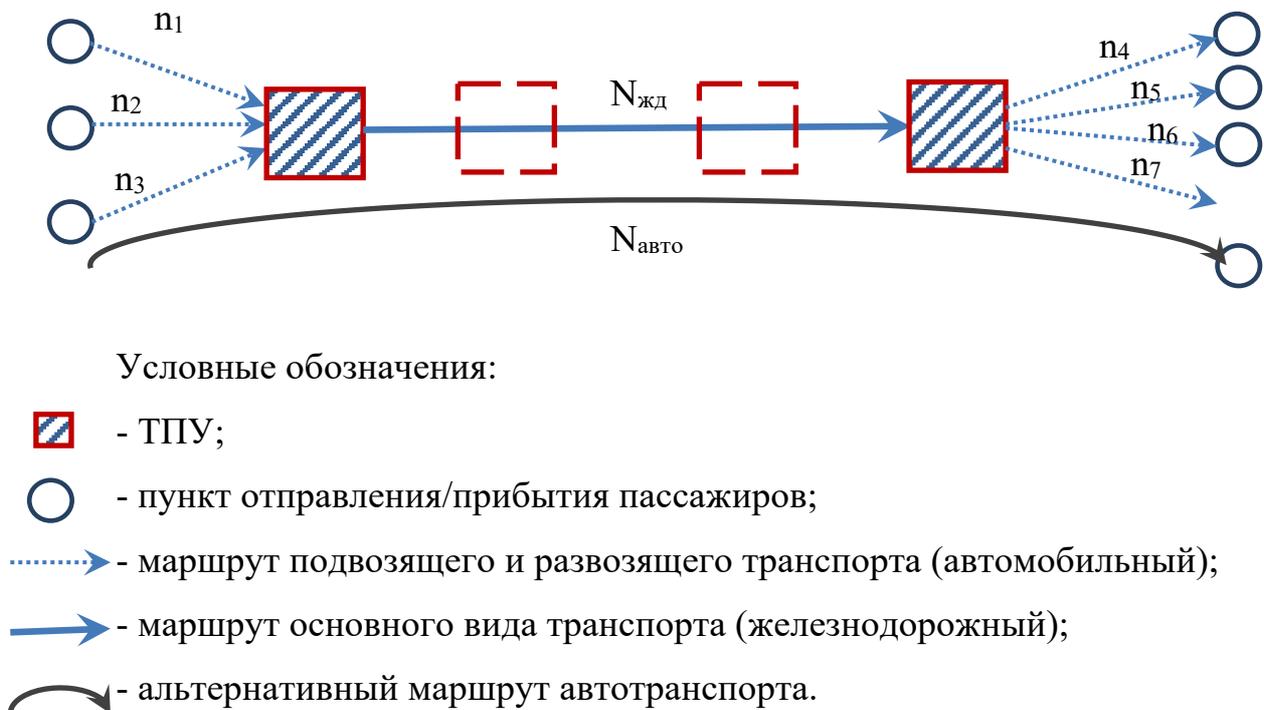
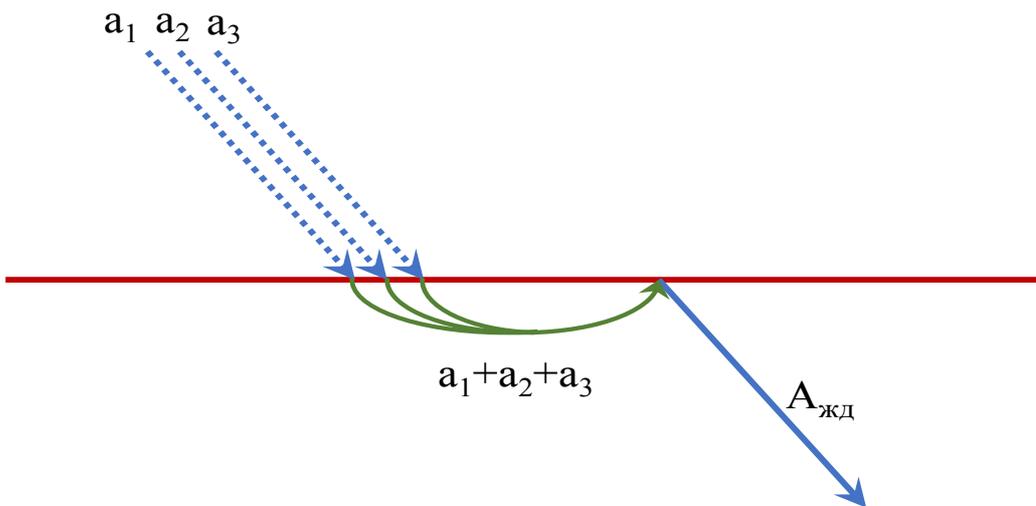


Рисунок 2.1 – Логистические маршруты перевозки пассажиров

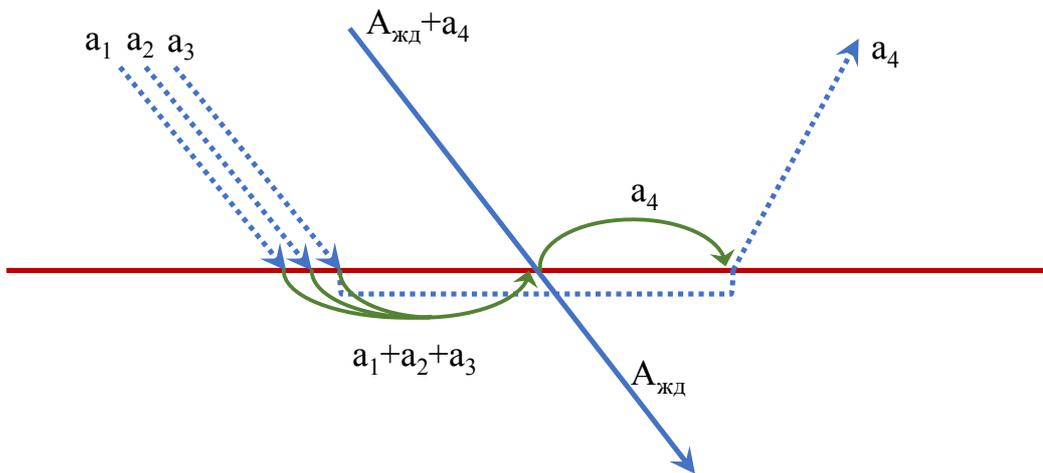
Для качественного транспортного обслуживания пассажиров и соответственно освоения пассажиропотока необходимо обеспечить сбалансированность предлагаемых мест на всем маршруте следования (рисунок 2.1). Если предположить, что на всех этапах маршрута перевозка осуществляется только подвижным составом с одним классом обслуживания (базовым), то тогда необходимо, чтобы количество предлагаемых мест в подвозящем автотранспорте $(n_1+n_2+n_3)$ соответствовало количеству мест, предлагаемых в основном транспорте (в пригородном поезде) $N_{жд}$. При этом количество мест в пригородном поезде должно быть определено с учетом пассажиропотока, отправляющегося не только с конечной станции, но и с промежуточных станций пригородного участка (куда пассажиров, в свою очередь, может подвозить автотранспорт). Количество мест в развозящем транспорте $(n_4+n_5+n_6+n_7)$ также должно соответствовать количеству мест в прибывающем пригородном поезде $N_{жд}$.

Важным фактором является характер пассажирообмена в пункте пересадки между транспортными средствами: односторонний или двусторонний (взаимный) (рисунок 2.2).

а)



б)



Условные обозначения:

a_1, a_2, a_3, a_4 – пассажиропоток подвозящего автотранспорта;

$A_{\text{ЖД}}$ – пассажиропоток на железнодорожном транспорте.

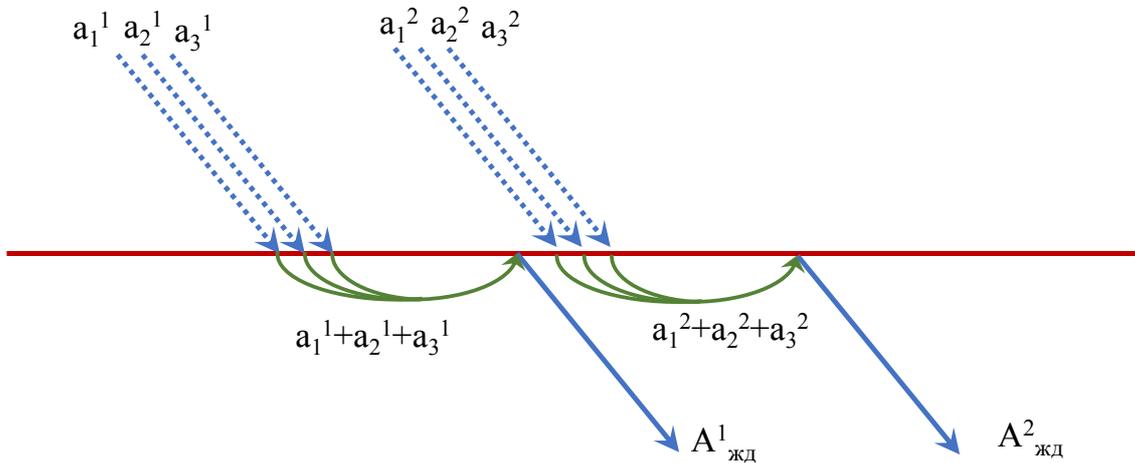
Рисунок 2.2 – Схемы пассажирообмена между транспортными средствами в пункте пересадки: а) пример одностороннего пассажирообмена, б) пример двустороннего (взаимного) пассажирообмена

Пассажир, в отличие от груза, сам совершает перемещение из одного транспортного средства в другое. Поэтому даже если расписание движения транспортных средств максимально согласовано на маршруте, но при этом имеется следующий по расписанию пригородный поезд или автобус, то при небольших интервалах движения пассажир может пересест в него, а не в тот поезд или автобус, расписание которого по мнению перевозчика согласовано. Особенно этот

момент может проявиться в вечернее время, когда поездка пассажира не так жестко привязана ко времени и он может задержаться для совершения покупок, встречи со знакомыми и по другим причинам.

Задержка в пункте пересадки может быть вызвана не только зависящими от пассажира причинами, но и сбоями в работе транспорта (автомобильные пробки, аварии и т. д.). Тогда либо возникнет непроизводительный простой транспортного средства, в которое должны были пересест пассажиры (если есть возможность его задержать), либо необходим резерв мест в следующем по расписанию транспортном средстве (рисунок 2.3).

а)



б)

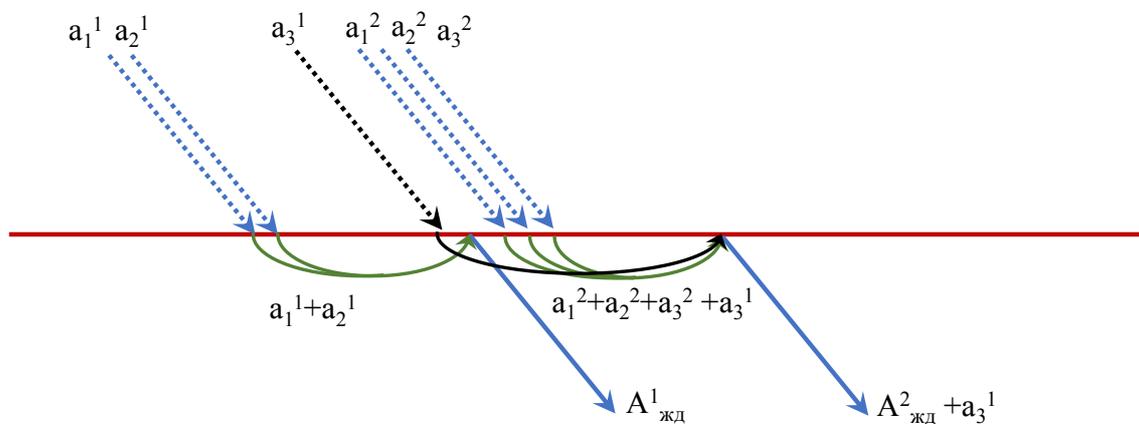
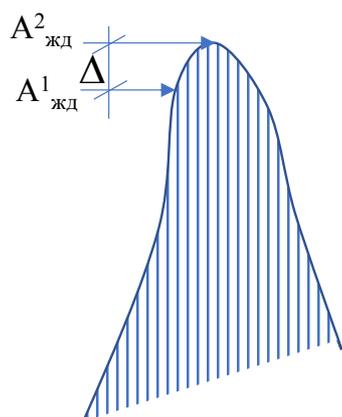


Рисунок 2.3 – Схема пассажирообмена в пункте пересадки: а) при выполнении согласованного расписания движения транспортных средств, б) при опоздании подвозящего транспортного средства в пункт пересадки

Представленная на рисунке 2.3 схема пассажирообмена предусматривает наличие резерва мест в пригородном поезде, отправляющемся во второй период времени $A^2_{\text{жд}}$ при опоздании автотранспорта в пункт пересадки к моменту отправления пригородного поезда в первый период времени $A^1_{\text{жд}}$. При этом возможность опоздания автотранспорта увеличивается в часы «пик» из-за возможности возникновения автомобильных пробок, когда пассажиропоток максимален и жестко привязан ко времени. Если такой сбой возникает, когда «пиковый» пассажиропоток является возрастающим, то резерв предусмотреть достаточно сложно, в отличие от того, когда «пиковый» пассажиропоток идет на спад (рисунок 2.4).

а)



б)

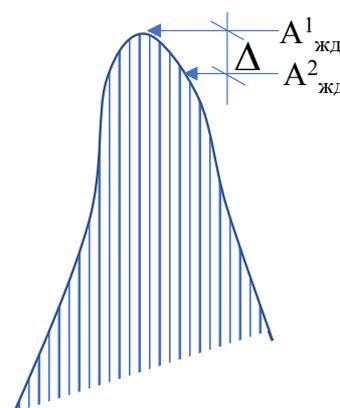


Рисунок 2.4 – «Пиковые» пассажиропотоки а) возрастающий, б) снижающийся

Наличие резервных составов в обороте или наличие резервного автотранспорта, готового выйти на линию, при возникновении сбоев в расписании относится к статическим резервам. Динамические резервы можно получить с помощью управленческих решений при организации движения транспортных средств на маршруте. Кроме того, в качестве резерва могут выступить альтернативные виды транспорта, работающие на маршруте. Именно по этой причине не стоит отказываться от частичного дублирования железнодорожных маршрутов автотранспортом. Пассажиры в отличие от груза не могут быть

взаимозаменяемы, так как каждый совершает поездку именно в свою точку назначения. Однако при определенных условиях могут быть взаимозаменяемы транспортные средства, работающие на маршруте поездки пассажира.

В общем случае процесс перевозки пассажиров представляет собой последовательность технологических операций. При этом непроизводительные простои могут возникать как у транспорта, так и у самих пассажиров (при несогласованном расписании движения транспортных средств). При прочих равных условиях (комфорт, цена) пассажиры выберут наиболее быстрый способ перемещения, а в ряде случаев при жесткой привязке ко времени совершения поездки могут пойти и на увеличение стоимости проезда и на поездку с более низким комфортом. Самым важным фактором для основной части пассажиров является прибытие в пункт назначения к необходимому времени.

При этом ускоренная доставка пассажиров скорыми пригородными поездами сокращает время нахождения пассажиров в пути следования. Пассажиры, следующие в таких поездах, имеют приоритет перед пассажирами обычных пригородных поездов. Следовательно, отправившись в один промежуток времени с одной станции, пассажиры скорых пригородных поездов и обычных пригородных поездов окажутся в различные промежутки времени на конечной станции участка – станции пересадки на городской транспорт.

Пункт пересадки пассажиров (пассажиरोобмена) или ТПУ является важнейшим элементом транспортной системы – именно в ТПУ происходит перераспределение пассажиропотоков между транспортными средствами и направлениями движения. При этом в «пиковые» периоды перевозок элементы ТПУ испытывают серьезную перегрузку, в то время как, в остальные периоды дневного времени загружены не более, чем на треть, а ночью не используются. Поэтому в «пиковые» часы необходимо максимально снизить нагрузку на инфраструктуру ТПУ, а в неинтенсивные периоды ТПУ можно отчасти использовать в качестве «бункера» для пребывания и накопления пассажиров. К тому же, в дневное время поездки пассажиров наименее привязаны к определенному времени.

Максимальный «пик» прибытия пассажиров на головную станцию (в городе-ядро) наблюдается в утренние часы, что связано с жесткой привязкой поездки ко времени, определяемому режимом работы предприятий и учебных заведений, являющихся конечной целью поездки. Кроме того, в утренние часы «пик» инфраструктура головной станции и ТПУ испытывает нагрузку со стороны дальнего пассажирского сообщения. Роли ТПУ в организации и функционировании пассажирских транспортных систем, основу которых составляет железнодорожный транспорт, посвящены работы [116, 121].

Автомобильный транспорт обладает значительно меньшей пропускной и провозной способностью относительно железнодорожного. Однако, практически на всех пассажиронапряженных маршрутах параллельно с пригородными поездами курсируют межмуниципальные автобусы, осваивая часть пассажиропотока. Отличие автобусного сообщения состоит в том, что конечный пункт маршрута в городе-ядре находится не в центре города, как железнодорожный вокзальный комплекс. Поэтому переключение пассажиропотока между видами транспорта повлияет и на работу городского транспорта с точки зрения поездок пассажиров к целевому пункту назначения (месту работы, учебы и т. д.).

2.2. Выбор и обоснование аппарата оптимизации

В современных исследованиях оптимизацию параметров пригородных пассажирских перевозок чаще всего рекомендуется осуществлять с помощью транспортной задачи линейного программирования. Такой подход может привести к ряду недостатков сформированной таким образом транспортной системы. Эти недостатки могут сказаться как на уровне клиентоориентированности и качестве транспортного обслуживания населения, так и на эффективности работы транспорта. Данная проблематика освещена в работах [127, 129, 140].

Классическая транспортная задача является статической, поэтому не позволяет отобразить динамику процессов пригородных перевозок. Станция зарождения и отправления пассажиропотоков, а также станция назначения и

погашения работают в некоторых ритмах. Эти ритмы могут не совпадать. При организации мультимодальных (интермодальных) транспортных систем речь может идти не только о ритмах работы станций, но и о ритмах работы подвозящего и развозящего транспорта. При несоответствии, скажем, ритма подвоза автотранспортом пассажиров на станцию отправления и требуемого ритма отправления (режима остановок) с нее пригородных поездов возникают дополнительные затраты на ожидание пассажирами транспорта. В итоге эти затраты времени пассажиров могут привести к повышенной нагрузке на пассажирские обустройства вокзальных комплексов и остановочных пунктов, а также могут вылиться в расходы транспорта, связанные с потерей пассажиров, которые могут отказаться со временем от совершения поездок. Осуществить оптимизацию с учетом этого с помощью классической транспортной задачи нельзя. Кроме того, как говорилось выше, при оптимизации необходимо работать не сразу с параметрами перевозочного процесса, а начинать с пассажиропотока – именно организация пассажиропотока позволит максимально учесть потребности пассажиров и в дальнейшем использовать их для расчета параметров эффективной транспортной системы, то есть работать уже с организованным пассажиропотоком.

При организации транспортного обслуживания городских агломераций всегда есть три заинтересованные стороны:

- собственно, сами пассажиры, испытывающие потребность в перемещении для удовлетворения ряда других своих личных социально-культурных потребностей;
- транспортные компании, включая владельцев инфраструктуры, транспортных средств и перевозчиков, заинтересованных в получении финансовой выгоды;
- государство, которое заботится о повышении качества жизни, обеспеченности производства трудовыми ресурсами, соблюдении экологических принципов и решает другие важнейшие задачи.

При перевозках внутри агломерации основная доля общего времени поездки «от двери до двери» $T_{сумм}$ на каждом логистическом маршруте мультимодальной перевозки приходится на междугороднюю поездку

(перемещение между городом-спутником и городом-ядром), то есть в пригородном сообщении $T_{пр}$.

$$T_{сумм} = T_{гс} + T_{пер1} + T_{пр} + T_{пер2} + T_{гя}, \quad (2.1)$$

где $T_{гс}, T_{гя}$ – время перемещения по городу-спутнику и городу-ядру соответственно;

$T_{пр}$ – продолжительность междугородней поездки;

$T_{пер1}, T_{пер2}$ – продолжительность пересадок.

Продолжительность поездки, определяемая по выражению (2.1), зачастую увеличивается за счет времени ожидания $t_{ож}$ в пунктах пересадки. При пересадке с подвозящего транспорта города-спутника на пригородный транспорт (пригородный поезд) обычно невелика, поскольку городскому транспорту, работающему на коротких маршрутах небольшого города проще подстроить свою работу под пригородный, нежели наоборот. Наибольшие задержки могут возникнуть на головной станции в городе-ядре – несмотря на то, что в крупном городе частота движения транспортных средств достаточно высокая, но работа городского транспорта больше ориентирована на внутригородские перевозки пассажиров, а не на интеграцию с пригородным транспортным комплексом. Кроме того, увеличение продолжительности нахождения пассажиров в пункте пересадки может быть вызвано не только необходимостью ожидания транспортного средства, но и из-за затруднений в перемещении пассажиров по территории ТПУ при превышении пропускной способности его элементов и соответственно увеличении времени прохода t_n . В итоге это может привести даже к опозданию ко времени отправления транспортного средства, на которое планировалась пересадка пассажира. С учетом задержек суммарное время, затрачиваемое пассажиром на поездку, будет определяться:

$$T_{сумм} = T_{гс} + T_{пер1} + T_{пр} + T_{пер2} + T_{гя} + t_{ож} + t_n \quad (2.2)$$

Увеличение продолжительности поездки пассажира негативно сказывается не только на самом пассажире, его физическом состоянии и нерациональном использовании его времени, но и на его выборе в пользу того или иного вида общественного транспорта, или личного автомобиля. Кроме того, более длительное нахождение пассажира на транспортных объектах приводит к их неэффективному использованию: повышается нагрузка на инфраструктуру при том же тарифе. Как показывают многочисленные исследования, дополнительно возникающие затраты времени из-за несогласованности работы транспортных средств, нерационального их подвода к пунктам пересадки, могут достигать до 30 % продолжительности самой поездки.

При организации пригородных перевозок решались маркетинговые задачи с целью наиболее полного изучения структуры и потребностей пассажиропотоков и технико-технологические задачи для обеспечения наиболее рационального использования транспортных средств и инфраструктуры для удовлетворения потребностей населения в перевозке. При этом работа транспорта подстраивалась под существующий или прогнозируемый пассажиропоток. Однако при этом не учитывалось, что существующий пассажиропоток уже подстроился под имеющиеся возможности транспорта, аналогичная ситуация складывалась с прогнозными величинами, основанными на существующем потоке. В действительности все исследования показывают, что на выбор пассажиром способа поездки по определенному маршруту влияет: необходимое время совершения поездки (момент прибытия на конечную станцию), продолжительность совершения поездки (нахождение в пути следования), стоимость поездки и комфорт. При этом значимость каждого фактора различна для каждой группы пассажиров: одни жестко привязаны ко времени прибытия (что обусловлено началом рабочего дня), для других допустим определенный период прибытия (допустим с 8.00 до 8.30), третьи имеют возможность больше времени затратить на поездку при меньшей ее цене и т. д. За счет таких различных предпочтений пассажиров может быть организован пассажиропоток еще до момента определения параметров транспортной системы. Такой подход позволит

максимально учесть потребности всех пассажиров при эффективном использовании транспортной инфраструктуры и подвижного состава.

Целью организации пассажиропотока является получение заданного ритма прибытия на конечную станцию. Оптимизация заключается в выборе режимов отправления пассажиров со всех станций с минимизацией возникающих проблем для пассажиров, таких как: время ожидания, корректировка привычных ритмов отправления и др. Корректировка может осуществляться за счет тех групп пассажиров, поездка которых не привязана жестко к определенному времени прибытия или отправления, продолжительности и стоимости поездки. Метод оптимизации должен предоставлять возможность учета такого рода параметров.

Организовывать пассажиропоток необходимо начинать с самой протяженной части маршрута поездки, то есть с поездки в пригородном сообщении. Почему важно организовывать именно пригородный пассажиропоток? В мультимодальной транспортной системе «пригород-город» маршруты городского транспорта гораздо короче и проще поддаются корректировке, кроме того, городской пассажиропоток наиболее массовый по сравнению с пригородным и обеспечивает эффективность использования транспортных средств.

В динамической транспортной задаче (ДТЗЗ), как показано в работах П. А. Козлова [97, 98] и А. Э. Александрова [3, 7, 9], а также в работе [119] расчет параметров перевозочного процесса в определенный период ведется с учетом параметров предыдущего расчетного периода. Таким образом, получается некоторый переходной процесс. В статической задаче этот процесс отобразить нельзя, что может привести к серьезной рассогласованности полученных решений. Поэтому для оптимизации динамических процессов, к которым относятся внутриагломерационные пассажирские перевозки, необходимо использовать методы, позволяющие учесть эту динамику. ДТЗЗ наиболее подходит для достижения поставленной в исследовании цели.

Любая задача оптимизации, связанная с освоением пассажиропотока железнодорожным или другими видами транспорта, включая мультимодальные перевозки, имеет достаточно большую размерность – речь идет о сотнях и тысячах

пассажиры, отправляющихся с различных станций участка в различное время по множеству маршрутов. Изменение времени и различных условий перевозки пассажиров (освоения определенного пассажиропотока) влияет не только на процессы на станции отправления и назначения именно этого пассажиропотока, но и приводит к изменениям в работе других станций и целых участков, то есть влияет на качество обслуживания других пассажиров. Допустим задача состоит в согласовании ритмов отправления пассажиров из зон зарождения пассажиропотоков и ритмов прибытия пассажиров на станции погашения пассажиропотока (например, при пересадке на другой вид транспорта на головной станции пригородного участка). При этом имеется несколько пунктов зарождения пассажиропотока. Изменение времени отправления одной группы пассажиров с одной станции может изменить ритмы отправления других групп пассажиров со всех других станций (рисунок 2.5). Возникает несколько миллионов вариантов. Выбрать наилучший можно только с применением процедур строгой оптимизации.

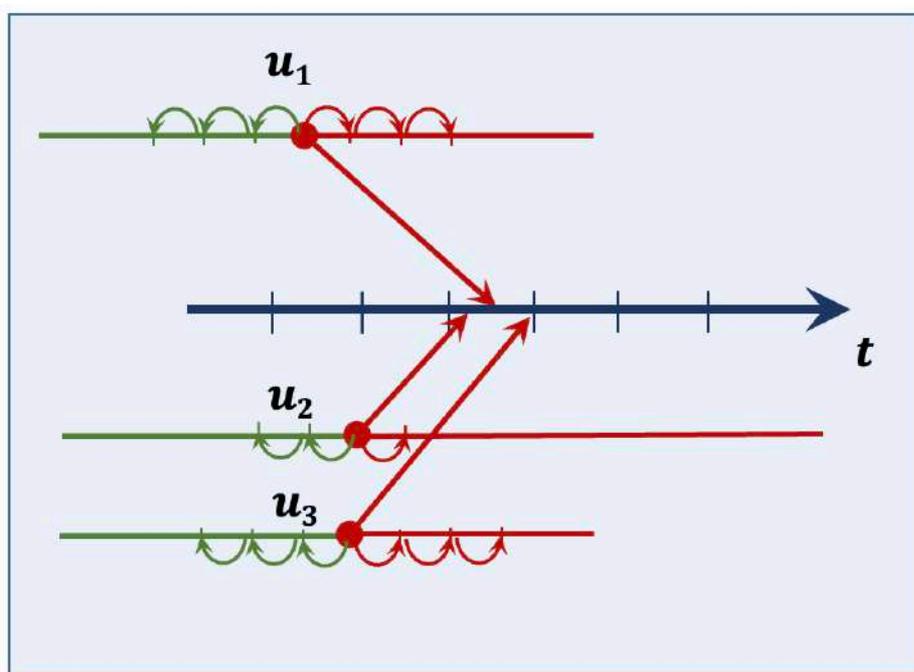


Рисунок 2.5 – Схема корректировки ритмов отправления пассажиров

Для автоматизированной организации пассажиропотока и оптимизации его динамической структуры различного содержательного наполнения необходимо использовать возможности аппарата динамической транспортной задачи.

2.3. Возможности метода динамического согласования (МДС) для решения транспортных задач городской агломерации

До настоящего момента при решении задач обеспечения транспортного обслуживания городских агломераций не было предложено принципов и методов организации пассажиропотока. Кроме того, все параметры пригородных пассажирских перевозок определялись с использованием статических методов.

Статическая транспортная задача формулируется следующим образом: найти минимум затрат на перевозки из пунктов зарождения пассажиропотока в пункты погашения (в основном на головную станцию пригородного участка).

$$\sum_i \sum_j c_{ij} u_{ij} \rightarrow \min, \sum_j u_{ij} = a_i, \sum_i u_{ij} = b_j, \quad (2.3)$$

где c_{ij} – стоимость перевозки пассажира пригородным поездом по участку x_{ij} за 1 такт;

u_{ij} – пассажиропоток, осваиваемый пригородным поездом, на участке x_{ij} ;

a_i – объем зарождения пассажиропотока на станциях отправления;

b_j – объем пассажиропотока, погашаемого на станции назначения.

С точки зрения пассажирских перевозок динамическую транспортную задачу можно описать в следующем виде:

Пусть транспортный комплекс городской агломерации состоит из $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ пунктов зарождения пассажиропотока и $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ пунктов погашения пассажиропотока, соединенных возможными направленными маршрутами перемещения $x_{ij} = (x_i; y_j)$. Каждый маршрут x_{ij} характеризуется пропускной способностью $d_{ij}(t) \geq 0$. Пусть $[t_0, T]$ – интервал поиска оптимального решения по освоению пассажиропотока. Для каждого момента времени t ($t = t_0, t_1, t_2, \dots, t_p, \dots, T$) на множестве X определена функция зарождения $q_i^+(t)$ и на множестве Y функция погашения $q_j^-(t)$ пассажиропотоков. Если на станции происходит пересадка пассажиров с

автомобильного на железнодорожный транспорт, то такую станцию называют пунктом пересадки x_j . Обозначим через $u_{ij}(t)$ пассажиропоток на участке x_{ij} , выходящий в момент t_p из пункта x_i и приходящий в момент $t_p + \tau_{ij}$ в пункт y_j . Если путь x_{ij} отсутствует или $t_p + \tau_{ij} > T$, то полагаем $u_{ij}(t) = 0$. Пусть c_{ij} – стоимость перевозки пассажира по участку x_{ij} за 1 такт.

Необходимо найти оптимальный вариант организации заданного однородного пассажиропотока в городской агломерации.

Схема динамической потоковой модели в общем виде представлена на рисунке 2.6.

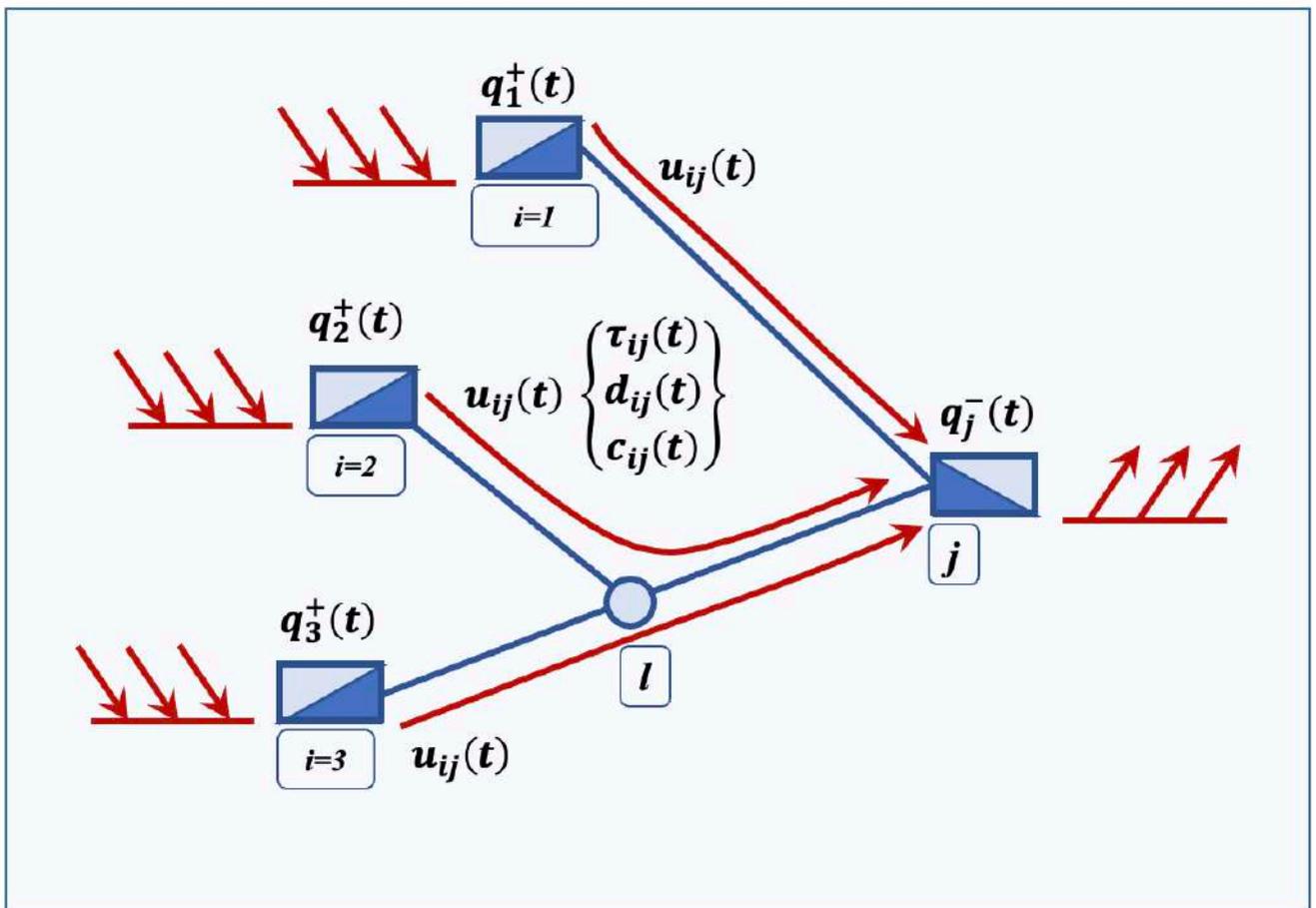


Рисунок 2.6 – Схема потоковой модели с учетом динамики

В динамической постановке все параметры могут изменяться во времени. Так как задаются ритмы отправления и прибытия пассажиров, появляются новые переменные – ожидание на станции отправления и назначения (рисунок 2.7).

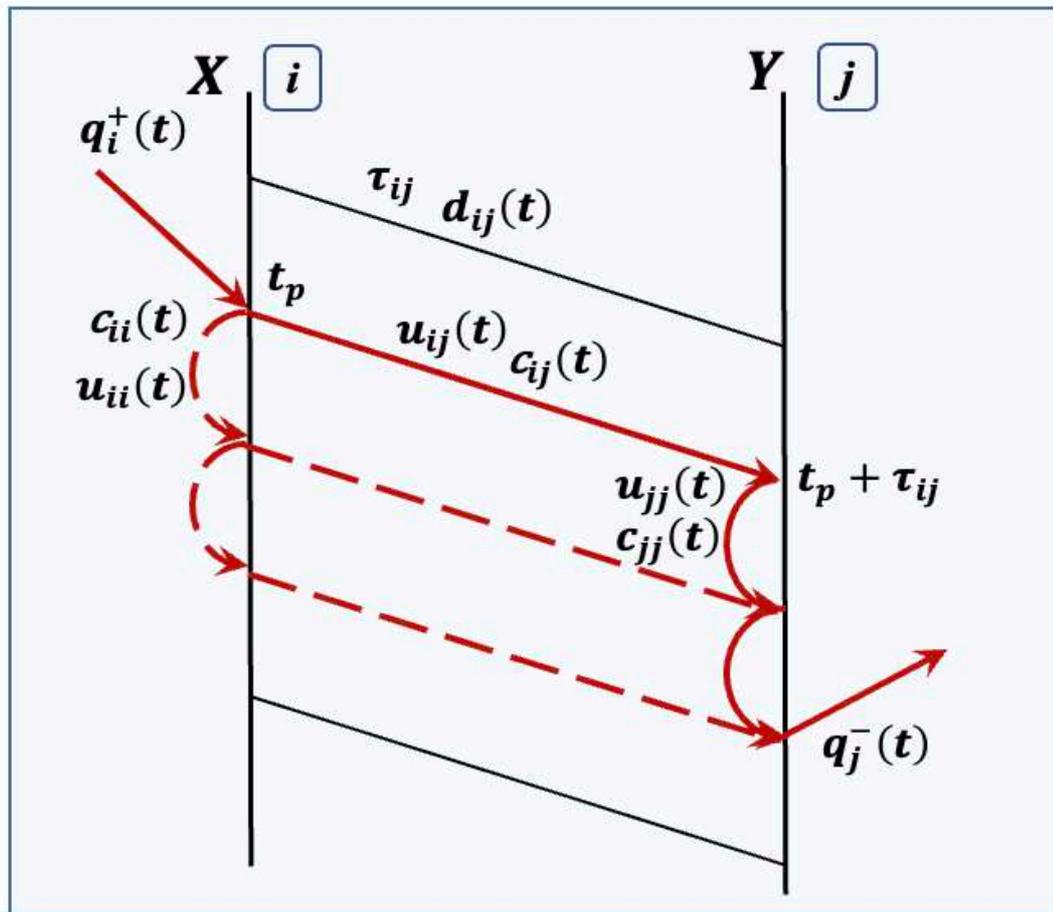


Рисунок 2.7 – Связь в динамике пункта отправления и назначения пассажиропотока через транспорт

Пассажиропоток $u_{ii}(t) = u(x_i, t)$ означает ожидание в пункте x_i в момент времени t . Поэтому $t_{ii} = 1$. Максимальная вместимость пункта отправления d_{ii} . Тогда c_{ii} – стоимость ожидания пассажиром за 1 такт. Для каждого пункта погашения пассажиропотока y_j период, в течение которого нет прибытия пассажиров, равен $[t_0, \tau_j - 1]$, где $\tau_j = \min(\tau_{ij})$. Пассажиропоток $u_{jj}(t) = u(y_j, t)$ означает ожидание в пункте y_j в момент времени t . Максимальная вместимость пункта назначения d_{jj} . Тогда c_{jj} – стоимость ожидания пассажиром за 1 такт.

Динамика зарождения пассажиропотока $q_i^+(t)$ и динамика погашения пассажиропотока $q_i^-(t)$ заданы во времени.

Задается также время хода между станциями отправления и станцией назначения τ_{ij} , стоимость перевозки C_{ij} и стоимость ожидания C_{ii} и C_{jj} . Стоимости

могут задаваться на весь период расчета или меняться с течением времени.

Пассажиропотоки $u_{ii}(t)$ и $u_{jj}(t)$ являются, по сути, переменными, которые согласуют ритмы отправления и прибытия. То есть цепочка согласования выглядит так:

$$q_i^+(t) \Rightarrow u_{ii}(t) \Rightarrow u_{jj}(t) \Rightarrow q_j^-(t). \quad (2.4)$$

Это согласование пассивное, потому что активной роли транспорт здесь еще не играет.

Равенство объемов зарождения и погашения пассажиропотоков теперь будет выглядеть иначе:

$$\sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n q_i^+(t_p) = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{j=1}^m q_j^-(t_p) \quad (2.5)$$

Задача оптимизации функционирования пассажирской транспортной системы городской агломерации на основе организации пассажиропотока заключается в минимизации суммарных расходов на перевозку и на ожидание.

Критерий оптимизации задается исходя из минимизации затрат на освоение пассажиропотока в полном объеме, а также ожидание пассажирами на станции отправления и задержки на станции назначения следующим образом:

$$J = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}(t_p) u_{ij}(t_p) + \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n c_{ii}(t_p) u_{ii}(t_p) + \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{j=1}^m c_{jj}(t_p) u_{jj}(t_p) \rightarrow \min. \quad (2.6)$$

Динамика пассажиропотоков, ожидающих отправления, имеет вид:

$$u_{ii}(t_{p+1}) = u_{ii}(t_p) + q_i^+(t_p) - \sum_{j=1}^m u_{ij}(t_p), \quad (2.7)$$

в пункте назначения:

$$u_{jj}(t_{p+1}) = u_{jj}(t_p) + \sum_{i=1}^n u_{ij}(t_p - \tau_{ij}) - q_j^-(t_p); \quad (2.8)$$

в пункте пересадки (для станции (остановочного пункта), где возможна пересадка пассажиров):

$$\mathbf{u}_{il}(t_{p+1}) = \mathbf{u}_{il}(t_p) + \sum_{i=1}^n \mathbf{u}_{il}(t_p - \tau_{il}) - \sum_{j=1}^m \mathbf{u}_{lj}(t_p); \quad (2.9)$$

Также имеются ограничения по пропускной способности:

$$\mathbf{u}_{jj}(t_p) \leq \mathbf{d}_{jj}(t_p); \quad (2.10)$$

$$\mathbf{u}_{ii}(t_p) \leq \mathbf{d}_{ii}(t_p); \quad (2.11)$$

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{ij}(t_p) \leq \mathbf{d}_{ij}(t_p); \quad (2.12)$$

$$t_0 \leq t_p + \tau_{ij} \leq T; \quad (2.13)$$

$$t_0 \leq t_p - \tau_{ij} \leq T, \quad (2.14)$$

где $\mathbf{d}_{ij}(t_p)$ – пропускная способность участка x_{ij} при отправлении пассажиров в момент времени t_p ;

$\mathbf{d}_{ii}(t_p)$ – вместимость пункта отправления в момент времени t_p ;

$\mathbf{d}_{jj}(t_p)$ – вместимость пункта назначения в момент времени t_p .

Таким образом, получаем ДТЗЗ в сетевой постановке. Очевиден содержательный смысл ограничений, включая балансное уравнение (2.8), составленное без учета корректировки времени отправления пассажиров с переносом на более ранний период.

Данную ДТЗЗ можно решить сведением к статической задаче методом размножения во времени (рисунок 2.8).

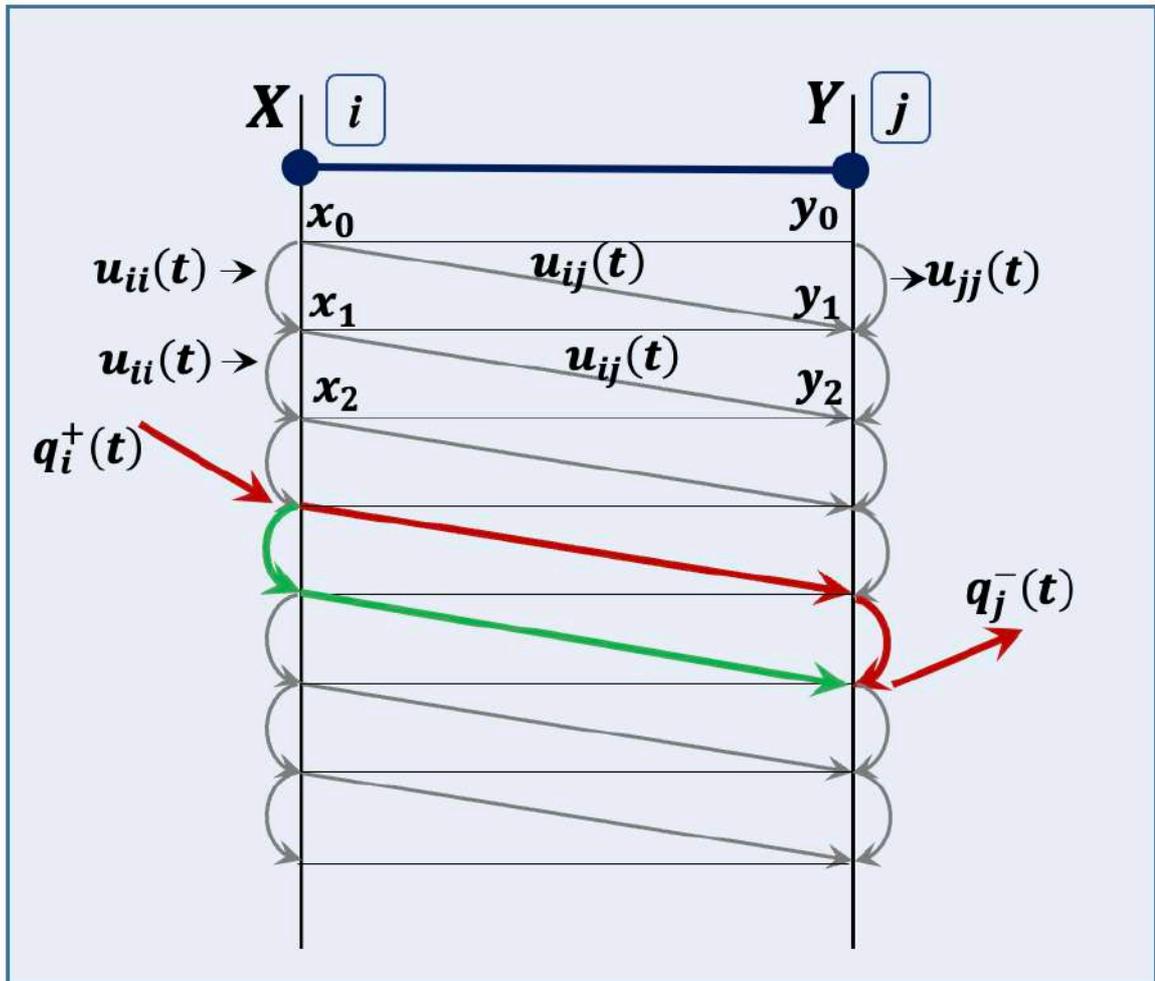


Рисунок 2.8 – Схема сведения динамической транспортной задачи к статической

Представленные на рисунке 2.8 множества, полученные при размножении во времени ДТЗЗ (\mathbf{x}_t , $\mathbf{X} \equiv \{\mathbf{x}_t\}$ – соответствует пункту \mathbf{X} , $\mathbf{Y} - \mathbf{y}_t$, $\mathbf{Y} \equiv \{\mathbf{y}_t\}$ – соответствует пункту \mathbf{Y}) образуют дуги. То есть помимо дуг, отображающих перемещение пассажиропотоков по участку, $\mathbf{u}_{ij}(t)$, возникают дуги, имитирующие динамику ожидания на станциях $\mathbf{u}_{ii}(t)$, $\mathbf{u}_{jj}(t)$. Интенсивность зарождения пассажиропотока $\mathbf{q}_i^+(t)$ понимается в широком смысле (это и просто подход пассажиров на станцию, и прибытие подвозящим транспортом).

Пассажиропоток со станции зарождения на станцию погашения может быть отправлен сразу же – тогда могут быть простои на станции погашения (красная линия на рисунке 2.8) или ожидание может возникнуть на станции отправления (зеленая линия).

Такое размножение ДТЗЗ во времени с точки зрения поиска решения является аналогом классической транспортной задачи, но значительно большей размерности, которая может быть решена одним из известных стандартных методов.

Однако ДТЗЗ не позволяет подстраивать ритмы отправления под ритмы прибытия. В качестве метода оптимизации при организации пассажиропотока более целесообразно использовать метод динамического согласования (МДС), являющийся дальнейшим развитием динамической транспортной задачи. При использовании данного метода технология работы станции отправления пассажиров подстраивается к работе станции назначения, и схема согласования выглядит немного иначе (рисунок 2.9).

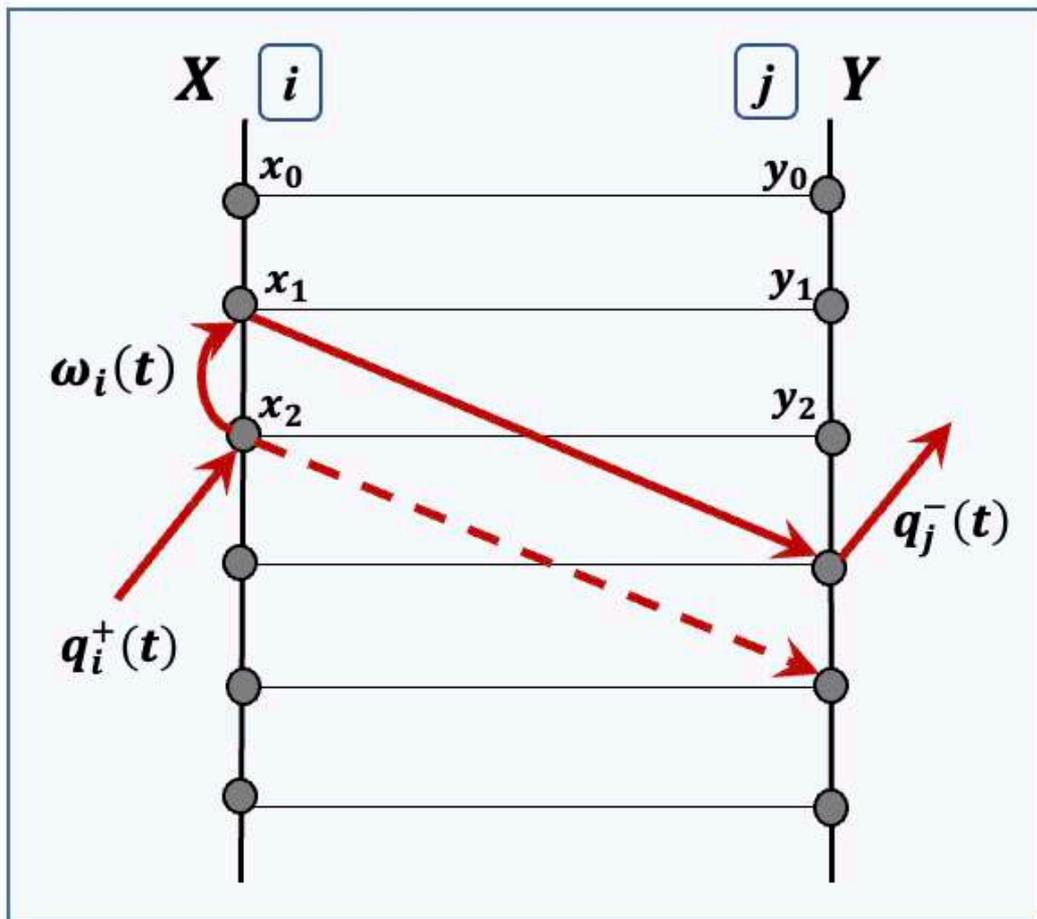


Рисунок 2.9 – Активное подстраивание зарождения пассажиропотока к его погашению

В этом случае вводится согласующая переменная $\omega_i(t)$, которая

подстраивает ритм зарождения пассажиропотока под ритм его погашения. Цепочка согласования имеет вид:

$$q_i^+(t) \Rightarrow \omega_i(t) \Rightarrow q_j^-(t). \quad (2.15)$$

Оптимизацию задает функционал, учитывающий не только потери от опозданий к желаемому времени прибытия, но и затраты на корректировку.

$$J = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij}(t_p) u_{ij}(t_p) + \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n c_{ii}(t_p) u_{ii}(t_p) + \\ + \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{j=1}^m c_{jj}(t_p) u_{jj}(t_p) + \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n c_i^*(t_p) \omega_i(t_p) \rightarrow \min, \quad (2.16)$$

где c_i^* – стоимость смещения момента отправления единицы потока на единицу времени назад (стоимость корректировки может задаваться на весь период расчета, а может меняться в течение периода расчета).

Динамика накопления пассажиров на станции отправления имеет вид:

$$u_{ii}(t_{p+1}) = u_{ii}(t_p) + q_i^+(t_p) - \sum_{j=1}^m u_{ij}(t_p) + \omega_i(t_{p+1}) - \omega_i(t_p). \quad (2.17)$$

Результатом каждого расчета с использованием предложенной модели организации пассажиропотока является оптимум при заданных исходных данных. Однако содержательно оптимальный вариант не всегда отвечает принципам клиентоориентированности. Например, могут возникнуть серьезные корректировки времени отправления, которые будут неприемлемы для пассажиров. Задачу организации пригородного пассажиропотока необходимо решать не просто с применением оптимизационной модели и математического аппарата, но и содержательно, учитывая требования пассажиров к параметрам транспортного обслуживания.

2.4. Технология использования модели организации однородного пассажиропотока

Содержательной задачей организации пассажиропотока является нахождение компромисса между потребностями пассажиров и возможностями транспорта. Компромисс достигается благодаря тому, что, получая каждый раз формальный оптимум, с помощью весовых коэффициентов (стоимостей) при переменных можно отображать приоритеты пассажиропотоков с различных станций и участков. Алгоритм нахождения компромиссного варианта представлен на рисунке 2.10.



Рисунок 2.10 – Алгоритм поиска компромиссного оптимального варианта

На рисунке 2.10 обозначены:

*

- расчетная схема (линии маршрутов, станции отправления и назначения);
- время поездки между станциями τ_{ij} ;
- общий пассажиропоток, который необходимо перевезти за расчетный период;
- функция зарождения $q_i^+(t)$ пассажиропотока;
- функция погашения пассажиропотока $q_j^-(t)$;

**

- величина $\omega_i(t)$ и стоимость корректировки $c_i^*(t)$;
- стоимости ожидания на станции отправления $c_{ii}(t)$, станции назначения $c_{jj}(t)$, перевозки $c_{ij}(t)$;
- пропускная способность участков $d_{ij}(t)$;
- вместимость пункта отправления $d_{ii}(t)$ и пункта назначения $d_{jj}(t)$, определяющие максимальные величины очередей.

Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе организации пассажиропотока подразумевает задание большого числа исходных данных. Для достижения поставленного результата все параметры могут быть управляемыми, включая:

- время поездки по отдельным участкам;
- пропускная способность участков;
- стоимость ожидания пассажирами на станции отправления/назначения;
- стоимость пропуска единицы пассажиропотока;
- предельная вместимость для очереди на станциях;
- ритм (динамика) отправления пассажиров;
- желаемый ритм (динамика) прибытия пассажиров.

Даже при условии, что модель перебирает огромное количество вариантов, чтобы добиться желаемого результата, необходимо провести несколько десятков экспериментов. Чтобы сократить число экспериментов в поисках разумного

компромисса по организации пассажиропотока, необходимо выстроить направленный итерационный процесс. Предлагаемая технология аналогичная технологии имитационного спуска, применяемой в имитационном моделировании, где, стремясь к минимуму суммарных задержек, очередной шаг экспериментов направляют на воздействие на операции, по которым были наибольшие задержки.

Когда стоит задача обеспечить заданную динамику прибытия пассажиров на конечную станцию, разумный компромисс состоит в том, чтобы разброс параметров на соседних станциях должен быть минимальным. Под параметрами имеются в виду корректировки ритмов отправления пассажиров и простои пассажиров в ожидании.

Однако с удалением станций от головной станции участка весовые коэффициенты при параметрах могут меняться. Что касается, например, корректировки. Допустим, с ближней станции пассажиры отправляются в 8 часов утра, а с дальней – в 6 часов. Если сдвинуть отправление на 2 часа раньше, то на ближней станции это будет – 6 часов утра, а на дальней – 4 часа. Естественно, содержательный смысл одних и тех же операций будет разным.

При направленном итерационном процессе параметры изменяют в такой последовательности:

- 1) увеличивают весовые коэффициенты;
- 2) если первый шаг неэффективен, то используют ограничения:
 - на величину очереди;
 - на величину корректировки;
 - на пропускную способность примыкающей линии, то есть на величину отправляемого пассажиропотока.

Использование направленного итерационного процесса позволяет существенно сократить число экспериментов для достижения консенсуса между интересами пассажиров и эффективностью работы транспортной системы.

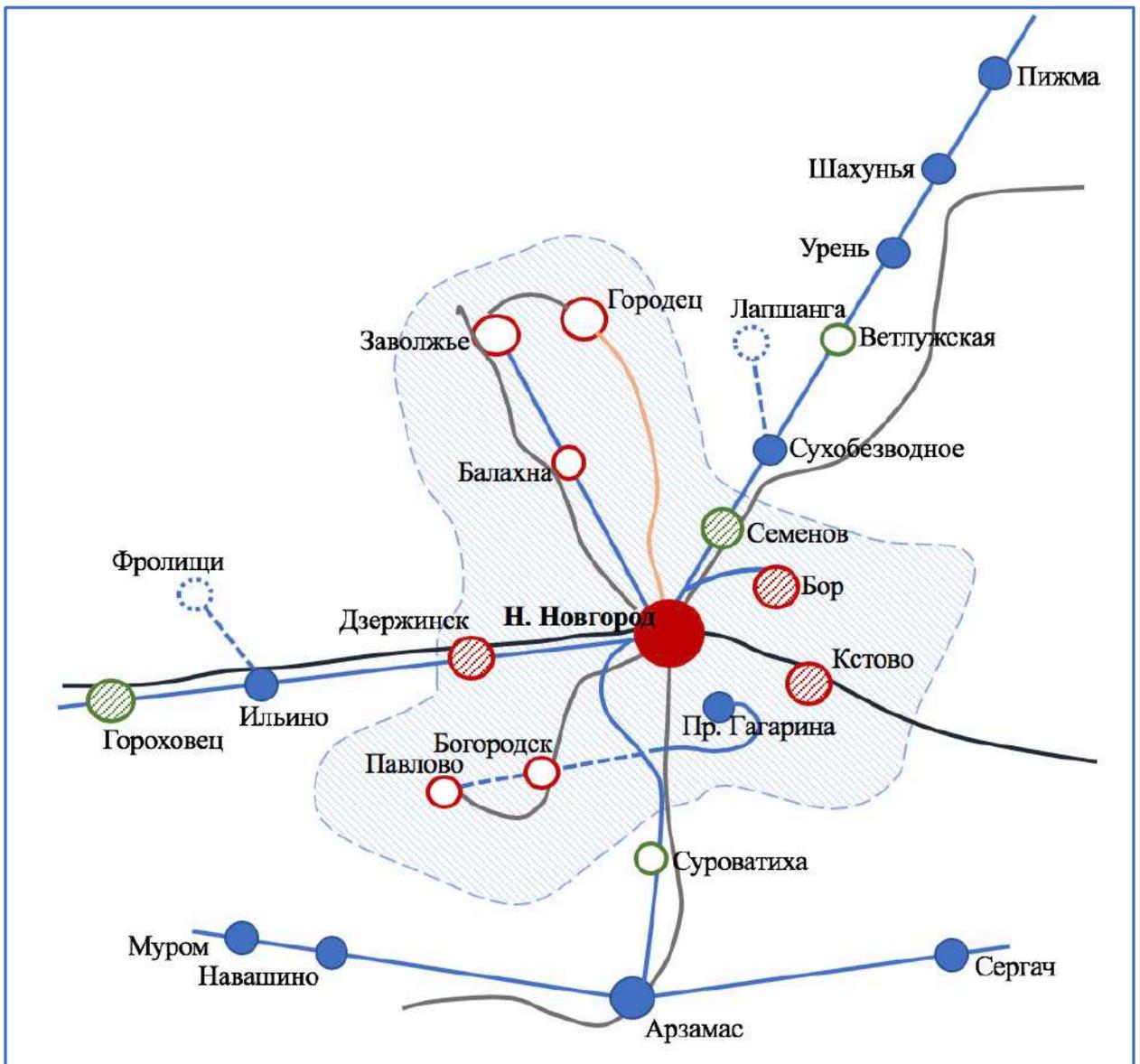
Для апробации разработанной методологии необходимо сформировать массив исходных данных, максимально точно и адекватно отражающих особенности перемещения внутриагломерационных пассажиропотоков.

2.5. Модель организации однородного пассажиропотока в Нижегородской агломерации

Реализация метода динамического согласования рассмотрена на примере Нижегородской агломерации. Нижегородская агломерация одна из самых крупных агломераций Российской Федерации. На 2019 год население агломерации составляло 2,09 млн. чел., что составляет 63,1 % населения Нижегородской области и почти 7 % населения Поволжья. Агломерация сформирована вокруг Нижнего Новгорода и является моноцентрической. Самыми крупными образующими агломерацию населенными пунктами являются Дзержинск, Бор и Кстово. Несмотря на то, что в Нижегородской агломерации около 40 % функционирующих предприятий и организаций являются головными в областях разработки, поставки и производства вооружения и военной техники, авиастроения, судостроения, приборостроения, автомобилестроения, а также на территории агломерации размещены производственные мощности крупнейших акционерных обществ, на сегодняшний день Нижегородская агломерация занимает только шестое место. Однако экономический рост в стране и перспективы развития высокоскоростного движения создает новые возможности по развитию и возможному территориальному расширению Нижегородской агломерации.

Несмотря на то, что Нижегородская агломерация является моноцентрической с одним городом-ядром Нижним Новгородом, города-спутники также представляют собой крупные центры притяжения благодаря развитию промышленных парков.

Транспортный комплекс Нижегородской агломерации, сформированный в основном железнодорожным и автомобильным транспортом, представлен на рисунке 2.11.



Условные обозначения:

- город-ядро Нижний Новгород;
- крупные города-спутники и большие населенные пункты, входящие в состав агломерации;
- крупные и средние населенные пункты, формирующие массовый пассажиропоток, но официально не входящие в состав агломерации;
- населенные пункты, находящиеся непосредственно в зоне тяготения пригородных участков Нижегородской области;
- железнодорожные линии;
- федеральные, региональные и местные автомобильные дороги;
- социально значимые безальтернативные маршруты.

Рисунок 2.11 – Основные населенные пункты и схема размещения транспортной инфраструктуры Нижегородской агломерации

Для отработки методологии организации пассажиропотока выбраны основные пассажиронапряженные маршруты Нижегородской агломерации (рисунок 2.12).

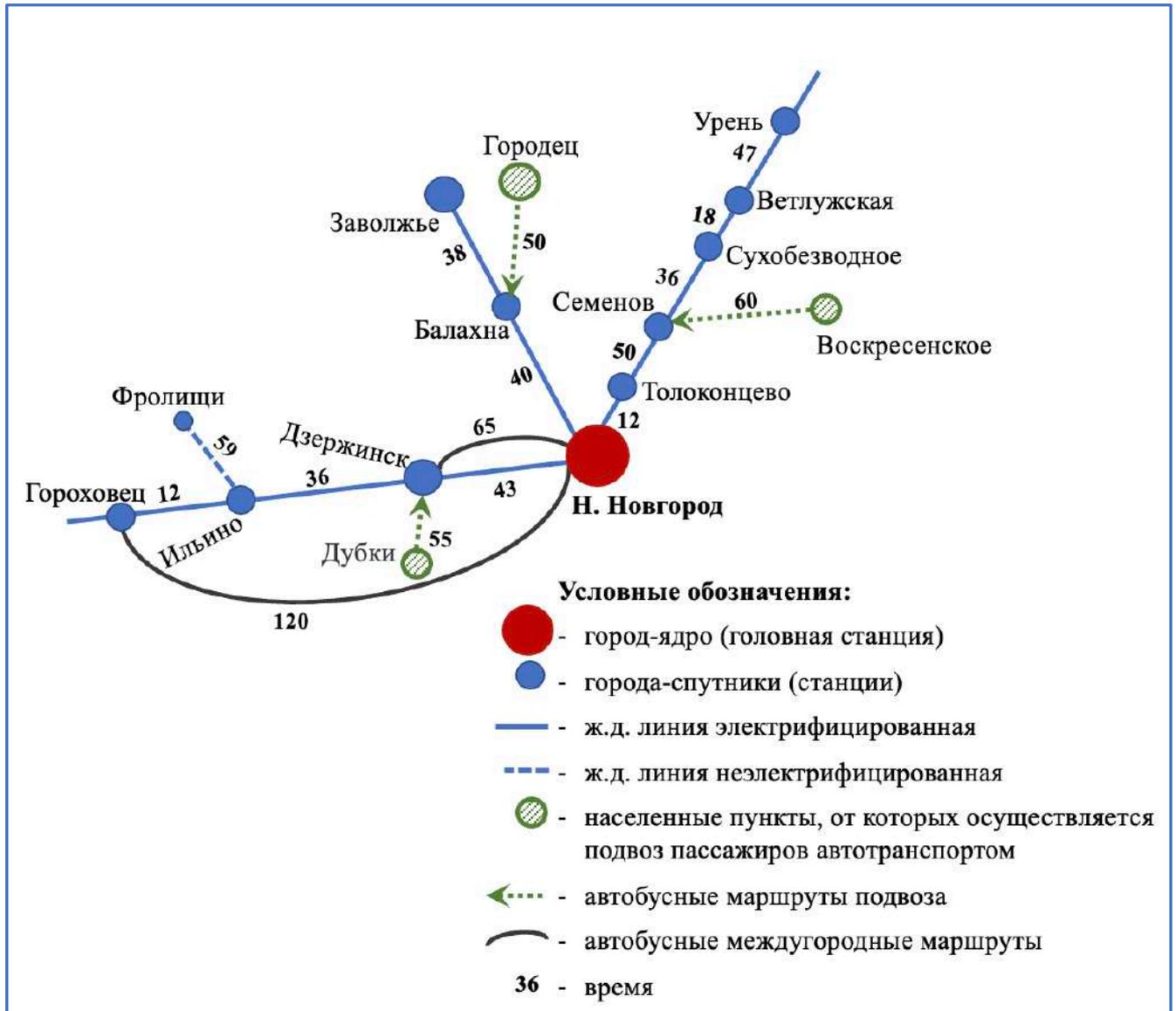


Рисунок 2.12 – Схема расчетного полигона Нижегородской агломерации

На рисунке 2.12 цифрами показано время поездки между остановочными пунктами соответственно автобусами и пригородными поездами.

Обозначим $\tilde{u}_{ij}(t_p)$ пассажиропоток, осваиваемый автомобильным транспортом.

При исходных данных в соответствии с рисунком 2.13 балансные уравнения (2.17) будут иметь вид для станций отправления:

Гороховец

$$u_r(t_{p+1}) = u_r(t_p) + q_r^+(t_p) - u_{r-нн}(t_p) - \tilde{u}_{r-нн}(t_p) + \omega_r(t_{p+1}) - \omega_r(t_p);$$

Фролищи

$$u_\phi(t_{p+1}) = u_\phi(t_p) + q_\phi^+(t_p) - u_{\phi-н}(t_p) + \omega_\phi(t_{p+1}) - \omega_\phi(t_p);$$

Дубки

$$u_{дб}(t_{p+1}) = u_{дб}(t_p) + q_{дб}^+(t_p) - \tilde{u}_{дб-д}(t_p) + \omega_{дб}(t_{p+1}) - \omega_{дб}(t_p);$$

Заволжье

$$u_z(t_{p+1}) = u_z(t_p) + q_z^+(t_p) - u_{z-нн}(t_p) + \omega_z(t_{p+1}) - \omega_z(t_p);$$

Городец

$$u_{гп}(t_{p+1}) = u_{гп}(t_p) + q_{гп}^+(t_p) - \tilde{u}_{гп-б}(t_p) + \omega_{гп}(t_{p+1}) - \omega_{гп}(t_p);$$

Урень

$$u_y(t_{p+1}) = u_y(t_p) + q_y^+(t_p) - u_{y-нн}(t_p) + \omega_y(t_{p+1}) - \omega_y(t_p);$$

Ветлужская

$$u_b(t_{p+1}) = u_b(t_p) + q_b^+(t_p) - u_{b-нн}(t_p) + \omega_b(t_{p+1}) - \omega_b(t_p);$$

Сухобезводное

$$u_{сх}(t_{p+1}) = u_{сх}(t_p) + q_{сх}^+(t_p) - u_{сх-нн}(t_p) + \omega_{сх}(t_{p+1}) - \omega_{сх}(t_p);$$

Толоконцево

$$u_t(t_{p+1}) = u_t(t_p) + q_t^+(t_p) - u_{t-нн}(t_p) + \omega_t(t_{p+1}) - \omega_t(t_p);$$

Воскресенское

$$u_{вс}(t_{p+1}) = u_{вс}(t_p) + q_{вс}^+(t_p) - \tilde{u}_{вс-см}(t_p) + \omega_{вс}(t_{p+1}) - \omega_{вс}(t_p).$$

Балансные уравнения для транзитных пунктов (для станций (остановочных пунктов), где возможна пересадка пассажиров (2.10) с учетом возможности зарождения пассажиропотока на этих станциях (2.17).

Ильино

$$u_n(t_{p+1}) = u_n(t_p) + q_n^+(t_p) + u_{\phi-н}(t_p - \tau_{\phi-н}) - u_{н-нн}(t_p) + \omega_n(t_{p+1}) - \omega_n(t_p);$$

Дзержинск

$$\mathbf{u}_D(\mathbf{t}_{p+1}) = \mathbf{u}_D(\mathbf{t}_p) + \mathbf{q}_D^+(\mathbf{t}_p) + \tilde{\mathbf{u}}_{Дб-Д}(\mathbf{t}_p - \tau_{Дб-Д}) - \mathbf{u}_{Д-НН}(\mathbf{t}_p) - \tilde{\mathbf{u}}_{Д-НН}(\mathbf{t}_p) + \omega_D(\mathbf{t}_{p+1}) - \omega_D(\mathbf{t}_p);$$

Балахна

$$\mathbf{u}_B(\mathbf{t}_{p+1}) = \mathbf{u}_B(\mathbf{t}_p) + \mathbf{q}_B^+(\mathbf{t}_p) + \tilde{\mathbf{u}}_{Гр-Б}(\mathbf{t}_p - \tau_{Гр-Б}) - \mathbf{u}_{Б-НН}(\mathbf{t}_p) + \omega_B(\mathbf{t}_{p+1}) - \omega_B(\mathbf{t}_p);$$

Семенов

$$\mathbf{u}_{СМ}(\mathbf{t}_{p+1}) = \mathbf{u}_{СМ}(\mathbf{t}_p) + \mathbf{q}_{СМ}^+(\mathbf{t}_p) + \tilde{\mathbf{u}}_{Вс-СМ}(\mathbf{t}_p - \tau_{Вс-СМ}) - \mathbf{u}_{СМ-НН}(\mathbf{t}_p) + \omega_{СМ}(\mathbf{t}_{p+1}) - \omega_{СМ}(\mathbf{t}_p).$$

Балансное уравнение (2.16) для станции назначения Нижний Новгород:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_{НН}(\mathbf{t}_{p+1}) = & \mathbf{u}_{НН}(\mathbf{t}_p) + \mathbf{u}_{Д-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{Д-НН}) + \mathbf{u}_{Б-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{Б-НН}) + \\ & + \mathbf{u}_{Г-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{Г-НН}) + \mathbf{u}_{И-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{И-НН}) + \mathbf{u}_{З-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{З-НН}) + \mathbf{u}_{СМ-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{СМ-НН}) + \\ & + \mathbf{u}_{СХ-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{СХ-НН}) + \mathbf{u}_{В-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{В-НН}) + \mathbf{u}_{У-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{У-НН}) + \\ & + \mathbf{u}_{Г-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{Г-НН}) + \tilde{\mathbf{u}}_{Г-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{Г-НН}) + \tilde{\mathbf{u}}_{Д-НН}(\mathbf{t}_p - \tau_{Д-НН}) - \mathbf{q}_{НН}^-(\mathbf{t}_p). \end{aligned}$$

Ограничения по пропускной способности (2.12) записываются для каждого железнодорожного участка и для каждого участка, обслуживаемого автотранспортом:

Гороховец – Ильино

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{Г-И}(\mathbf{t}_p) \leq \mathbf{d}_{Г-И}(\mathbf{t}_p);$$

Ильино – Дзержинск

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{И-Д}(\mathbf{t}_p) \leq \mathbf{d}_{И-Д}(\mathbf{t}_p);$$

Фролищи – Ильино

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{Ф-И}(\mathbf{t}_p) \leq \mathbf{d}_{Ф-И}(\mathbf{t}_p);$$

Дзержинск – Нижний Новгород

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{Д-НН}(\mathbf{t}_p) \leq \mathbf{d}_{Д-НН}(\mathbf{t}_p);$$

Дубки – Дзержинск (автотранспорт)

$$\mathbf{0} \leq \tilde{\mathbf{u}}_{Дб-Д}(\mathbf{t}_p) \leq \tilde{\mathbf{d}}_{Дб-Д}(\mathbf{t}_p);$$

Гороховец – Нижний Новгород (автотранспорт)

$$\mathbf{0} \leq \tilde{\mathbf{u}}_{Г-НН}(t_p) \leq \tilde{\mathbf{d}}_{Г-НН}(t_p);$$

Дзержинск – Нижний Новгород (автотранспорт)

$$\mathbf{0} \leq \tilde{\mathbf{u}}_{Д-НН}(t_p) \leq \tilde{\mathbf{d}}_{Д-НН}(t_p);$$

Заволжье-Балахна

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{З-Б}(t_p) \leq \mathbf{d}_{З-Б}(t_p);$$

Балахна – Нижний Новгород

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{Б-НН}(t_p) \leq \mathbf{d}_{Б-НН}(t_p);$$

Городец – Балахна (автотранспорт)

$$\mathbf{0} \leq \tilde{\mathbf{u}}_{Гр-Б}(t_p) \leq \tilde{\mathbf{d}}_{Гр-Б}(t_p);$$

Урень – Ветлужская

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{У-В}(t_p) \leq \mathbf{d}_{У-В}(t_p);$$

Ветлужская – Сухобезводное

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{В-СХ}(t_p) \leq \mathbf{d}_{В-СХ}(t_p);$$

Сухобезводное – Семенов

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{СХ-СМ}(t_p) \leq \mathbf{d}_{СХ-СМ}(t_p);$$

Семенов – Толоконцево

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{СМ-Т}(t_p) \leq \mathbf{d}_{СМ-Т}(t_p);$$

Толоконцево – Нижний Новгород

$$\mathbf{0} \leq \mathbf{u}_{Т-НН}(t_p) \leq \mathbf{d}_{Т-НН}(t_p);$$

Воскресенское – Семенов (автотранспорт)

$$\mathbf{0} \leq \tilde{\mathbf{u}}_{ВС-СМ}(t_p) \leq \tilde{\mathbf{d}}_{ВС-СМ}(t_p).$$

Аналогично инфраструктурные ограничения записываются для станций отправления пассажиров (2.10) и станции назначения Нижний Новгород (2.11).

Критерий оптимизации (2.16) будет иметь вид:

$$J = \sum_{p=0}^{T-1} (c_{Г-И} \mathbf{u}_{Г-И}(t_p) + c_{И-Д} \mathbf{u}_{И-Д}(t_p) + c_{Д-НН} \mathbf{u}_{Д-НН}(t_p) + c_{Ф-И} \mathbf{u}_{Ф-И}(t_p) + \\ + \tilde{c}_{ДБ-Д} \tilde{\mathbf{u}}_{ДБ-Д}(t_p) + \tilde{c}_{Д-НН} \tilde{\mathbf{u}}_{Д-НН}(t_p) + \tilde{c}_{Г-НН} \tilde{\mathbf{u}}_{Г-НН}(t_p) + c_{З-Б} \mathbf{u}_{З-Б}(t_p) +$$

$$\begin{aligned}
& + c_{\beta-HH} u_{\beta-HH}(t_p) + \tilde{c}_{\Gamma p-\beta} \tilde{u}_{\Gamma p-\beta}(t_p) + c_{\gamma-B} u_{\gamma-B}(t_p) + c_{B-CX} u_{B-CX}(t_p) + \\
& + c_{CX-CM} u_{CX-CM}(t_p) + c_{CM-T} u_{CM-T}(t_p) + c_{T-HH} u_{T-HH}(t_p) + \tilde{c}_{BC-CM} \tilde{u}_{BC-CM}(t_p) + \\
& + c_{\Gamma} u_{\Gamma}(t_p) + c_{H} u_{H}(t_p) + c_{D} u_{D}(t_p) + c_{\phi} u_{\phi}(t_p) + c_{ДБ} u_{ДБ}(t_p) + \\
& + c_{З} u_{З}(t_p) + c_{\beta} u_{\beta}(t_p) + c_{\Gamma p} u_{\Gamma p}(t_p) + c_{\gamma} u_{\gamma}(t_p) + c_{B} u_{B}(t_p) + \\
& + c_{CX} u_{CX}(t_p) + c_{CM} u_{CM}(t_p) + c_{T} u_{T}(t_p) + c_{BC} u_{BC}(t_p) + c_{HH} u_{HH}(t_p) + \\
& + c_{\Gamma}^* \omega_{\Gamma}(t_p) + c_{H}^* \omega_{H}(t_p) + c_{\phi}^* \omega_{\phi}(t_p) + c_{D}^* \omega_{D}(t_p) + \\
& + c_{ДБ}^* \omega_{ДБ}(t_p) + c_{З}^* \omega_{З}(t_p) + c_{\beta}^* \omega_{\beta}(t_p) + c_{\Gamma p}^* \omega_{\Gamma p}(t_p) + c_{\gamma}^* \omega_{\gamma}(t_p) + \\
& + c_{B}^* \omega_{B}(t_p) + c_{CX}^* \omega_{CX}(t_p) + c_{CM}^* \omega_{CM}(t_p) + c_{T}^* \omega_{T}(t_p) + c_{BC}^* \omega_{BC}(t_p) \Big) \rightarrow \min
\end{aligned}$$

Решить поставленную задачу можно любым известным способом, но учитывая большую размерность целесообразно использовать автоматизированные компьютерные программы для поиска решений задач линейного программирования.

2.6. Модель организации неоднородного (многоструйного) пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации

В современных условиях необходимо рассматривать не только пространственную и временную неравномерность пассажиропотока, но и его неоднородность, которая заключается в том, что пассажиропоток, следующий по одному маршруту, состоит из различных сегментов. Если в целом говорить об укрупненных сегментах пассажиропотока, то они могут быть дифференцированы по платежеспособности и соответствующим требованиям к параметрам поездки, включая время ее совершения, комфорт и набор услуг в пути следования. Многочисленные исследования, проводимые Всероссийским центром исследования общественного мнения, ОАО «РЖД» и пригородными

пассажирами компаниями, показывают, что пригородный пассажиропоток городских агломераций состоит из следующих укрупненных групп (сегментов): рабочие со сменным графиком работы, офисные работники, учащиеся (студенты и школьники), прочие пассажиры.

Общая величина пассажиропотока и величина отдельных составляющих его сегментов являются непостоянными и характеризуются пространственной и временной неравномерностью.

Как уже было отмечено в первой главе и в работе [137], структура пассажиропотока меняется в течение года в зависимости от образующих его сегментов. Структура пассажиропотока меняется и в зависимости от дня недели – в будние дни много пассажиров, совершающих поездки на работу и учебу, в выходные – больше отправляющихся на отдых. В свою очередь, в течение суток структура пассажиропотока также неравномерна.

Таким образом, структура пассажиропотока с точки зрения требований ко времени поездки представлена двумя основными сегментами:

- пассажиры, чья поездка жестко привязана ко времени поездки, что обусловлено ее целью (поездка на работу, учебу);
- пассажиры, которые имеют широкий диапазон времени для совершения поездки (на отдых, в гости, в магазин и т. д.).

Конечно, при организации пассажиропотока необходимо в первую очередь опираться на удовлетворение потребностей первой группы пассажиров, но и для второй также должны быть предложены различные приемлемые варианты поездки.

Если говорить о первой группе пассажиров, жестко привязанных ко времени совершения поездки, то в данном случае следует отталкиваться от необходимого каждому сегменту времени прибытия на головную станцию. Предпочитаемое пассажиром время прибытия на головную станцию, в свою очередь, зависит от времени начала рабочего дня и удаленности места работы (учебы) от головной станции (то есть времени, необходимого чтобы добраться от головной станции до места работы). В зависимости от согласованности расписания движения городского транспорта с расписанием движения пригородных поездов, а также

продолжительности пересадки, может меняться интервал прибытия каждого сегмента пассажиропотока. Поскольку пассажиры отправляются с разных станций (то есть время поездки железнодорожным транспортом различно) и величина каждого сегмента пассажиропотока, отправляющегося с различных станций, также различна, то задача организации такого многоструйного пассажиропотока многократно усложняется.

Допустим в транспортном комплексе городской агломерации зарождается, перевозится и поглощается K сегментов пассажиропотока.

Пусть $[t_0, T]$ – интервал поиска оптимального решения по освоению пассажиропотока. Для каждого момента времени t ($t = t_0, t_1, t_2, \dots, t_p, \dots, T$), обозначим пассажиропоток отдельных сегментов $u_{ij}^k(t)$, $k = \overline{1, K}$. Каждому сегменту соответствуют транспортные расходы $c_{ij}^k(t)$, приходящиеся на единицу пассажиропотока, прибывающего на j -ю станцию в момент t_p и соответственно отправляющегося с i -й станции в момент $(t_p - \tau_{ij})$. Одновременная перевозка нескольких сегментов пассажиропотока ограничена пропускной способностью $d_{ij}(t)$ направленного маршрута $x_{ij} = (x_i; y_j)$. Для каждого пункта зарождения пассажиропотока x_i задаются объемы зарождающегося пассажиропотока каждого сегмента $q_i^k(t)$. Обозначим накопление пассажиров каждого сегмента пассажиропотока на станции отправления $u_{ii}^k(t)$, $c_{ii}^k(t)$ – расходы на ожидание пассажирами k -го сегмента пассажиропотока отправления со станции с вместимостью $d_{ii}(t)$ с момента t_{p-1} до момента t_p . Для пункта погашения пассажиропотока y_j заданы объемы погашаемого пассажиропотока каждого сегмента $q_j^k(t)$. Обозначим очередь (ожидание) на станции назначения для каждого сегмента пассажиропотока $u_{jj}^k(t)$, $c_j^k(t)$ – стоимость ожидания пассажирами на станции назначения вместимостью $d_{jj}(t)$ с момента t_{p-1} до момента t_p . Необходимо найти оптимальный вариант организации заданного многоструйного пассажиропотока в городской агломерации.

Тогда критерий оптимизации модели организации неоднородного (многоструйного) пассажиропотока из K сегментов может быть записан в следующем виде:

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 \rightarrow \min, \quad (2.18)$$

$$J_1 = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K c_{ij}^k(t_p) u_{ij}^k(t_p), \quad (2.19)$$

$$J_2 = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K c_{ii}^k(t_p) u_{ii}^k(t_p), \quad (2.20)$$

$$J_3 = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^K c_{jj}^k(t_p) u_{jj}^k(t_p), \quad (2.21)$$

$$J_4 = \sum_{p=0}^{T-1} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K c_i^{*k}(t_p) \omega_i^k(t_p), \quad (2.22)$$

где J_1 – затраты на перевозку всех сегментов пассажиропотока;

J_2 – стоимость пассажиро-часов ожидания пассажирами всех сегментов пассажиропотока на станции отправления;

J_3 – стоимость пассажиро-часов ожидания пассажирами всех сегментов пассажиропотока на станции погашения пассажиропотока;

J_4 – стоимость корректировки ритмов отправления пассажиров всех сегментов пассажиропотока;

ω_i^k – согласующая переменная, которая подстраивает ритм зарождения пассажиропотока k -го сегмента пассажиропотока на станции отправления под ритм его погашения на станции назначения;

c_i^{*k} – стоимость корректировки ритмов отправления пассажиров k -го сегмента пассажиропотока на станции отправления.

Задача организации многоструйного пассажиропотока решается при нескольких ограничениях:

а) для станции (остановочного пункта), генерирующей пассажиропоток

$$u_{ii}^k(t_{p+1}) = u_{ii}^k(t_p) + q_i^k(t_p) - \sum_{j=1}^m u_{ij}^k(t_p) + \omega_i^k(t_{p+1}) - \omega_i^k(t_p), \quad (2.23)$$

б) для станции (остановочного пункта), где происходит погашение пассажиропотока

$$u_{jj}^k(t_{p+1}) = u_{jj}^k(t_p) + \sum_{i=1}^n u_{ij}^k(t_p - \tau_{ij}) - q_j^k(t_p), \quad (2.24)$$

в) для транзитного пункта (для станции (остановочного пункта), где осуществляется пересадка пассажиров)

$$u_{il}^k(t_{p+1}) = u_{il}^k(t_p) + \sum_{i=1}^n u_{il}^k(t_p - \tau_{il}) - \sum_{j=1}^m u_{ij}^k(t_p), \quad (2.25)$$

г) ограничения по пропускной способности

$$\sum_{k=1}^K u_{ii}^k(t_p) \leq d_{ii}(t_p), \quad (2.26)$$

$$\sum_{k=1}^K u_{jj}^k(t_p) \leq d_{jj}(t_p), \quad (2.27)$$

$$\sum_{k=1}^K u_{ij}^k(t_p) \leq d_{ij}(t_p), \quad (2.28)$$

д) неотрицательность переменных $u_{ii}^k(t_p)$, $u_{jj}^k(t_p)$, $u_{ij}^k(t_p)$, $\omega_i^k(t_p)$.

Алгоритм работы с моделью организации многоструйного (неоднородного) пассажиропотока для нахождения содержательно удовлетворяющего варианта аналогичен алгоритму работы с моделью организации однородного пассажиропотока, но с учетом того, что все параметры можно изменять отдельно для каждого сегмента пассажиропотока и представлен на рисунке 2.13.

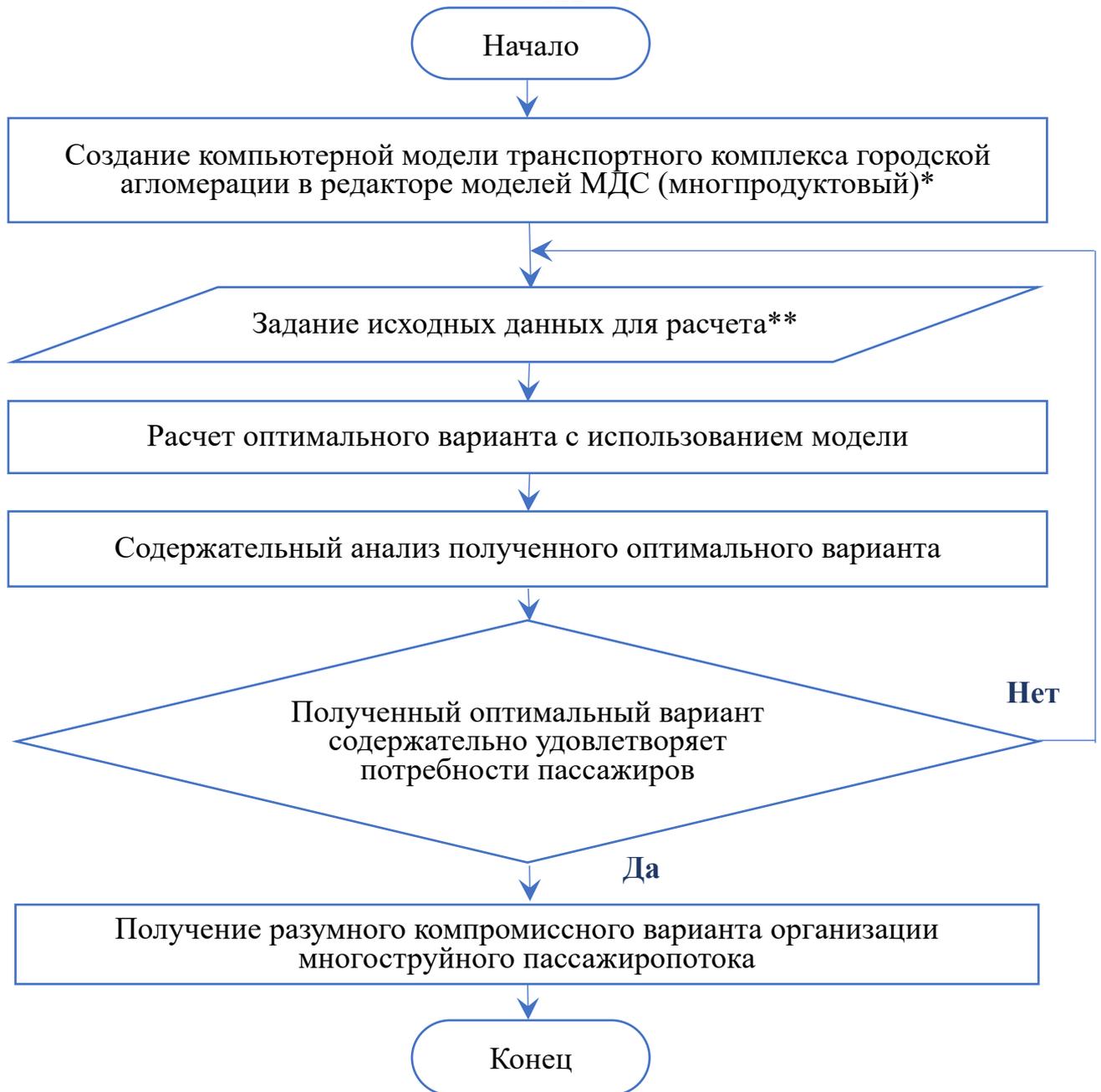


Рисунок 2.13 – Технология использования оптимизационной модели организации многоструйного (неоднородного) пассажиропотока

* На рисунке 2.13 обозначены:

*

- расчетная схема (линии маршрутов, станции отправления и назначения);
- время поездки между станциями τ_{ij} ;
- количество сегментов пассажиропотока;
- общий пассажиропоток каждого сегмента, который необходимо перевезти за расчетный период;

- функции зарождения $q_i^k(t)$ пассажиропотока;
- функции погашения пассажиропотока $q_j^k(t)$;
- **
- величина $\omega_i^k(t)$ и стоимость $c_i^k(t)$ корректировки;
- стоимости ожидания на станции отправления $c_{ii}^k(t)$, станции назначения $c_{jj}^k(t)$, перевозки $c_{ij}^k(t)$;
- пропускная способность участков $d_{ij}(t)$;
- вместимость пункта отправления $d_{ii}(t)$ и пункта назначения $d_{jj}(t)$, определяющие максимальные величины очередей.

На примере Нижегородской агломерации модель организации неоднородного пассажиропотока (2.18) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
J = & \sum_{k=1}^K \sum_{p=0}^{T-1} (c_{r-и}^k(t_p) u_{r-и}^k(t_p) + c_{и-д}^k(t_p) u_{и-д}^k(t_p) + c_{д-нн}^k(t_p) u_{д-нн}^k(t_p) + \\
& + c_{ф-и}^k(t_p) u_{ф-и}^k(t_p) + \tilde{c}_{дб-д}^k(t_p) \tilde{u}_{дб-д}^k(t_p) + \tilde{c}_{д-нн}^k(t_p) \tilde{u}_{д-нн}^k(t_p) + \\
& + \tilde{c}_{г-нн}^k(t_p) \tilde{u}_{г-нн}^k(t_p) + c_{з-б}^k(t_p) u_{з-б}^k(t_p) + c_{б-нн}^k(t_p) u_{б-нн}^k(t_p) + \\
& + \tilde{c}_{гп-б}^k(t_p) \tilde{u}_{гп-б}^k(t_p) + c_{у-в}^k(t_p) u_{у-в}^k(t_p) + c_{в-сх}^k(t_p) u_{в-сх}^k(t_p) + c_{сх-см}^k(t_p) u_{сх-см}^k(t_p) + \\
& + c_{см-т}^k(t_p) u_{см-т}^k(t_p) + c_{т-нн}^k(t_p) u_{т-нн}^k(t_p) + \tilde{c}_{вс-см}^k(t_p) \tilde{u}_{вс-см}^k(t_p)) + \\
& + \sum_{k=1}^K \sum_{p=0}^{T-1} ((c_r^k(t_p) u_r^k(t_p) + c_{и}^k(t_p) u_{и}^k(t_p) + c_{д}^k(t_p) u_{д}^k(t_p) + c_{ф}^k(t_p) u_{ф}^k(t_p) + \\
& + c_{дб}^k(t_p) u_{дб}^k(t_p) + c_{з}^k(t_p) u_{з}^k(t_p) + c_{б}^k(t_p) u_{б}^k(t_p) + c_{гп}^k(t_p) u_{гп}^k(t_p) + \\
& + c_y^k(t_p) u_y^k(t_p) + c_B^k(t_p) u_B^k(t_p) + c_{сх}^k(t_p) u_{сх}^k(t_p) + c_{см}^k(t_p) u_{см}^k(t_p) + \\
& + c_T^k(t_p) u_T^k(t_p) + c_{вс}^k(t_p) u_{вс}^k(t_p)) + \sum_{k=1}^K \sum_{p=0}^{T-1} c_{нн}^k(t_p) u_{нн}^k(t_p) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{k=1}^K \sum_{p=0}^{T-1} \left(c_r^{*k}(t_p) \omega_r^k(t_p) + c_H^{*k}(t_p) \omega_H^k(t_p) + c_D^{*k}(t_p) \omega_D^k(t_p) + c_\phi^{*k}(t_p) \omega_\phi^k(t_p) + \right. \\
& \quad + c_{\delta\phi}^{*k}(t_p) \omega_{\delta\phi}^k(t_p) + c_3^{*k}(t_p) \omega_3^k(t_p) + c_\sigma^{*k}(t_p) \omega_\sigma^k(t_p) + c_{rp}^{*k}(t_p) \omega_{rp}^k(t_p) + \\
& \quad + c_y^{*k}(t_p) \omega_y^k(t_p) + c_B^{*k}(t_p) \omega_B^k(t_p) + c_{cx}^{*k}(t_p) \omega_{cx}^k(t_p) + c_{cm}^{*k}(t_p) \omega_{cm}^k(t_p) + \\
& \quad \left. + c_T^{*k}(t_p) \omega_T^k(t_p) + c_{bc}^{*k}(t) \omega_{bc}^k(t) \right) \rightarrow \min.
\end{aligned}$$

Ограничения:

а) для станций (остановочных пунктов), генерирующих пассажиропоток (2.23)

$$u_r^k(t_{p+1}) = u_r^k(t_p) + q_r^k(t_p) - u_{r-HH}^k(t_p) - \tilde{u}_{r-HH}^k(t_p) + \omega_r^k(t_{p+1}) - \omega_r^k(t_p);$$

$$u_\phi^k(t_{p+1}) = u_\phi^k(t_p) + q_\phi^k(t_p) - u_{\phi-H}^k(t_p) + \omega_\phi^k(t_{p+1}) - \omega_\phi^k(t_p);$$

$$u_{\delta\phi}^k(t_{p+1}) = u_{\delta\phi}^k(t_p) + q_{\delta\phi}^k(t_p) - \tilde{u}_{\delta\phi-D}^k(t_p) + \omega_{\delta\phi}^k(t_{p+1}) - \omega_{\delta\phi}^k(t_p);$$

$$u_3^k(t_{p+1}) = u_3^k(t_p) + q_3^k(t_p) - u_{3-HH}^k(t_p) + \omega_3^k(t_{p+1}) - \omega_3^k(t_p);$$

$$u_{rp}^k(t_{p+1}) = u_{rp}^k(t_p) + q_{rp}^k(t_p) - \tilde{u}_{rp-\phi}^k(t_p) + \omega_{rp}^k(t_{p+1}) - \omega_{rp}^k(t_p);$$

$$u_y^k(t_{p+1}) = u_y^k(t_p) + q_y^k(t_p) - u_{y-HH}^k(t_p) + \omega_y^k(t_{p+1}) - \omega_y^k(t_p);$$

$$u_B^k(t_{p+1}) = u_B^k(t_p) + q_B^k(t_p) - u_{B-HH}^k(t_p) + \omega_B^k(t_{p+1}) - \omega_B^k(t_p);$$

$$u_{cx}^k(t_{p+1}) = u_{cx}^k(t_p) + q_{cx}^k(t_p) - u_{cx-HH}^k(t_p) + \omega_{cx}^k(t_{p+1}) - \omega_{cx}^k(t_p);$$

$$u_T^k(t_{p+1}) = u_T^k(t_p) + q_T^k(t_p) - u_{T-HH}^k(t_p) + \omega_T^k(t_{p+1}) - \omega_T^k(t_p);$$

$$u_{bc}^k(t_{p+1}) = u_{bc}^k(t_p) + q_{bc}^k(t_p) - \tilde{u}_{bc-cm}^k(t_p) + \omega_{bc}^k(t_{p+1}) - \omega_{bc}^k(t_p);$$

б) для станции (остановочного пункта), где происходит погашение пассажиропотока (2.24)

$$u_{HH}^k(t_{p+1}) = u_{HH}^k(t_p) + u_{D-HH}^k(t_p - \tau_{D-HH}) + u_{\phi-HH}^k(t_p - \tau_{\phi-HH}) +$$

$$\begin{aligned}
& + \mathbf{u}_{T-НН}^k(t_p - \tau_{T-НН}) + \mathbf{u}_{И-НН}^k(t_p - \tau_{И-НН}) + \mathbf{u}_{З-НН}^k(t_p - \tau_{З-НН}) + \\
& + \mathbf{u}_{СМ-НН}^k(t_p - \tau_{СМ-НН}) + \mathbf{u}_{СХ-НН}^k(t_p - \tau_{СХ-НН}) + \mathbf{u}_{В-НН}^k(t_p - \tau_{В-НН}) + \\
& + \mathbf{u}_{У-НН}^k(t_p - \tau_{У-НН}) + \mathbf{u}_{Г-НН}^k(t_p - \tau_{Г-НН}) + \tilde{\mathbf{u}}_{Г-НН}^k(t_p - \tau_{Г-НН}) + \\
& + \tilde{\mathbf{u}}_{Д-НН}^k(t_p - \tau_{Д-НН}) - \mathbf{q}_{НН}^k(t_p);
\end{aligned}$$

в) для пунктов пересадки (для станций (остановочных пунктов), где возможна остановка, но не генерируется пассажиропоток (2.25)

$$\begin{aligned}
\mathbf{u}_{И}^k(t_{p+1}) &= \mathbf{u}_{И}^k(t_p) + \mathbf{q}_{И}^k(t_p) + \mathbf{u}_{\phi-И}^k(t_p - \tau_{\phi-И}) - \mathbf{u}_{И-НН}^k(t_p) + \\
& + \omega_{И}^k(t_{p+1}) - \omega_{И}^k(t_p);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{u}_{Д}^k(t_{p+1}) &= \mathbf{u}_{Д}^k(t_p) + \mathbf{q}_{Д}^k(t_p) + \tilde{\mathbf{u}}_{Д\phi-Д}^k(t_p - \tau_{Д\phi-Д}) - \mathbf{u}_{Д-НН}^k(t_p) - \\
& - \tilde{\mathbf{u}}_{Д-НН}^k(t_p) + \omega_{Д}^k(t_{p+1}) - \omega_{Д}^k(t_p);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{u}_{\sigma}^k(t_{p+1}) &= \mathbf{u}_{\sigma}^k(t_p) + \mathbf{q}_{\sigma}^k(t_p) + \tilde{\mathbf{u}}_{Гр-\sigma}^k(t_p - \tau_{Гр-\sigma}) - \mathbf{u}_{\sigma-НН}^k(t_p) + \\
& + \omega_{\sigma}^k(t_{p+1}) - \omega_{\sigma}^k(t_p);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mathbf{u}_{СМ}^k(t_{p+1}) &= \mathbf{u}_{СМ}^k(t_p) + \mathbf{q}_{СМ}^k(t_p) + \tilde{\mathbf{u}}_{ВС-СМ}^k(t_p - \tau_{ВС-СМ}) - \mathbf{u}_{СМ-НН}^k(t_p) + \\
& + \omega_{СМ}^k(t_{p+1}) - \omega_{СМ}^k(t_p).
\end{aligned}$$

Как видно из формул, даже для упрощенной, взятой для примера агломерации, расчеты будут достаточно трудоемкими. Для проверки правильности выдвинутых предположений и возможностей предлагаемого метода организации пассажиропотоков требуется создать расчетную модель, позволяющую выполнять многовариантные расчеты.

Выводы к главе 2

1. Сформулирована проблема организации пригородных пассажиропотоков в городских агломерациях для сокращения статических резервов пригородного пассажирского комплекса за счет динамических.
2. Выбран и обоснован аппарат оптимизации на базе динамической транспортной задачи. Проанализированы возможности и показаны преимущества использования метода динамического согласования для решения транспортных задач городских агломераций.
3. Предложена технология использования аппарата оптимизации, включающая направленный итерационный процесс, позволяющий сократить количество экспериментов для выбора из числа оптимальных вариантов, наиболее клиентоориентированного компромиссного варианта.
4. Разработана методология оптимальной организации однородного пригородного пассажиропотока на основе однопродуктового метода динамического согласования и модель организации однородного пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации.
5. Разработана методология оптимальной организации многоструйного пригородного пассажиропотока на основе многопродуктового метода динамического согласования и модель организации неоднородного пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ОДНОРОДНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА

3.1. Технология создания расчетной модели

Задача организации пассажиропотока состоит в том, чтобы изначально до момента выбора параметров перевозки распределить пассажиропоток во времени с учетом предпочитаемого пассажирами периода совершения поездки и имеющихся ограничений.

Обычно динамика зарождения пассажиропотока входила в исходные данные. Определялась она одним из методов, описанных в первой главе. Такой поток будем считать неорганизованным. На него рассчитывались размеры движения пригородных поездов, строился график движения и оборота подвижного состава. Исходя из этих же данных организовывались процессы обслуживания пассажиров на вокзальных комплексах станций прибытия.

В оптимизационных расчетах характер потока часто сильно упрощался, например, принимался равномерным. Из-за сильного искажения результаты таких расчетов применять на практике было затруднительно.

Здесь ставится задача превратить неорганизованный поток в организованный. В последнем динамика его зарождения на станциях отправления подстраивается к ритмам прибытия таким образом, чтобы очереди на станциях назначения были приемлемой величины.

При этом приоритет может быть отдан различным факторам и исключению влияния одного или нескольких из них на организацию пассажиропотока. Задача состоит в том, чтобы предупредить проблемы, а не решать уже возникшие. Предварительная организация пассажиропотока сократит ресурсы времени населения, затрачиваемые на поездку: максимально исключит непроизводительное время в ожидании посадки/пересадки и/или в очереди. Транспорт будет работать ритмично. Повысится эффективность использования его ресурсов: излишние статические резервы будут заменены на динамические.

Существующие классические методики расчета параметров пригородных пассажирских перевозок включают следующие основные этапы расчетов от сбора исходных данных до формирования расписания для пассажиров:

- 1) формирование исходных данных: пассажиропотоки, технико-эксплуатационные параметры пригородных поездов, возможности инфраструктуры и пр.;
- 2) расчет размеров движения пригородных поездов с соответствующими параметрами (при этом на данном этапе в основном учитывается вместимость);
- 3) построение графика движения пригородных поездов (при построении учитываются результаты маркетинговых исследований в части времени совершения поездки, режима остановок, комфортабельности поездов и пр.);
- 4) построение графика оборота составов пригородных поездов и разработка графика работы локомотивных бригад;
- 5) формирование расписания движения пригородных поездов для пассажиров.

Далее пассажиры смотрят расписание и выбирают наиболее подходящий для них пригородный поезд, если таковой имеется в расписании.

По общепринятой методике на этапе формирования исходных данных осуществляется переход от струй пассажиропотоков к их густотам на участках (перегонах) в целом в «пиковый» период и в «непиковый» (рисунок 3.1).

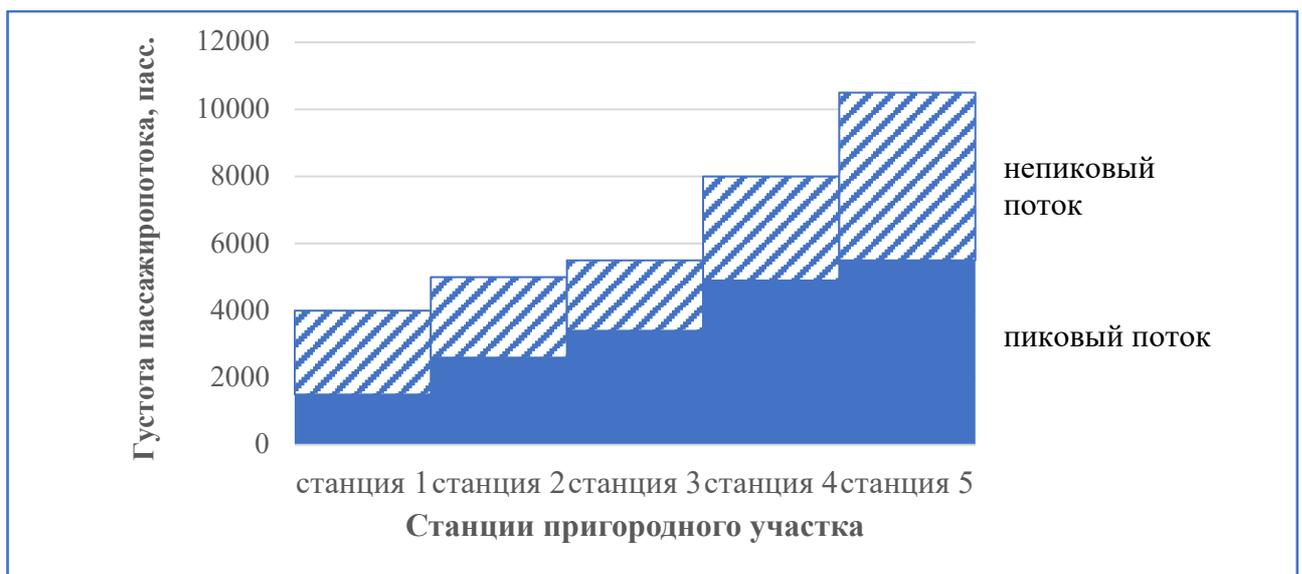


Рисунок 3.1 – Существующий принцип формирования исходных данных о пригородных пассажиропотоках

Таким образом, получается, что собранные исходные данные о пассажирах и их предпочтениях ко времени совершения поездки теряются на первом же этапе расчета параметров перевозки. На втором этапе частично учитываются потребности пассажиров в части комфорта поездки – к расчету принимаются пригородные поезда различной вместимости и уровня комфорта (опять же при этом речь идет об отнесении данных параметров ко всему пассажиропотоку в целом). При этом сегодня работа по выбору параметров пригородных поездов (конструкционные особенности, двухэтажные и пр.) осуществляется отдельно как одна большая научно-исследовательская работа. Конечно, выбор подвижного состава действительно требуется рассмотреть различные аспекты и факторы, включая наличие ремонтно-эксплуатационной базы, эксплуатационные характеристики и др.), но с точки зрения клиентоориентированности и учета потребностей пассажиров в перемещении в определенное время – использование организованного пассажиропотока сразу дает представление о том, под какой объем перевозок необходим подвижной состав.

Возвращаются к изначальным требованиям пассажиров к предполагаемой поездке уже на третьем этапе при построении графика движения пригородных поездов на основе полученных размеров движения. При этом нитки движения пригородных поездов могут прокладываться с учетом положения методики [207], ориентированной на снижение продолжительности ожидания на каждой станции и поездки всеми пассажирами. Хотя снижение времени ожидания на станции отправления не гарантирует того, что пассажиру не придется потом ждать на станции назначения пересадки на другой вид транспорта или элементарно, чтобы покинуть территорию вокзального комплекса (из-за залповых пассажиропотоков при сгущенном прибытии поездов): в настоящее время неравномерное использование инфраструктуры вокзальных комплексов головных станций – достаточно частое явление. Использование пассажирского пригородного подвижного состава и рассчитанные под «пиковые» пассажиропотоки пропускные способности пассажирских обустройств и так неравномерны в течение суток в силу характера пассажиропотоков, а при неправильной организации пассажиропотока

испытывают еще большие нагрузки. В случаях максимального превышения фактического пассажиропотока над вместимостью подвижного состава и при возникновении больших сложностей со свободным проходом по объектам пассажирской инфраструктуры возникают ситуации, когда пассажиру при наличии такой возможности приходится самостоятельно менять время поездки. То есть пассажир опять же выступает сам логистом своих передвижений. Опять же пассажиропоток формируется хаотично, и перевозчики имеют дело опять с пассажиропотоками, подстроившимися под существующие обстоятельства. В связи с этим возникают случаи, когда не эффективно работают бонусные программы лояльности, и происходит потеря пассажиров, несмотря на приложенные транспортниками усилия. Ориентация при формировании транспортного продукта из раза в раз на подстроившийся под возможности железнодорожного транспорта пассажиропоток приводит в существенной ошибке при выборе параметров пригородных перевозок и потребности в излишних резервах.

Сократить статические резервы, которые влекут за собой финансовые затраты, можно с помощью методологии организации пассажиропотока, основанной на методе динамического согласования, разработанной в главе 2.

Апробация оптимизационной модели произведена на примере Нижегородской агломерации.

С точки зрения сложности выполняемых расчетов модель работает с различными по величине пассажиропотоками, которые находятся на транспорте различное время на различных участках (рисунок 3.2–3.4).

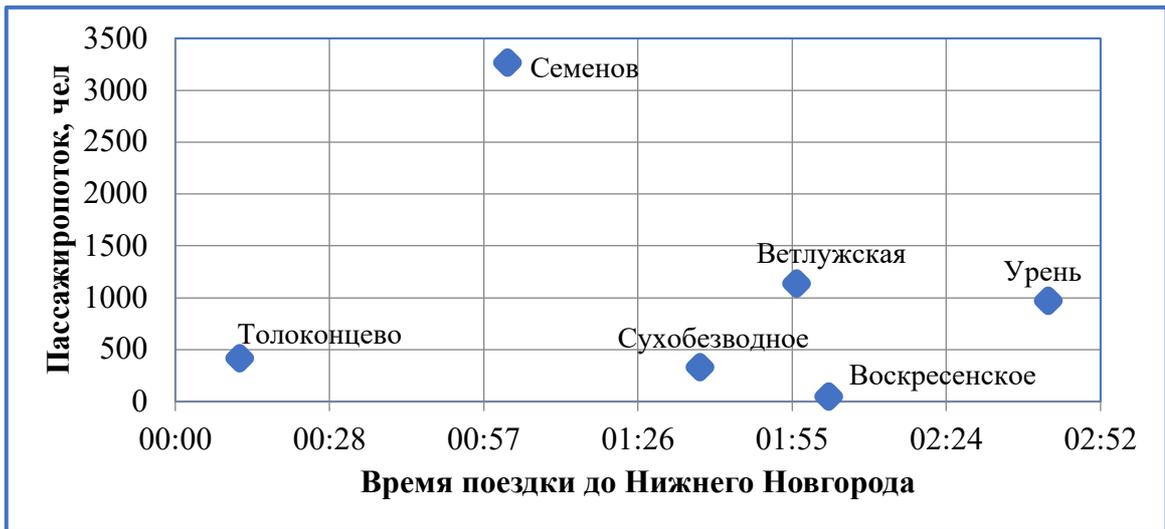


Рисунок 3.2 – Размер и время нахождения пассажиропотоков на участке Нижний Новгород – Урень



Рисунок 3.3 – Размер и время нахождения пассажиропотоков на участке Нижний Новгород – Гороховец

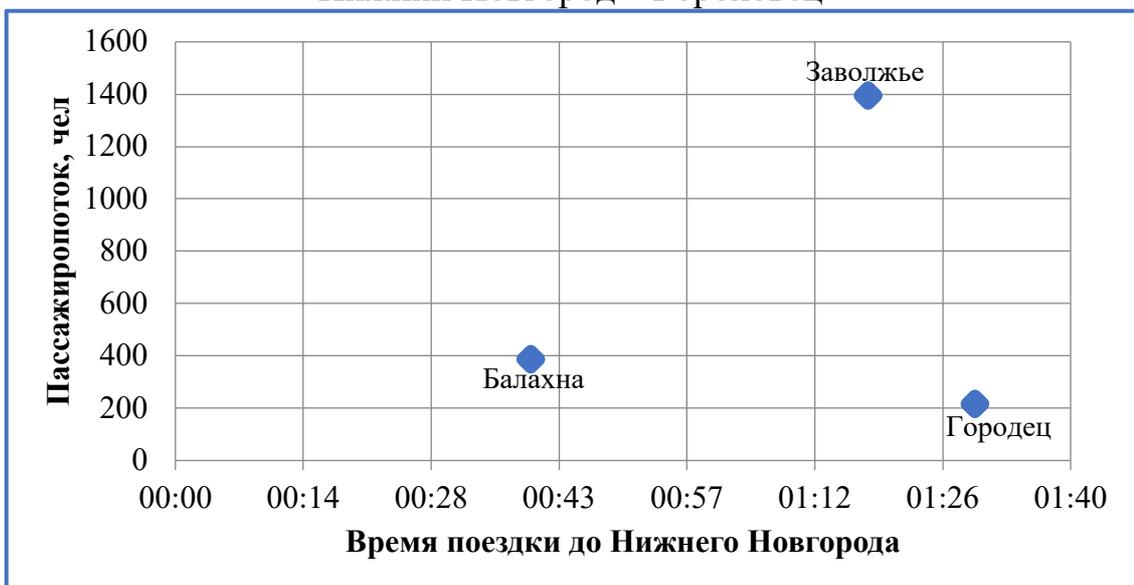
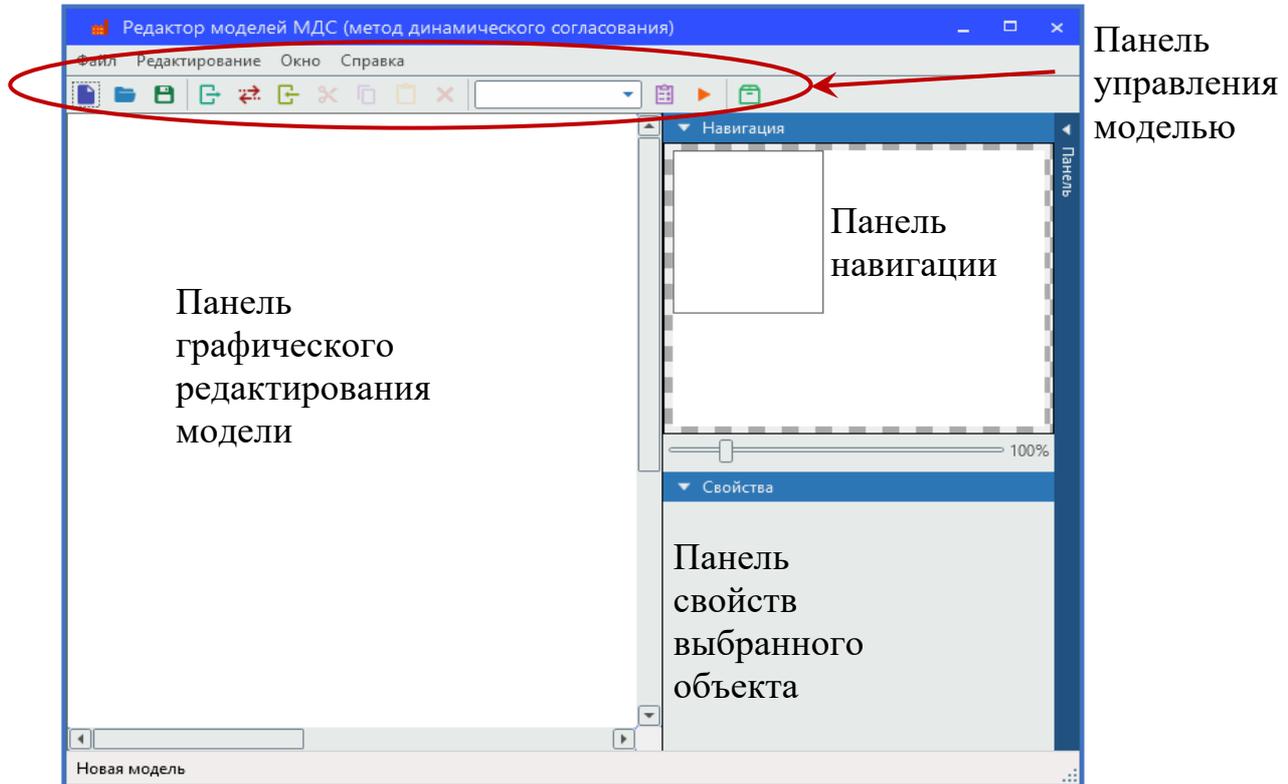


Рисунок 3.4 – Размер и время нахождения пассажиропотоков на участке Нижний Новгород – Заволжье

Организовать такой пассажиропоток математически сложно, и практически невозможно без применения программного аппарата. Поэтому для реализации модели организации пассажиропотока был использован редактор создания моделей в программе для ЭВМ «Система расчета согласованного подвода грузов МДС (метод динамического согласования)» (рисунок 3.5).



Условные обозначения:

-  – создание новой модели;
-  – открыть созданную модель;
-  – сохранить текущую модель;
-  – создание транспортной модели агломерации (станции, участки и т. д.);
-  – вырезать, копировать, вставить и удалить выбранный объект соответственно;
-  – выпадающий список выбора настроек экспериментов и кнопка окна настроек экспериментов;
-  – запуск расчета модели;
-  – открыть окно создания новых пассажиропотоков.

Рисунок 3.5 – Окно редактора моделей

Панель графического редактирования модели предназначена для того, чтобы пользователь манипулировал станциями и перегонами. Если модель слишком большая и не умещается на панели графического редактирования, то панель навигации помогает пользователю ориентироваться. На панели свойств объекта отображаются характеристики объекта, выбранного пользователем на панели графического редактирования.

Для быстрого создания и быстрого переключения между параметрами экспериментов при активной стадии создания модели используются настройки эксперимента (рисунок 3.6).

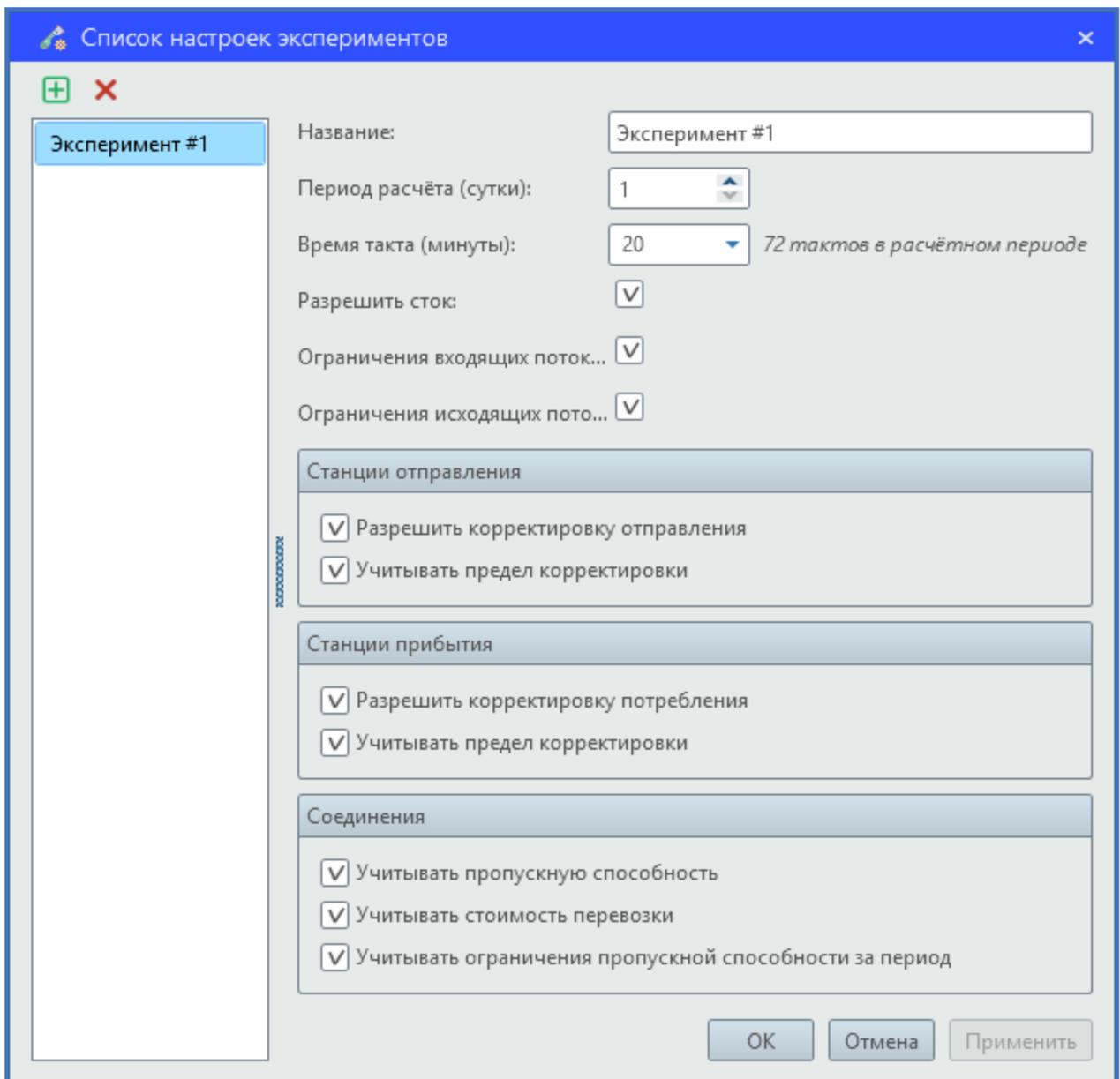


Рисунок 3.6 – Окно настроек эксперимента

Параметры настроек эксперимента:

- Название (Настройке эксперимента можно задать название. В данном случае у настройки название «Эксперимент #1»);
- Период расчета (Единица измерения – сутки. Задает моделируемое время. По умолчанию период равен одним суткам);
- Время такта устанавливается в минутах и задает время одного такта моделирования;
- Тумблер «Разрешить сток» разрешает или запрещает программе использовать сток во время моделирования;
- Тумблер «Ограничения входящих потоков» разрешает или запрещает использовать параметр ограничения входящих потоков на станцию;
- Тумблер «Ограничения исходящих потоков» разрешает или запрещает использовать параметр ограничения исходящих потоков со станции.

Все тумблеры далее разрешают или запрещают использование параметров, заданных в свойствах станций и соединений.

В окне «Пассажиры» (рисунок 3.7) пользователь должен задать хотя бы один тип пассажиропотоков, который будет перемещаться по сети. Выбранным цветом этот пассажиропоток будет выделен в результатах. В данном случае задан один тип пассажиров.

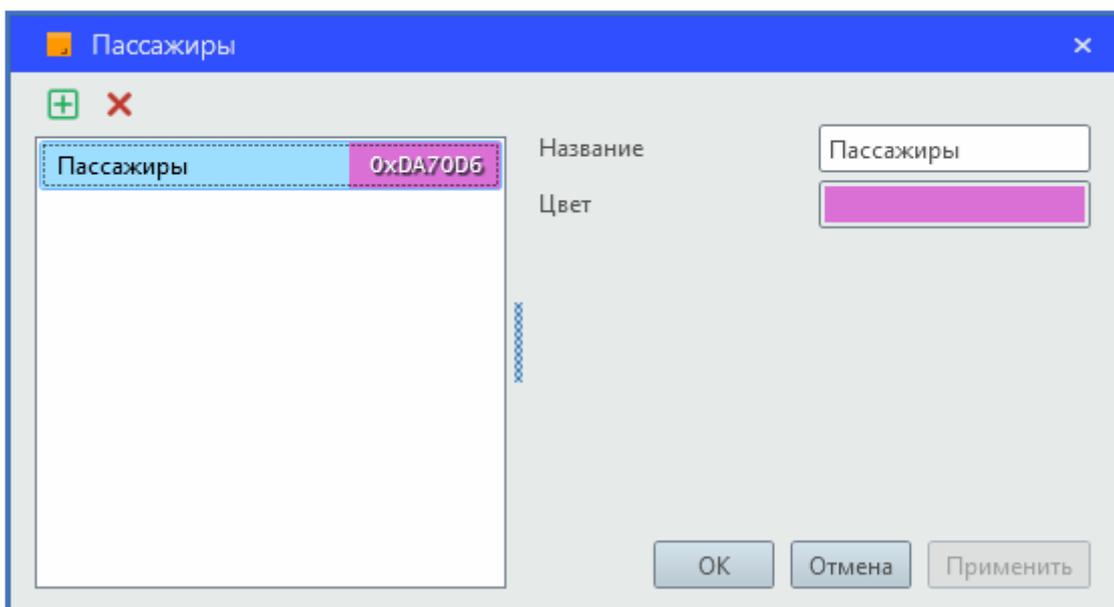


Рисунок 3.7 – Окно задания типов пассажиропотоков

Далее необходимо создать пригородный участок со станциями, где будет моделироваться зарождение пассажиропотоков (рисунок 3.8).

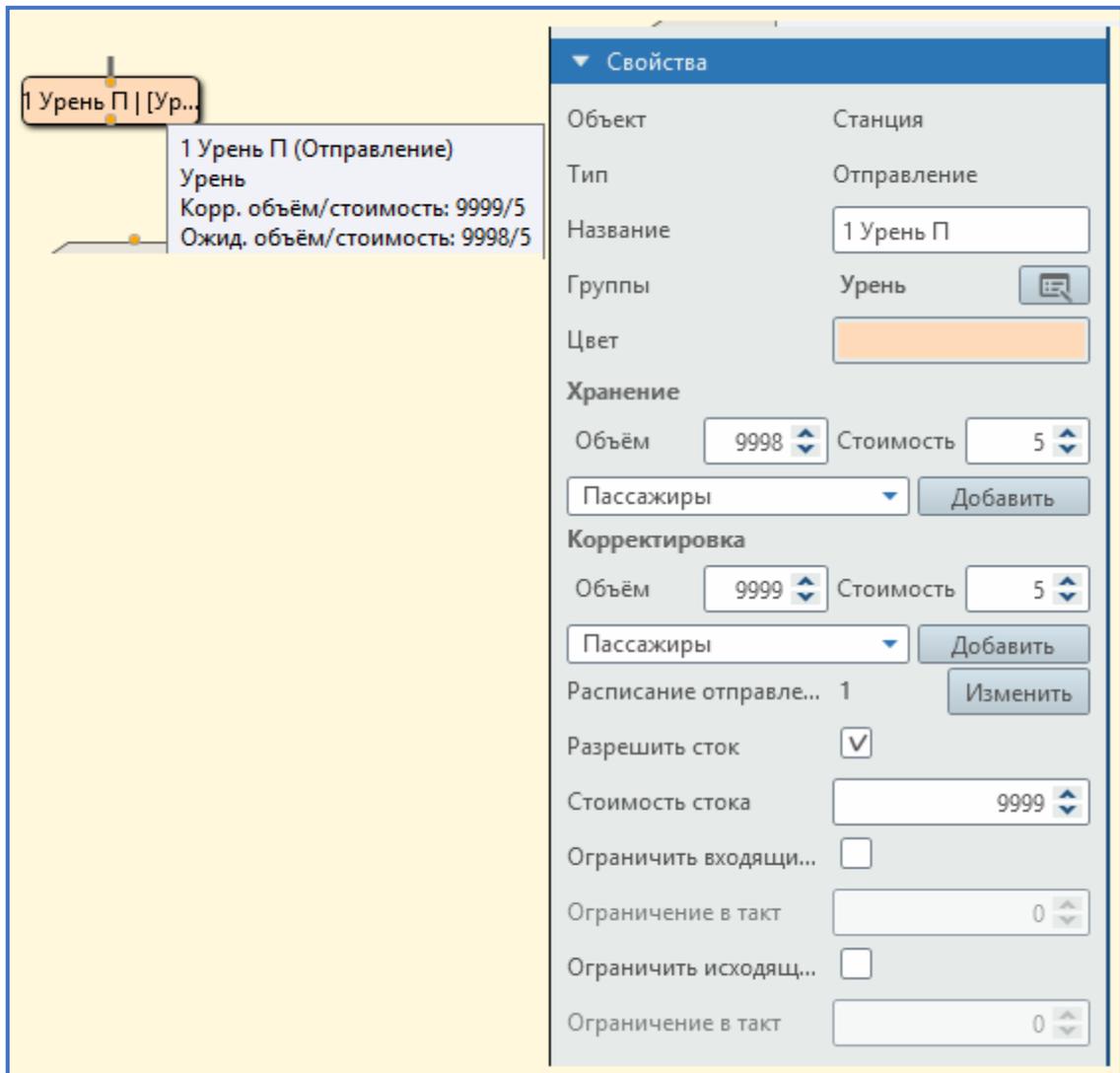


Рисунок 3.8 – Окно формирования данных о станции зарождения пассажиропотока

Названия станций, на которых зарождается пассажиропоток, обозначаются буквой П (условно «производство пассажиров»).

Для выбранной станции пользователь должен задать параметры и свойства. Для станции Урень П задано:

- Название.
- Принадлежность к группе.

- Цвет.
- Параметры хранения пассажиров. Параметр хранения отвечает за формирование очередей пассажиров. Пользователь должен задать максимальный объем очереди и стоимость нахождения в очереди одного пассажира за такт расчета. Хранение можно добавить как в целом для всех типов, так и для конкретного типа пассажиров.
- Параметры корректировки пассажиров. Параметр корректировки отвечает за перенос времени прибытия пассажира на платформу назад, т. е. коррекцию его времени прибытия. Пользователь должен задать максимальный объем пассажиров, время прибытия которых может быть скорректировано и стоимость коррекции времени одного пассажира на такт расчета. Корректировку можно добавить как в целом для всех типов, так и для конкретного типа пассажиров.
- Расписание отправления. Пользователь должен задать желаемое расписание отправление пассажиров с платформы. Реально отправление рассчитывает модель. Для того чтобы задать расписание, нужно нажать кнопку «Изменить». Процесс задания расписания для станции см. ниже.
- Параметр «Разрешить сток» разрешает или запрещает сток для выбранной станции. Сток используется для удаления пассажиров, которые не смогли добраться до пункта назначения, с платформы. Без стока задача моделирования может не иметь решений.
- Стоимость стока – это стоимость перехода в сток одного пассажира. Обычно устанавливается большое значение, чтобы модель использовала сток только в крайних случаях.
- Ограничение входящих потоков. Для станции можно задать ограничение на входящий поток. Например, на одну станцию сходятся потоки с нескольких направлений и пользователю необходимо смоделировать некий ресурс, который может справиться только с определенным потоком. Для этого он устанавливает ограничение на суммарный входящий поток.

– Ограничение исходящих потоков. Чтобы смоделировать некоторую производительность обработки на станции пользователь может задать ограничение исходящего потока. Все излишки будут оставаться на станции в очереди, если она задана.

В окне расписания для платформы пользователь может добавить элементы расписания для станции. Например, для станции Урень II добавлено повторяющееся появления пассажиров типа «Пассажиры» по 108 человек 9 раз через каждые 20 минут, начиная с 6:00.

Каждая станция также должна быть продублирована с обозначением буквой Т (рисунок 3.9), что означает транзит, то есть здесь пассажиры не появляются, а отправляются на другую станцию (в рассматриваемом примере это головная станция Нижний Новгород).

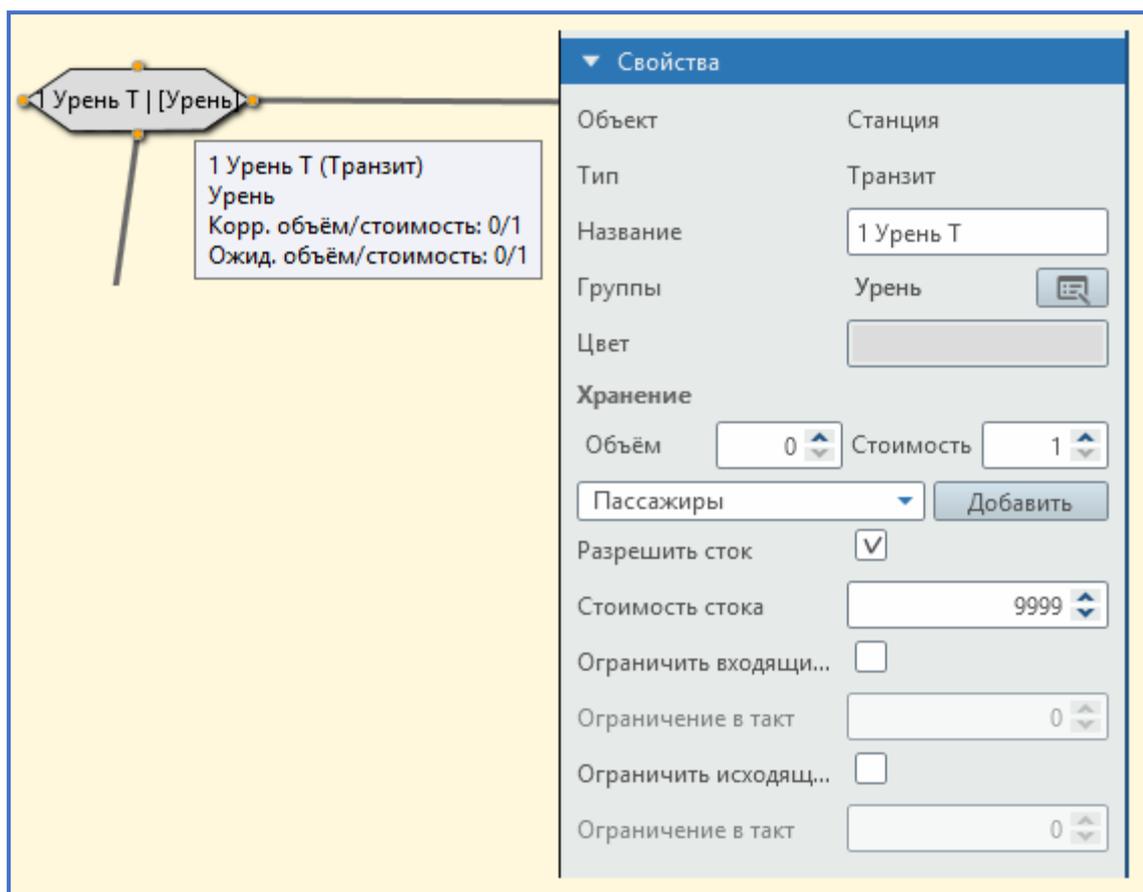


Рисунок 3.9 – Окно формирования данных о транзитной станции

Станция Урень Т является транзитной станцией, на ней не могут появляться пассажиры, поэтому на ней возможно только формирование очереди. Так как моделируется движение пригородных поездов, то устанавливается очередь на транзитных станциях равными нулю. Это позволяет смоделировать движение пригородных поездов между станциями, где пассажиры могут сесть на поезд и ехать до станции назначения.

Для соединения (перехода) Урень П – Урень Т (рисунок 3.10) заданы следующие свойства:

- Принадлежность к группе.
- Цвет.
- Тип ограничения. Может быть задано постоянное и изменяемое ограничение. В данном случае задано постоянное ограничение в 216 пассажиров за такт. Это двойной объем возможных прибывших пассажиров на платформу за такт.
- Время хода в данном случае берется равным нулю. Это время, за которое пассажир входит в электропоезд.
- Стоимость перехода одного пассажира по соединению
- Ограничение объема пассажиров по времени. Пользователь может задать ограничение объема пассажиров на определенном участке времени.

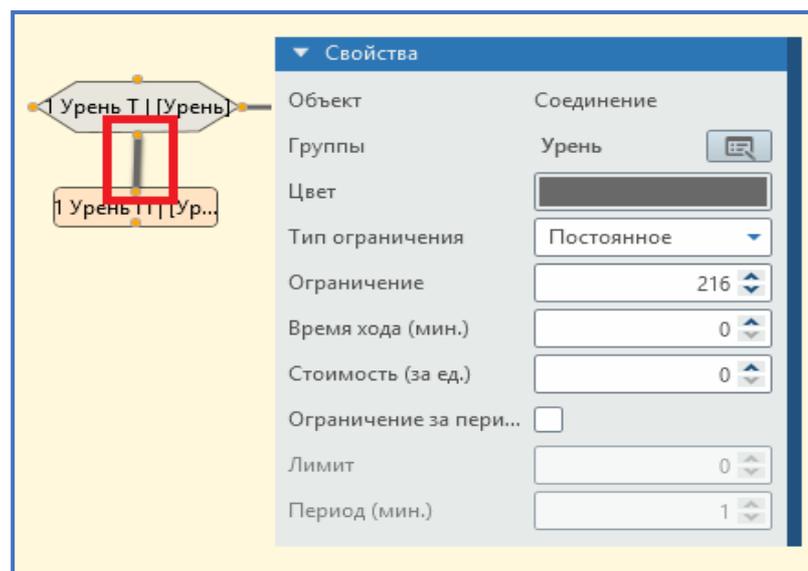


Рисунок 3.10 – Окно задания параметров соединения станции производства и транзитной станции

Между двумя промежуточными станциями необходимо создать соединения, которые моделируют реальные перегоны (рисунок 3.11). Для моделирования перегона Урень–Ветлужская создано соединение с параметрами времени хода, максимального объема перехода по соединению и стоимости перехода одного пассажира за один такт времени. Задавая ограничение объема и стоимость перехода, пользователь может смоделировать параметры перевозки пассажиров пригородным поездом на этом участке.

Например, есть два альтернативных соединения – автобус и пригородный поезд. Пользователь может задать объемы и стоимости перехода так, что как основной транспорт будет использоваться пригородный поезд, а в случае переполнения или выхода из строя (ограничение объема) пассажиры будут использовать автобусы.

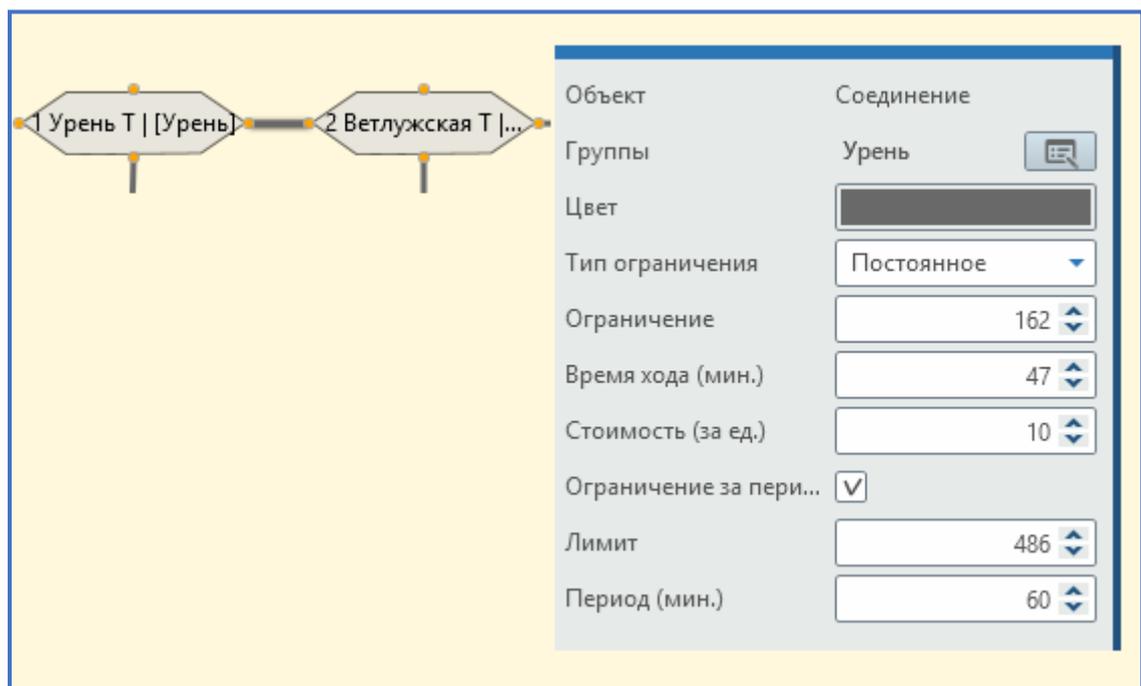


Рисунок 3.11 – Окно формирования данных о перегонах

Если организация пассажиропотоков осуществляется не на одном пригородном участке, а в транспортном узле, то станции можно формировать по группам (направлениям, примыкающим к головной станции). В окне редактирования групп можно добавлять и удалять группы (рисунок 3.12).

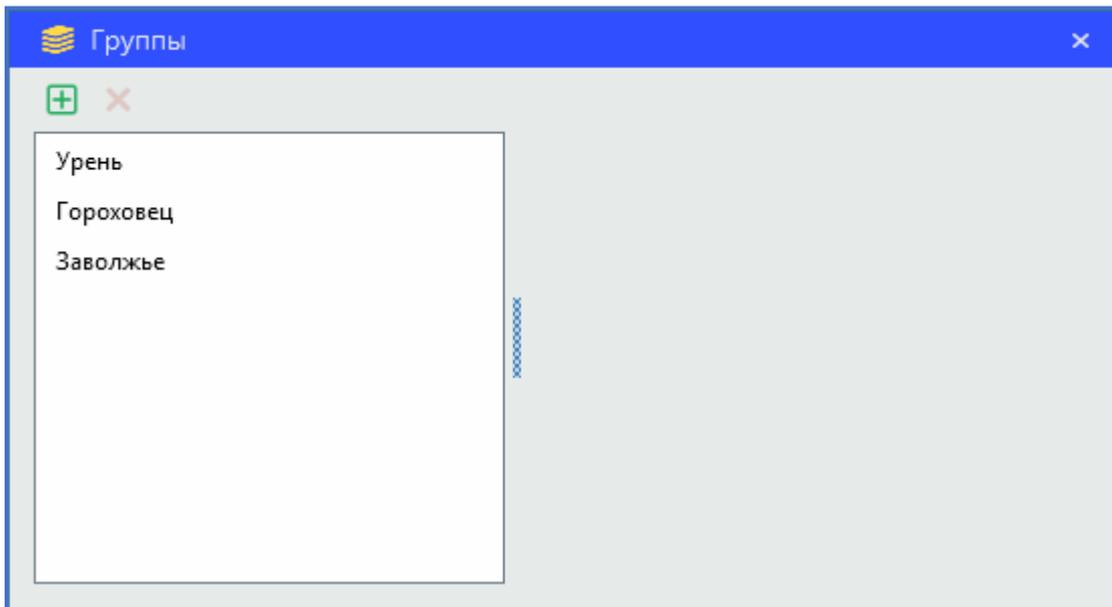


Рисунок 3.12 – Окно редактирования групп

При нажатии на кнопку редактирования принадлежности станции или соединения к группе появляется окно (рисунок 3.13). Пользователь может установить принадлежность объекта к определенной группе. Результаты моделирования также могут быть отображены отдельно по группам.

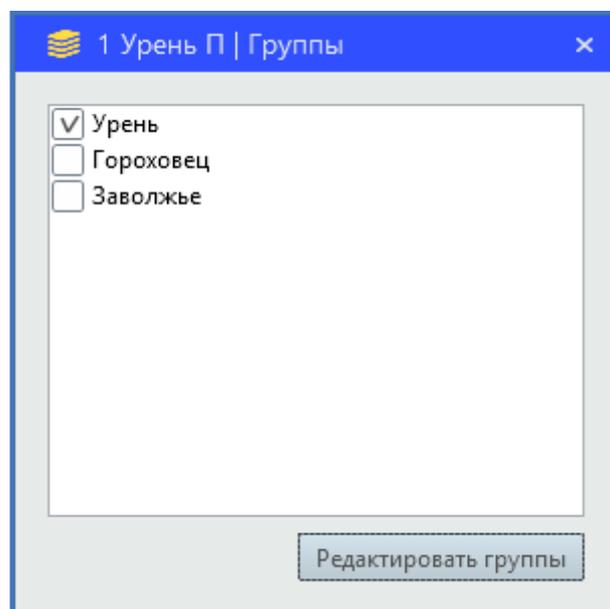


Рисунок 3.13 – Окно назначения групп

Ключевой станцией модели является головная станция, в рассматриваемом примере это Нижний Новгород. Необходимо смоделировать станцию прибытия

Нижний Новгород так, чтобы было ограничение на выход в город (из-за пропускной способности платформ, турникетов и других элементов пассажирской инфраструктуры, отсутствия возможности сделать пересадку на следующий вид транспорта в настоящий момент и т. д.) и при этом можно было наблюдать очереди, которые возникают на объектах инфраструктуры. Для этого введена транзитная станция (рисунок 3.14) перед станцией прибытия, у которой заданы объем и стоимость хранения (нахождения пассажиров в очереди, то есть непроизводственные потери) таким, чтобы очередь могла беспрепятственно формироваться. Пользователь может изменять стоимость и допустимый размер этой очереди, что скажется на распределении пассажиропотоков.

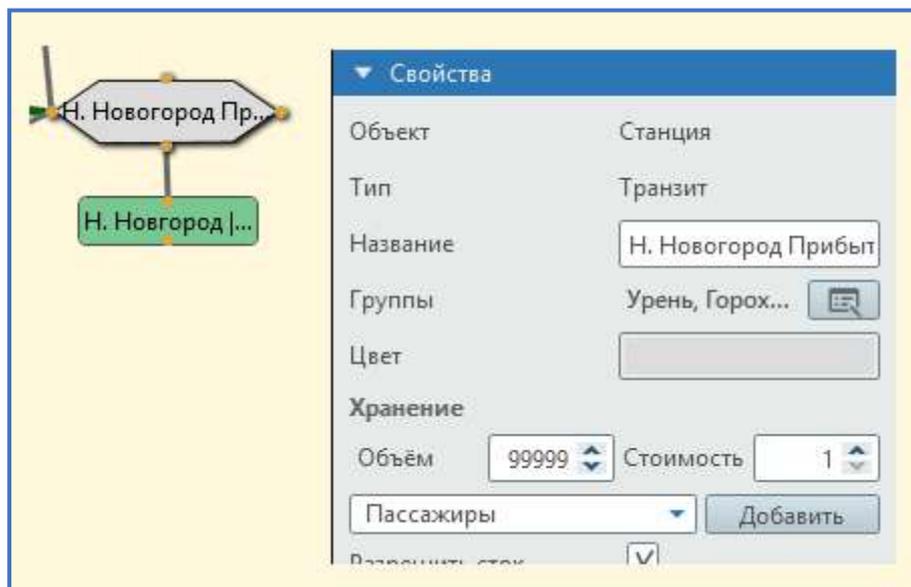


Рисунок 3.14 – Окно формирования данных о транзитной станции прибытия

Для самой станции прибытия (рисунок 3.15) задаются следующие параметры:

- Ожидание. Задается размер пассажиропотока, который будет ожидать «потребления» по расписанию (пересадки на другой вид транспорта и т. д.).
- Корректировка. Задается размер пассажиропотоков, для которых корректируется время «потребления» из расписания. Корректировка времени потребления осуществляется только назад во времени.

- Расписание прибытия. Пользователь должен задать расписание прибытия пассажиров. Если время прибытия не точно или не важно, то можно задать любую точку ближе к концу моделируемого временного периода и задать объем ожидания равным объему потребления из расписания. После расчета модель выдает моменты прибытия пассажиров на станцию прибытия, что можно принять за реальное время прибытия.

▼ Свойства	
Объект	Станция
Тип	Прибытие
Название	Н. Новгород
Группы	Урень, Горох...
Цвет	
Ожидание	
Объём	15219
Стоимость	1
Пассажиры	
Корректировка	
Объём	0
Стоимость	1
Пассажиры	
Расписание прибытия	1
Разрешить сток	<input checked="" type="checkbox"/>
Стоимость стока	9999
Ограничить входящи...	<input type="checkbox"/>
Ограничение в такт	0
Ограничить исходящ...	<input type="checkbox"/>
Ограничение в такт	0

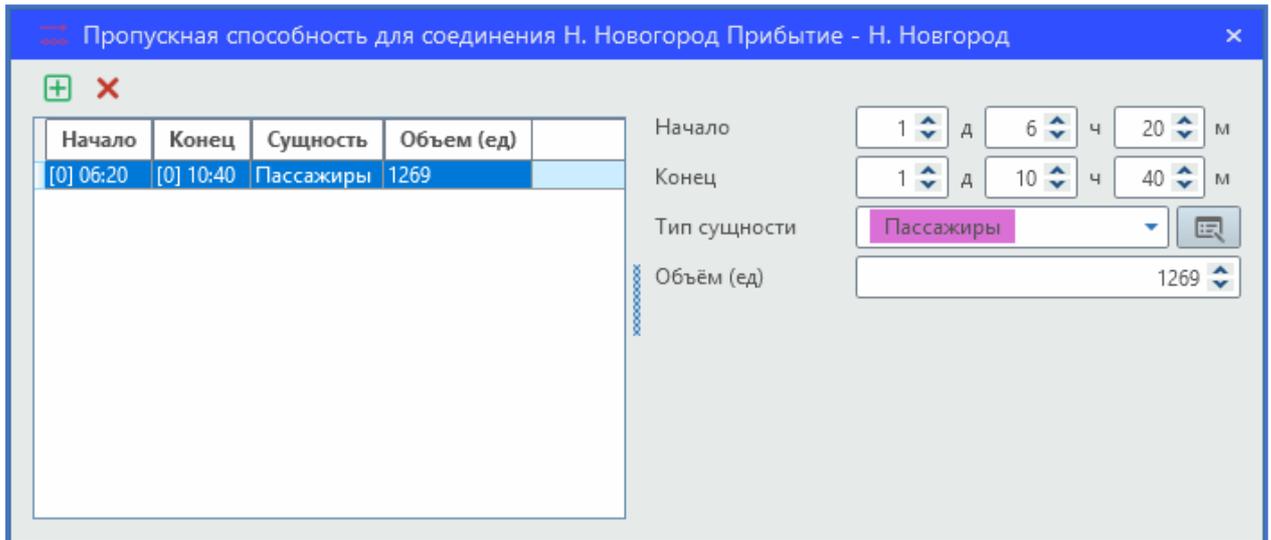
Н. Новгород (Прибытие)
 Урень, Гороховец, Заволжье
 Корр. объём/стоимость: 0/1
 Ожид. объём/стоимость: 15219/1

Рисунок 3.15 – Окно формирования данных о станции прибытия

Остальные свойства станции прибытия совпадают со свойствами транзитной станции прибытия.

Для того, чтобы смоделировать поведение пассажиров при разных пропускных способностях станции Нижний Новгород и ее пассажирских устройств (например, турникетов, которые ограничивают поток), необходимо

ввести ограничение размера пассажиропотока в определенный временной период на соединении между транзитной станцией прибытия и собственно станцией прибытия (рисунок 3.16).



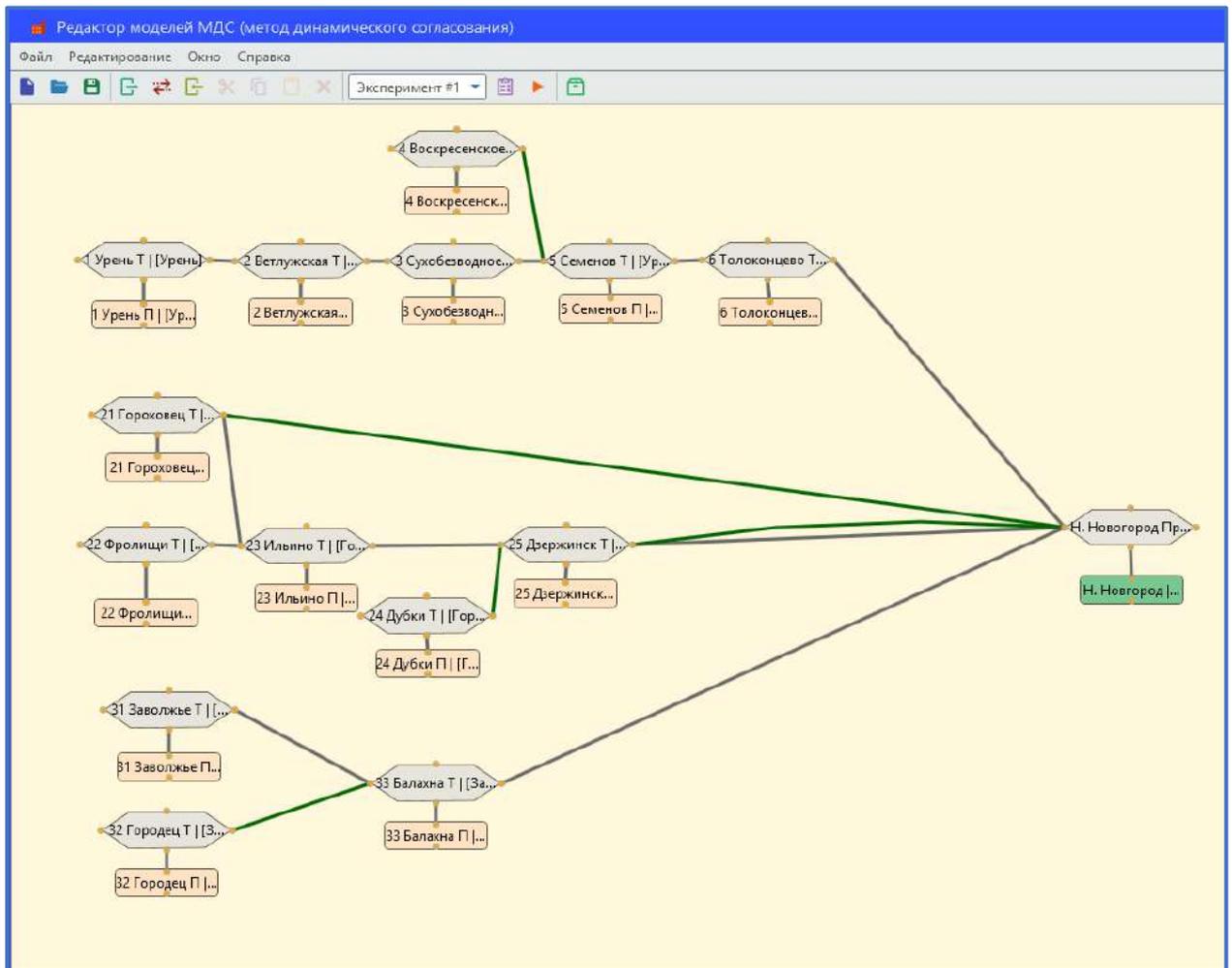
Начало	Конец	Сущность	Объем (ед)
[0] 06:20	[0] 10:40	Пассажиры	1269

Начало: 1 д, 6 ч, 20 м
 Конец: 1 д, 10 ч, 40 м
 Тип сущности: Пассажиры
 Объем (ед): 1269

Рисунок 3.16 – Окно формирования данных о пропускной способности станции прибытия

Ограничение пропускной способности на соединении можно ввести для определенного типа пассажиропотока. Например, на рисунке 3.17 с 6:20 до 10:40 по соединению между транзитной станцией прибытия и станцией прибытия может проходить 1269 пассажиров в один такт. Другими словами, условные турникеты на станции Нижний Новгород пропускают 1269 пассажиров за 20 минут.

В результате задания исходных данных обо всех станциях расчетного транспортного узла и обо всех соединениях между ними получилась расчетная модель (рисунок 3.17).



Условные обозначения:

— - линии маршрутов пригородных поездов;

— - линии автобусных маршрутов.

Рисунок 3.17 – Схема маршрутов пригородных перевозок в Нижегородской агломерации в расчетной модели

Как показано в работе [139], каждая станция в модели изображена дважды – нижняя отображает подход пассажиров (зарождение пассажиропотока на станции отправления), верхняя – отправление пригородных поездов (автобусов).

Подход пассажиров может задаваться в динамике в любой конфигурации для каждой станции (рисунок 3.18).

Навигация

Панель

100%

Свойства

Объект: Станция

Тип: Отправление

Название: 1 Урень П

Группы: Урень

Цвет: [Orange]

Хранение

Объем: 0 | Стоимость: 100

Пассажиры [Добавить]

Корректировка

Объем: 0 | Стоимость: 100

Пассажиры [Добавить]

Расписание отправление... 1 [Изменить]

Разрешить сток:

Стоимость стока: 9999

Ограничить входящи...:

Ограничение в такт: 0

Ограничить исходящ...:

Ограничение в такт: 0

Расписание станции 1 Урень П Тип: Отправление

Время	Сущность	Объем (ед)	Регулярное
[1] 06:00	Пассажиры	108	Да 20/9

Редактирование

Время: 1 д 0 ч 0 м

Тип сущности: *

Объем (ед): 1

Регулярное:

Период повторе...: 1440

Число повторов...: 0

Ok Отмена

Рисунок 3.18 – Схема задания информации о станции отправления и ритма подхода пассажиров

Величина расчетного такта также может быть задана любой – от 1 минуты и более. Пока выбрана величина такта 20 минут. Во-первых, такая точность для отображения ритма отправления и прибытия пассажиров вполне достаточна, во-вторых, возникают широкие возможности преобразования пассажиропотока в пригородные поезда (в зависимости от мощности потока можно выбрать вместимость и количество электропоездов).

По всем перегонам задано время хода, стоимость перевозки и ограничение по пропускной способности (рисунок 3.19).

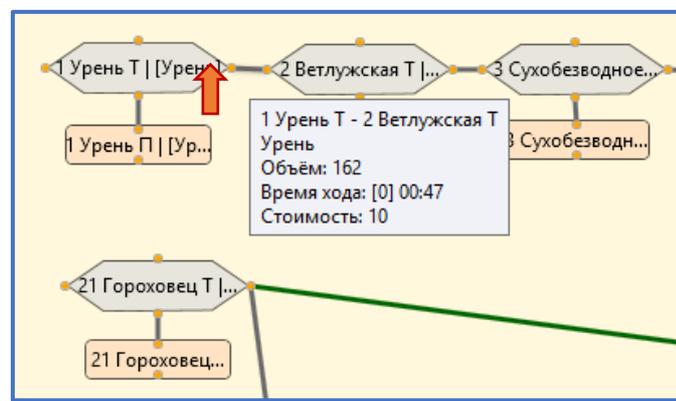


Рисунок 3.19 – Задание параметров перегонов

В модели организации пассажиропотока предполагается корректировка ритмов отправления пассажиров, поэтому задаются соответствующие параметры – стоимость корректировки, предельная величина очереди, единичная стоимость ожидания и др. (рисунок 3.18).

При том, что стоимость корректировки, что стоимость ожидания могут быть выражены в условных единицах или денежном эквиваленте, выражающем как увеличение пассажиро-часов ожидания, так и потери перевозчика при решении пассажира в пользу другого вида транспорта.

Для конечной станции указывается требуемый ритм пересадки, предельная очередь и единичная стоимость ожидания.

Модель выдает динамику движения пассажиропотока, динамику ожидания пассажиров на каждой станции, необходимые стоимостные параметры, а также корректировку ритмов отправления для обеспечения требуемого ритма пересадки.

3.2. Организация однородного пригородного пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации. Общие возможности модели

Предположим, что известны желаемые периоды времени прибытия пассажиров на головную станцию города-ядра – известные методы маркетинговых исследований, современные технические устройства и методики исследований позволяют получить такие данные с высокой точностью. Также известны данные о количестве пассажиров, отправляющихся с каждой станции (остановочного пункта) городов-спутников и пригородной зоны. Использование метода организации пассажиропотоков позволит понять в какой момент времени должны пассажиры отправляться с каждой станции (остановочного пункта), то есть организовать пассажиропоток.

Если со всех станций пассажиры будут отправляться без регулировки (без использования инструмента организации пассажиропотока), то прибывать на конечную станцию они будут в общем случае неравномерно. Даже при равномерном подходе пассажиров на все станции отправления очередь на станции прибытия достигает больших размеров – до 1590 человек (рисунок 3.20).

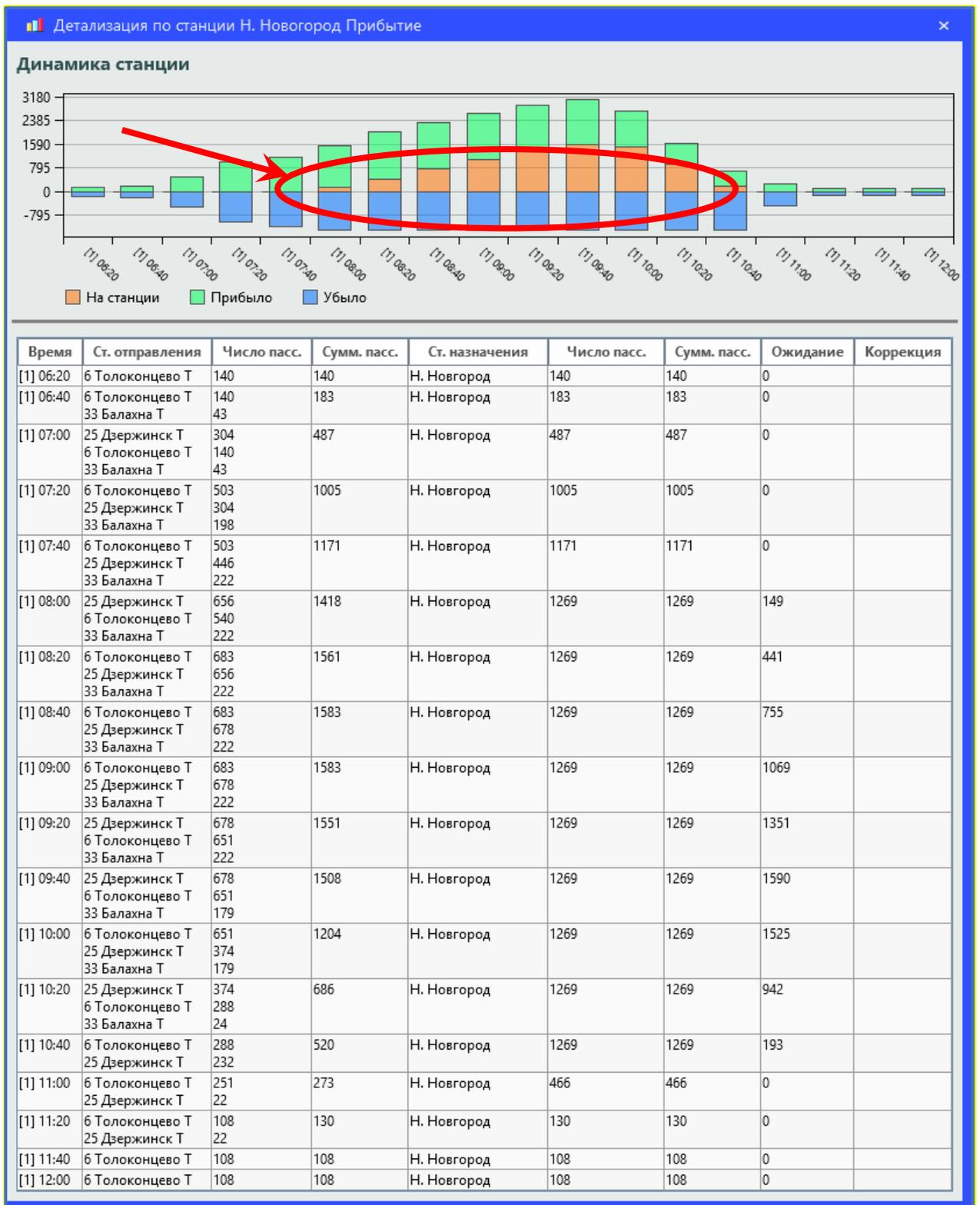


Рисунок 3.20 – Динамика пассажиропотока на станции прибытия (возникновение очереди)

Таким образом, даже равномерное отправление пассажиров со всех станций участков (рисунок 3.21–3.23) не обеспечивает равномерного их прибытия на головную станцию.

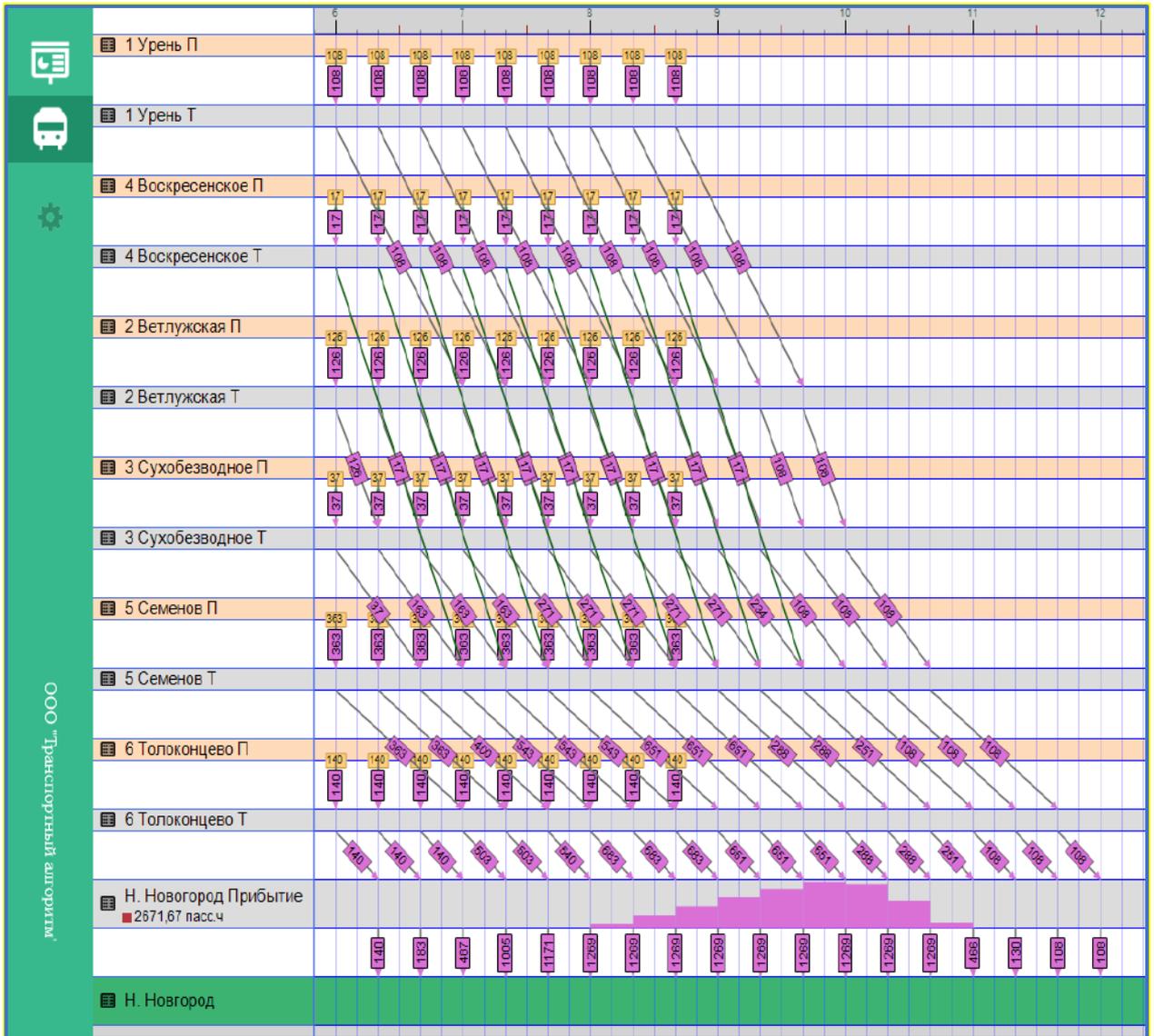


Рисунок 3.21 – Равномерное отправление пассажиров со станций участка Урень – Нижний Новгород

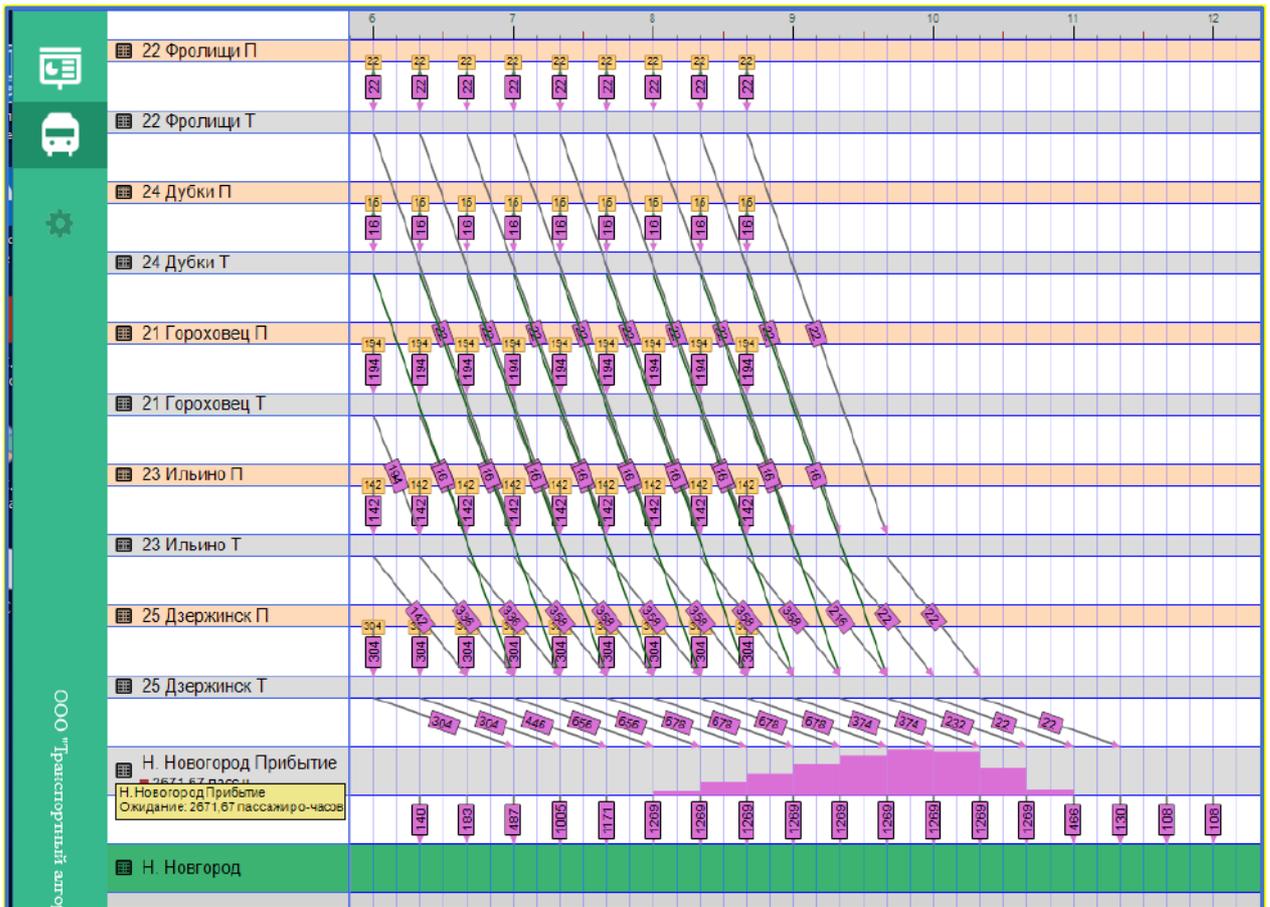


Рисунок 3.22 – Равномерное отправление пассажиров со станций участка Гороховец – Нижний Новгород

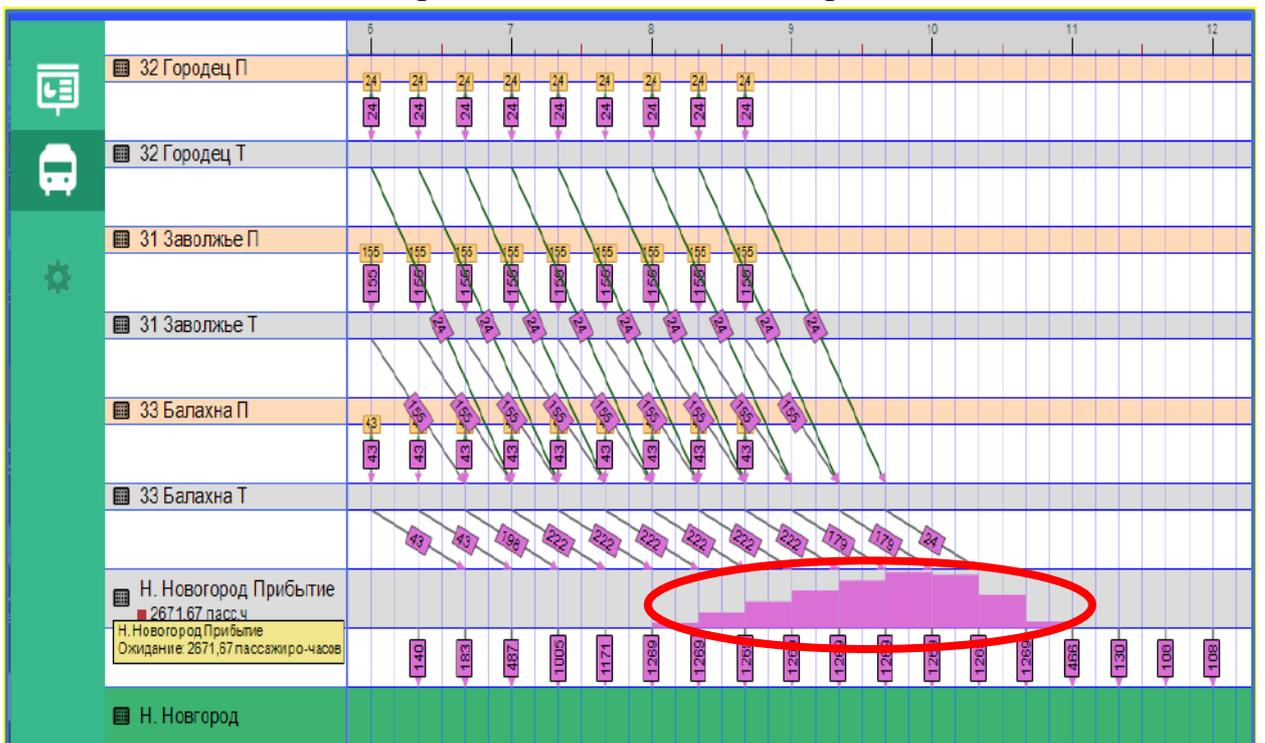


Рисунок 3.23 – Равномерное отправление пассажиров со станций участка Заволжье – Нижний Новгород

На рисунках 3.21–3.23 задан 20-минутный интервал отправления пассажиров с каждой станции. При этом задано условие равномерности отправляющихся групп пассажиров: например, со станции Городец каждые 20 минут отправляется по 24 пассажира, со станции Заволжье – 155 пассажиров и т. д. То есть весь пассажиропоток «пикового» периода по каждой станции разбит на равные группы. Поскольку для всех пассажиров задан один предпочитаемый период прибытия на головную станцию, то именно на станции прибытия возникает очередь. Данная ситуация приводит не только к некачественному обслуживанию пассажиров (задержки, увеличение общей продолжительности поездки, некомфортное нахождение на территории вокзального комплекса и т. д.), но и к неэффективному использованию инфраструктуры.

Модель позволяет ввести запрет на образование очереди на станции прибытия, но это может привести к возникновению очередей на станциях отправления (рисунок 3.24).

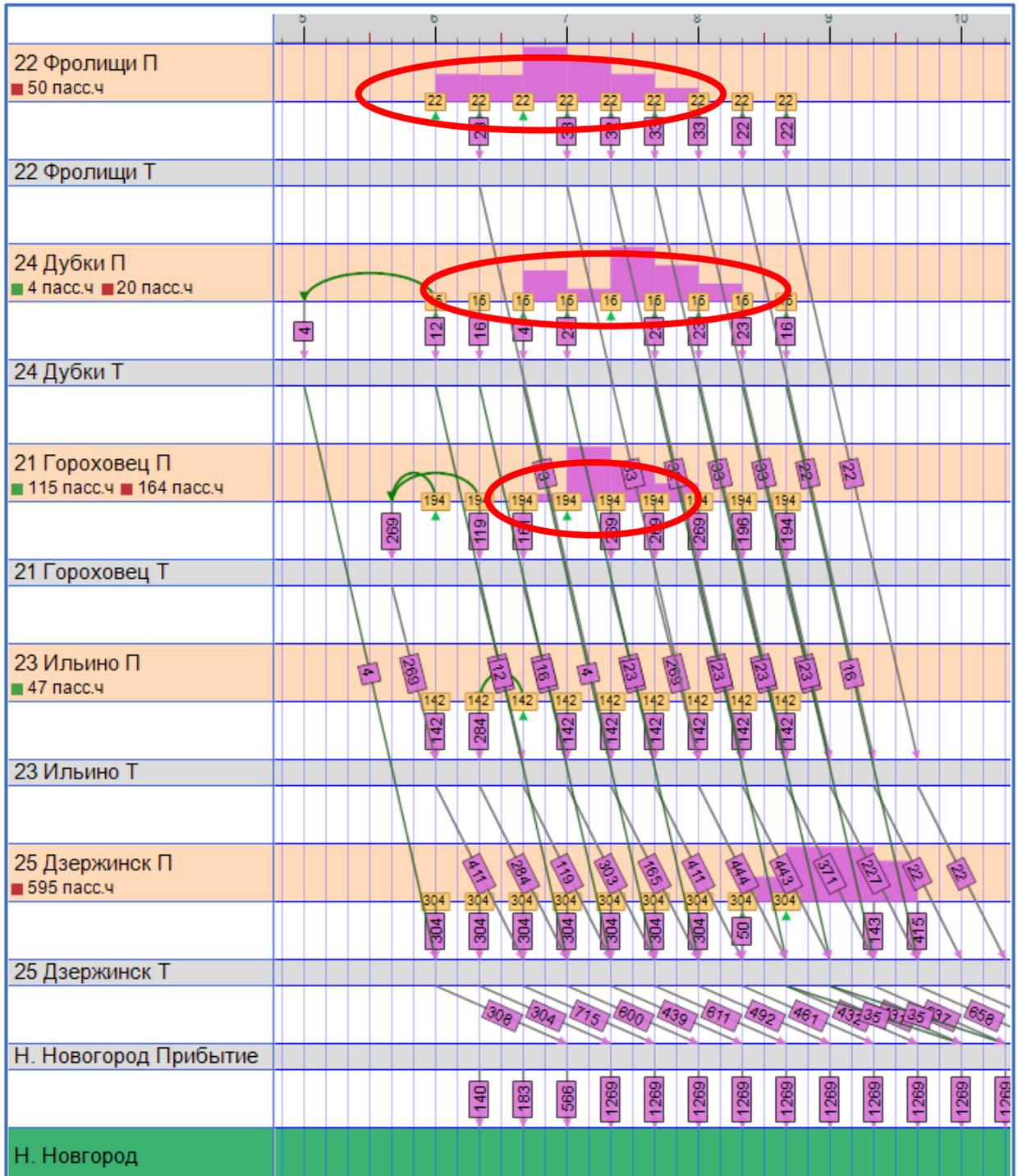


Рисунок 3.24 – Возникновение очередей на станциях отправления участка
Гороховец – Нижний Новгород

При этом очередь возникает в начале расчетного периода на наиболее удаленных (по времени поездки) станциях: Фролищи, Дубки, Гороховец. В конце периода – на станциях с самым большим пассажиропотоком (Держинск – ожидание в очереди за период достигло 595 пасс-часов).

Ожидание пассажирами отправления на станциях участка еще более нежелательно – это означает, что пассажиры просто не могут уехать в отправляющемся поезде по причине его переполненности или отсутствия остановки. То есть пассажир может и вовсе отказаться от поездки железнодорожным транспортом при таком подходе. Поэтому пассажиропоток следует организовать, то есть обозначить те интервалы времени, в которые пассажир может заведомо точно отправиться без ожидания в очереди и также избежать очереди на станции прибытия.

Для определения таких моментов отправления в модели вводится запрет на возникновение очереди на всех категория станций и разрешается корректировка пассажиропотока (рисунок 3.25). На рисунке зелеными стрелками показано смещение времени отправления на более раннее, а красными – на более позднее.

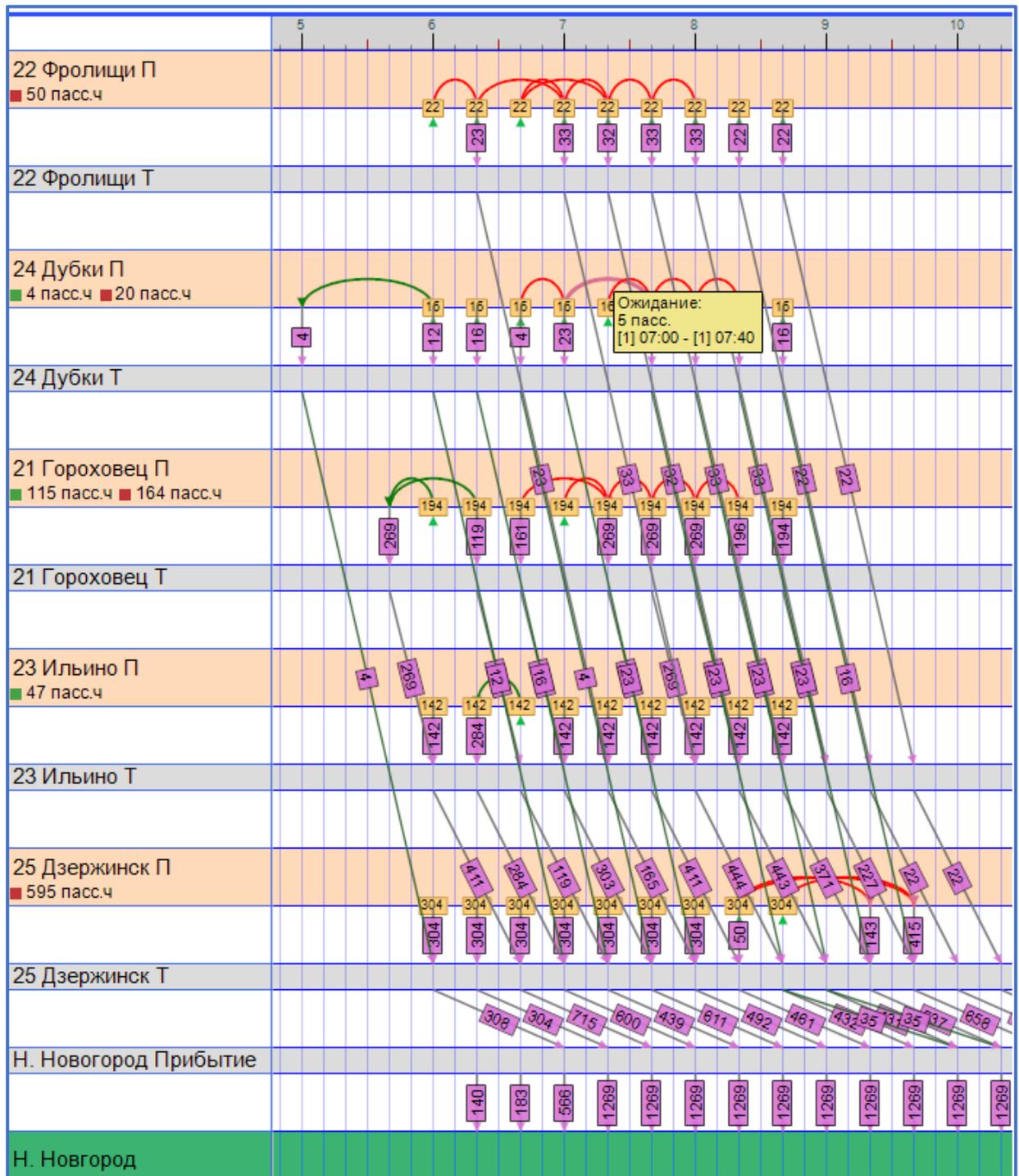


Рисунок 3.25 – Корректировка ритмов отправления пассажиров со станций участка Гороховец – Нижний Новгород

Корректировки пассажиропотока преимущественно возникли на тех станциях, где появилась очередь на отправление – на наиболее удаленных и с большим отправлением пассажиров.

Программа позволяет вывести в отдельное окно отчет о суммарных корректировках (рисунок 3.26, 3.27).



Рисунок 3.26 – Размеры корректировки подхода пассажиров на станции отправления на более раннее время

Наибольшее количество пассажиро-часов переноса отправления на более раннее время понадобилось для станций Гороховец (115 пасс-ч), Ветлужская (75 пасс-ч), Толоконцево (70 пасс-ч) и Ильино (47 пасс-ч). Это связано не столько со значительным временем переноса, сколько с достаточно большим размером пассажиропотока. Например, по станции Ильино переносится отправление 142 пассажиров всего на 20 минут (рисунок 3.25). При этом нет никакой гарантии, что эти же 20 минут пассажиры не провели бы на станции прибытия в очереди в некомфортных условиях или в переполненном пригородном поезде.



Рисунок 3.27 – Размеры корректировки отправления пассажиров со станций участка на более позднее время

Наибольшие пассажиро-часы корректировки времени отправления пассажиров на более позднее возникли на станциях Дзержинск (595 пасс-ч), Заволжье (225 пасс-ч), Гороховец и Семенов (более 75 пасс-ч).

На станции Урень, например, практически отсутствует корректировка (около 10 пасс-ч в сторону более позднего отправления) и полностью отсутствует корректировка в сторону более раннего времени. Это связано с тем, что эта станция максимально удалена по времени поездки от головной станции (почти 3 часа), поэтому для нее задана самая высокая стоимость корректировки относительно других станций.

Также программа позволяет просматривать данные о пассажиропотоках по отправлению со станций участка (рисунок 3.28) и о пассажиропотоках на перегонах (рисунок 3.29).

Тип отправления		Производство		Тип прибытия		Транзит	
Отправление	Прибытие	I	Сумм. пасс. поток			Сред.значим.	
21 Гороховец П	21 Гороховец Т	[1]	1746			582	
22 Фролищи П	22 Фролищи Т	[1]	198			66	
23 Ильино П	23 Ильино Т	[1]	1278			426	
24 Дубки П	24 Дубки Т	[1]	144			48	
25 Дзержинск П	25 Дзержинск Т	[1]	2736			912	
32 Городец П	32 Городец Т	[1]	216			72	
31 Заволжье П	31 Заволжье Т	[1]	1395			465	
33 Балахна П	33 Балахна Т	[1]	387			129	
6 Толоконцево П	6 Толоконцево Т	[1]	1260			420	
5 Семенов П	5 Семенов Т	[1]	3267			1089	
4 Воскресенское П	4 Воскресенское Т	[1]	153			51	
3 Сухобезводное П	3 Сухобезводное Т	[1]	333			111	
2 Ветлужская П	2 Ветлужская Т	[1]	1134			378	
1 Урень П	1 Урень Т	[1]	972			324	

Рисунок 3.28 – Результирующие потоки по зарождению

Тип отправления		Транзит		Тип прибытия		Транзит	
Отправление	Прибытие	I	Сумм. пасс. поток			Сред.знач	
21 Гороховец Т	23 Ильино Т	[1]	1746			582	
21 Гороховец Т	Н. Новгород Прибытие	[1]	0			0	
22 Фролищи Т	23 Ильино Т	[1]	198			66	
23 Ильино Т	25 Дзержинск Т	[1]	3222			806	
24 Дубки Т	25 Дзержинск Т	[1]	144			48	
25 Дзержинск Т	Н. Новгород Прибытие	[1]	3174			635	
25 Дзержинск Т	Н. Новгород Прибытие	[1]	2928			976	
31 Заволжье Т	33 Балахна Т	[1]	1395			465	
32 Городец Т	33 Балахна Т	[1]	216			72	
33 Балахна Т	Н. Новгород Прибытие	[1]	1998			500	
6 Толоконцево Т	Н. Новгород Прибытие	[1]	7119			1186	
2 Ветлужская Т	3 Сухобезводное Т	[1]	2106			526	
3 Сухобезводное Т	5 Семенов Т	[1]	2439			488	
1 Урень Т	2 Ветлужская Т	[1]	972			324	
4 Воскресенское Т	5 Семенов Т	[1]	153			51	
5 Семенов Т	6 Толоконцево Т	[1]	5859			1172	

Рисунок 3.29 – Результирующие потоки между станциями

3.3. Организация зарождающегося пассажиропотока

Для начала изучим поведение пассажиропотока без ограничения пропускных способностей участков. Рассмотрим жестко организованный пассажиропоток по зарождению – равномерный, но дезорганизованный по станции прибытия Нижний Новгород (рисунок 3.30). Время прибытия на головную станцию ограничено периодом с 6.00 до 12.00.

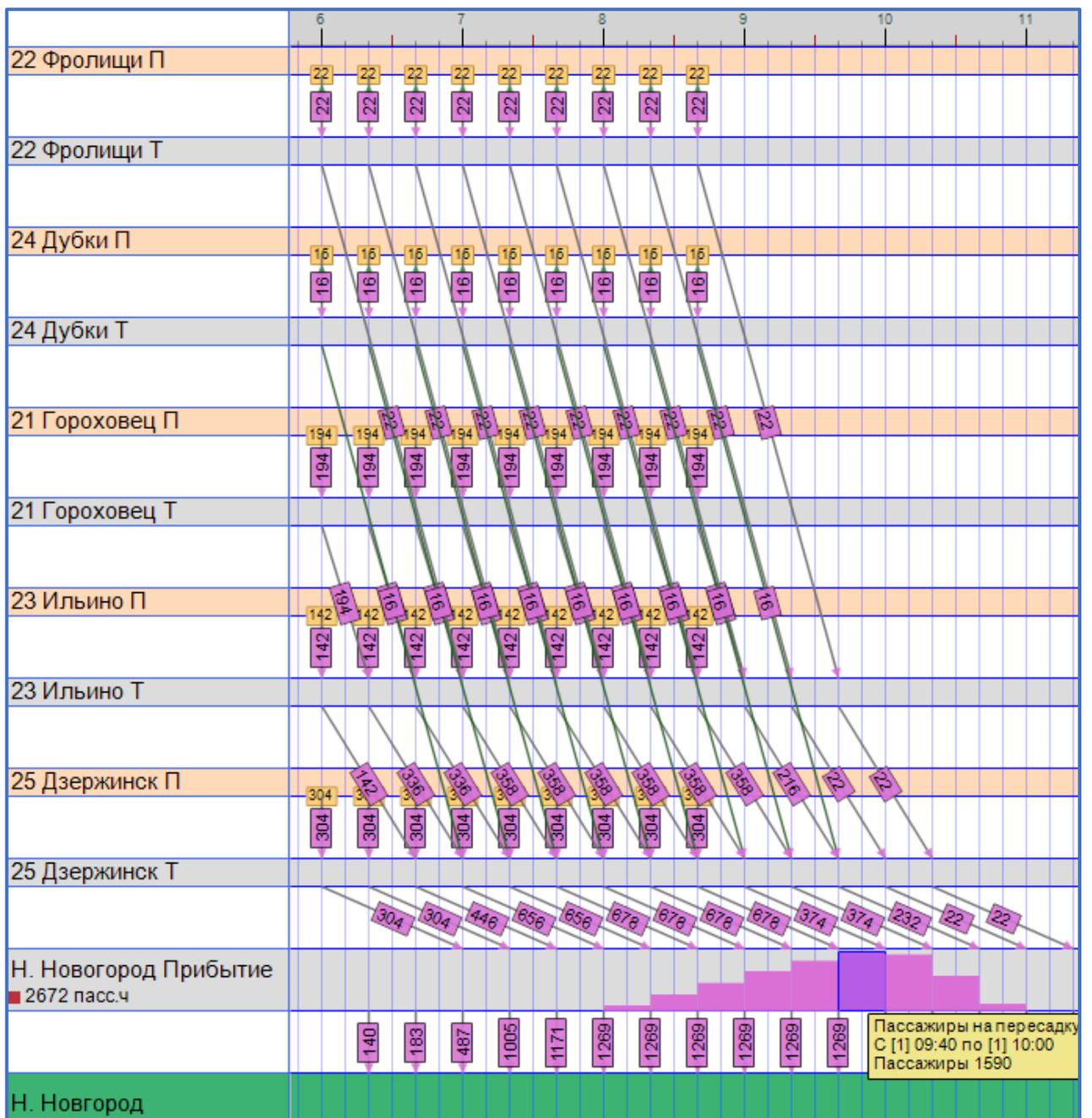


Рисунок 3.30 – Дезорганизованный по станции прибытия пассажиропоток

На рисунке 3.30 видно, что пассажиры отправляются с каждой станции участка равномерно (одинаковыми по размеру группами через равные периоды времени), корректировки и простои на станциях отправления отсутствуют, а на станции прибытия – растянутый период прибытия и возникают большие очереди до 1590 человек. Ожидание в очереди на станции прибытия составляет 2672 пассажиро-часа, что достаточно много.

Смягчим дезорганизацию пассажиропотока по прибытию – ограничим возможную очередь на станции прибытия до 500 человек (рисунок 3.31).

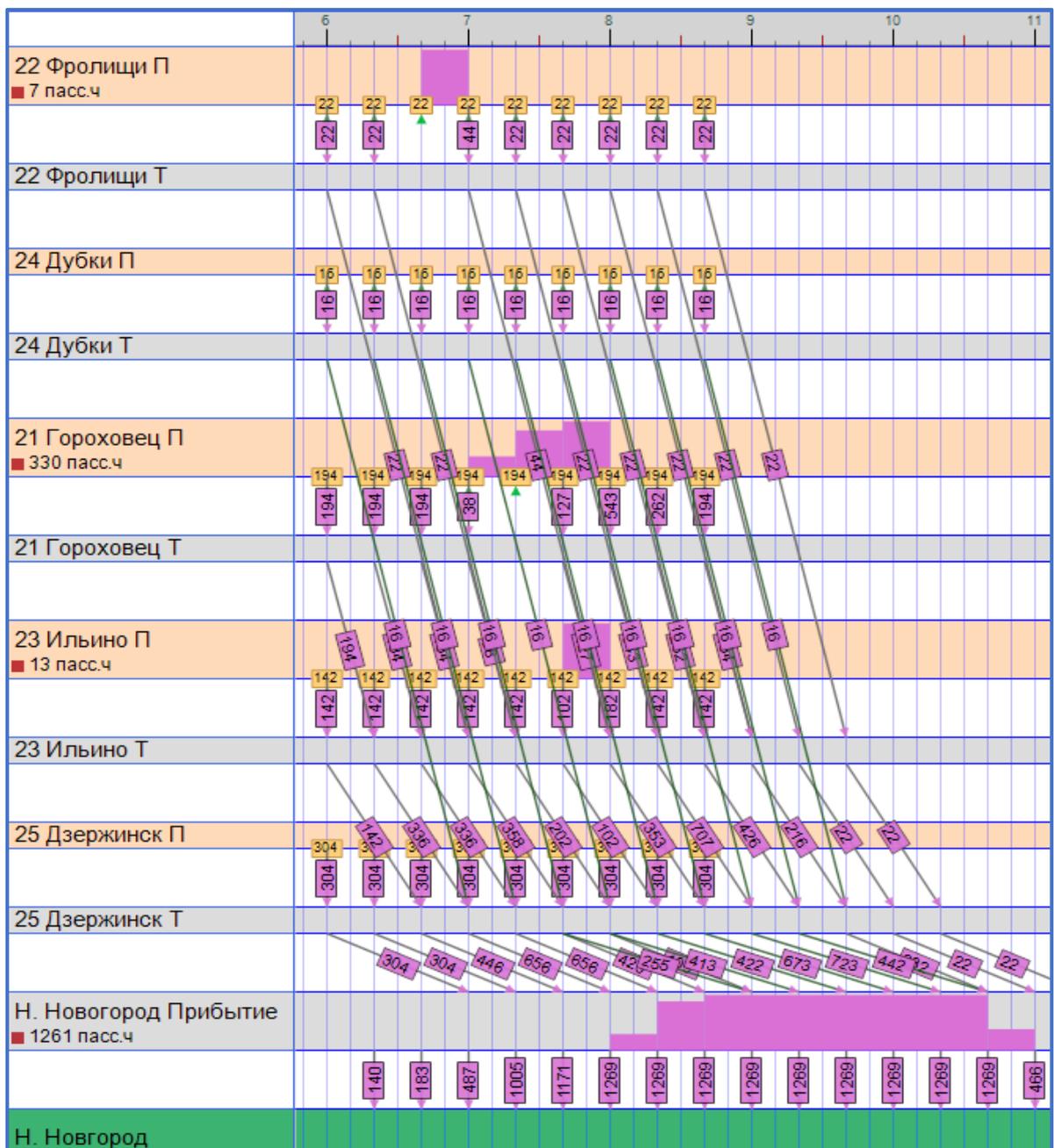


Рисунок 3.31 – Смягчение дезорганизации пассажиропотока на станции прибытия (очередь 500 человек)

Ожидание на станции назначения снизилось до 1261 пассажиро-часов. Часть простоев перенесена на наиболее удаленные станции отправления. На рисунке 3.31 приведены результаты моделирования на участке Гороховец – Нижний Новгород, соответственно на наиболее удаленной станции Гороховец ожидание составляет 330 пассажиро-часов.

Ограничим возможную очередь на станции назначения до 100 человек (рисунок 3.32).

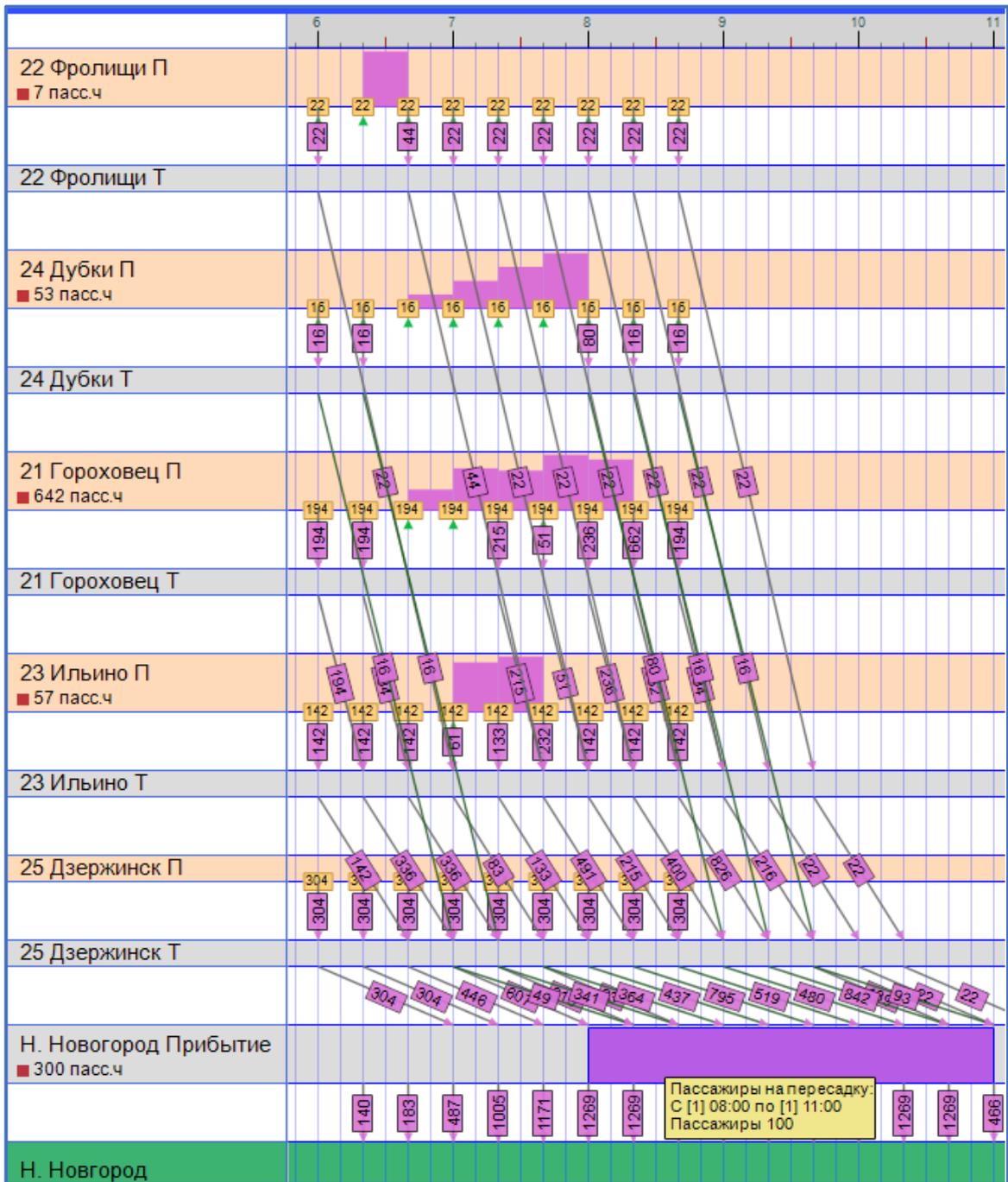


Рисунок 3.32 – Смягчение дезорганизации пассажиропотока на станции прибытия (очередь 100 человек)

Ожидание на станции назначения снизилось до 300 пассажиро-часов, при этом возросло на удаленных станциях отправления. Например, по станции Гороховец ожидание достигло 642 пассажиро-часов. В современных условиях организации пригородных пассажирских перевозок пассажиры просто не будут ждать, а чтобы сэкономить время, будут стараться уехать на ближайшем пригородном поезде, следовательно, вагоны будут переполнены, что не лучшим образом скажется на комфорте поездки.

Ограничение очереди на станции прибытия до 100 человек также позволило получить неожиданный результат: при отсутствии ограничений автобусные перевозки на участке Дзержинский – Нижний Новгород отсутствовали (рисунок 3.33), а при ограничении – даже превысила объемы перевозок пассажиров на этом участке по железной дороге (рисунок 3.34).

Тип отправления		Тип прибытия	
Транзит		Транзит	
Отправление	Прибытие	Время хода	Сумм. пасс. поток
21 Гороховец Т	23 Ильино Т	[1] 00:12	1746
21 Гороховец Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 02:00	0
22 Фролищи Т	23 Ильино Т	[1] 00:59	198
23 Ильино Т	25 Дзержинск Т	[1] 00:36	3222
24 Дубки Т	25 Дзержинск Т	[1] 00:55	144
25 Дзержинск Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 00:43	6102
25 Дзержинск Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 01:05	0
31 Заволжье Т	33 Балахна Т	[1] 00:38	1395
32 Городец Т	33 Балахна Т	[1] 00:50	216
33 Балахна Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 00:40	1998
6 Толоконцево Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 00:12	7119
2 Ветлужская Т	3 Сухобезводное Т	[1] 00:18	2106
3 Сухобезводное Т	5 Семенов Т	[1] 00:36	2439
1 Урень Т	2 Ветлужская Т	[1] 00:47	972
4 Воскресенское Т	5 Семенов Т	[1] 01:00	153
5 Семенов Т	6 Толоконцево Т	[1] 00:50	5859

Рисунок 3.33 – Суммарный пассажиропоток на участке Гороховец – Нижний Новгород без ограничения очереди на станции прибытия

Тип отправления **Транзит** Тип прибытия **Транзит**

Отправление	Прибытие	Время хода	Сумм. пасс. поток
21 Гороховец Т	23 Ильино Т	[1] 00:12	1746
21 Гороховец Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 02:00	0
22 Фролищи Т	23 Ильино Т	[1] 00:59	198
23 Ильино Т	25 Дзержинск Т	[1] 00:36	3222
24 Дубки Т	25 Дзержинск Т	[1] 00:55	144
25 Дзержинск Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 00:43	2182
25 Дзержинск Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 01:05	3920
31 Заволжье Т	33 Балахна Т	[1] 00:38	1395
32 Городец Т	33 Балахна Т	[1] 00:50	216
33 Балахна Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 00:40	1998
6 Толоконцево Т	Н. Новгород Прибытие	[1] 00:12	7119
2 Ветлужская Т	3 Сухобезводное Т	[1] 00:18	2106
3 Сухобезводное Т	5 Семенов Т	[1] 00:36	2439
1 Урень Т	2 Ветлужская Т	[1] 00:47	972
4 Воскресенское Т	5 Семенов Т	[1] 01:00	153
5 Семенов Т	6 Толоконцево Т	[1] 00:50	5859

Рисунок 3.34 – Суммарный пассажиропоток на участке Гороховец – Нижний Новгород при ограничении очереди на станции прибытия до 100 человек

Полученный результат также интересен тем, что время поездки на участке Дзержинск – Нижний Новгород на автобусе составляет 1 ч. 05 мин, что превышает время поездки по железной дороге (43 мин). Таким образом, можно сделать вывод о том, что модель часть пассажиро-часов ожидания «убрала» в пассажиро-часы движения. На практике это тоже может сработать – лучше медленно и с комфортом ехать, чем испытывать неудобства в очереди. Самое главное, что такие результаты говорят о том, что модель организации пассажиропотока может быть использована не только для поиска оптимальных решений в работе отдельного вида транспорта, но и как инструмент расчета и установления межтранспортного баланса в регионе. Для этого необходимо более детально изучить механизмы работы модели.

3.4. Организация прибывающего пассажиропотока

Организация прибывающего пассажиропотока подразумевает корректировку ритмов отправления. Поскольку в предыдущих расчетах модель обеспечивала прибытие всех пассажиров до 11.00 при заданном ограничении до 12.00, в последующих расчетах задано более жесткое и приближенное к реальному «пиковому» периоду ограничение – прибытие на головную станцию до 10.00. Зарождение пассажиропотока на станциях отправления ограничено с 6.00 до 9.00.

При таких условиях модель включает масштабную корректировку (рисунки 3.35–3.37), которая по всем станциям суммарно составила 10637 пассажиро-часов.



Рисунок 3.35 – Размеры корректировки подхода пассажиров на станции отправления

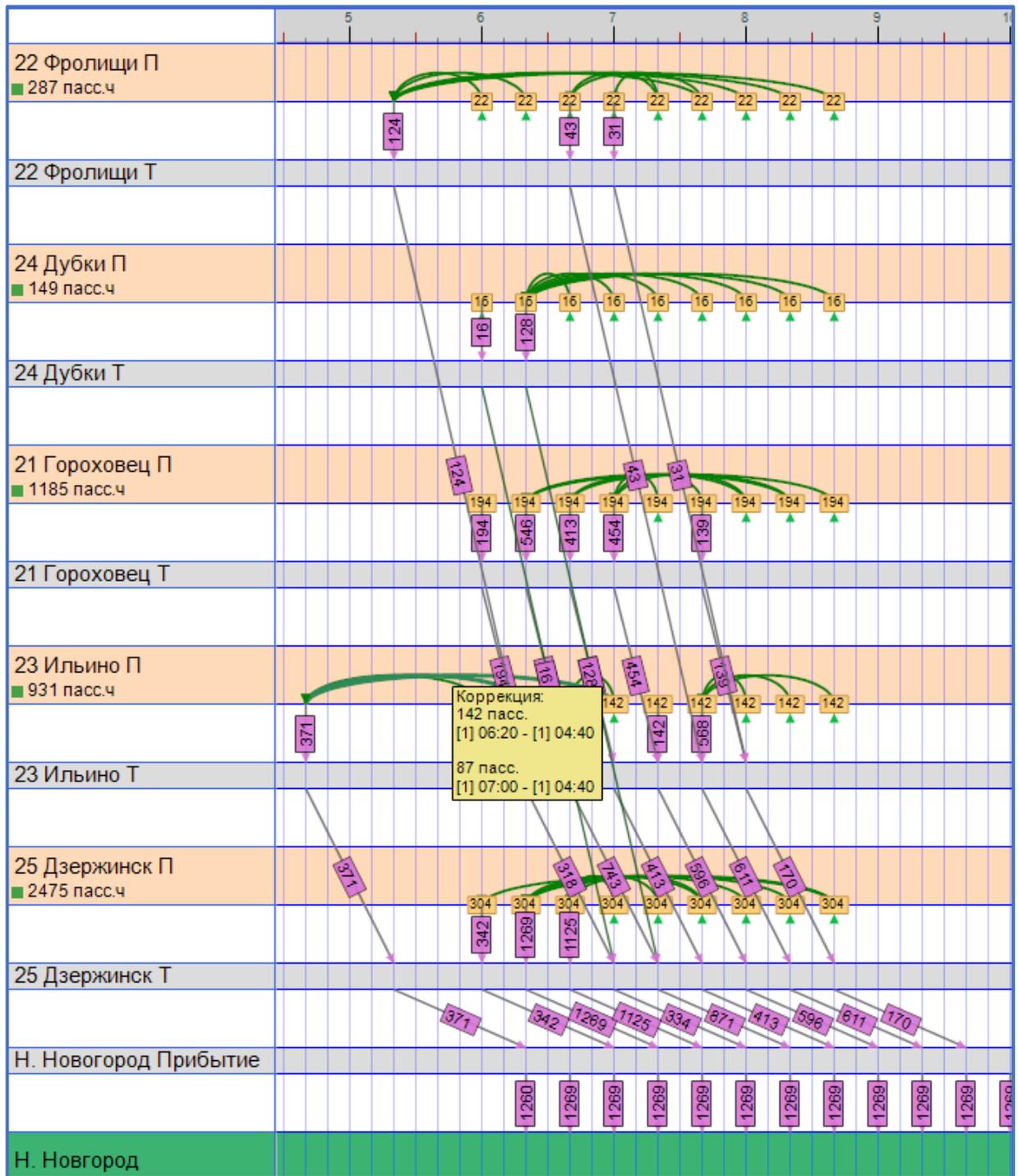


Рисунок 3.36 – Корректировка пассажиропотоков на станциях отправления участка Гороховец – Нижний Новгород

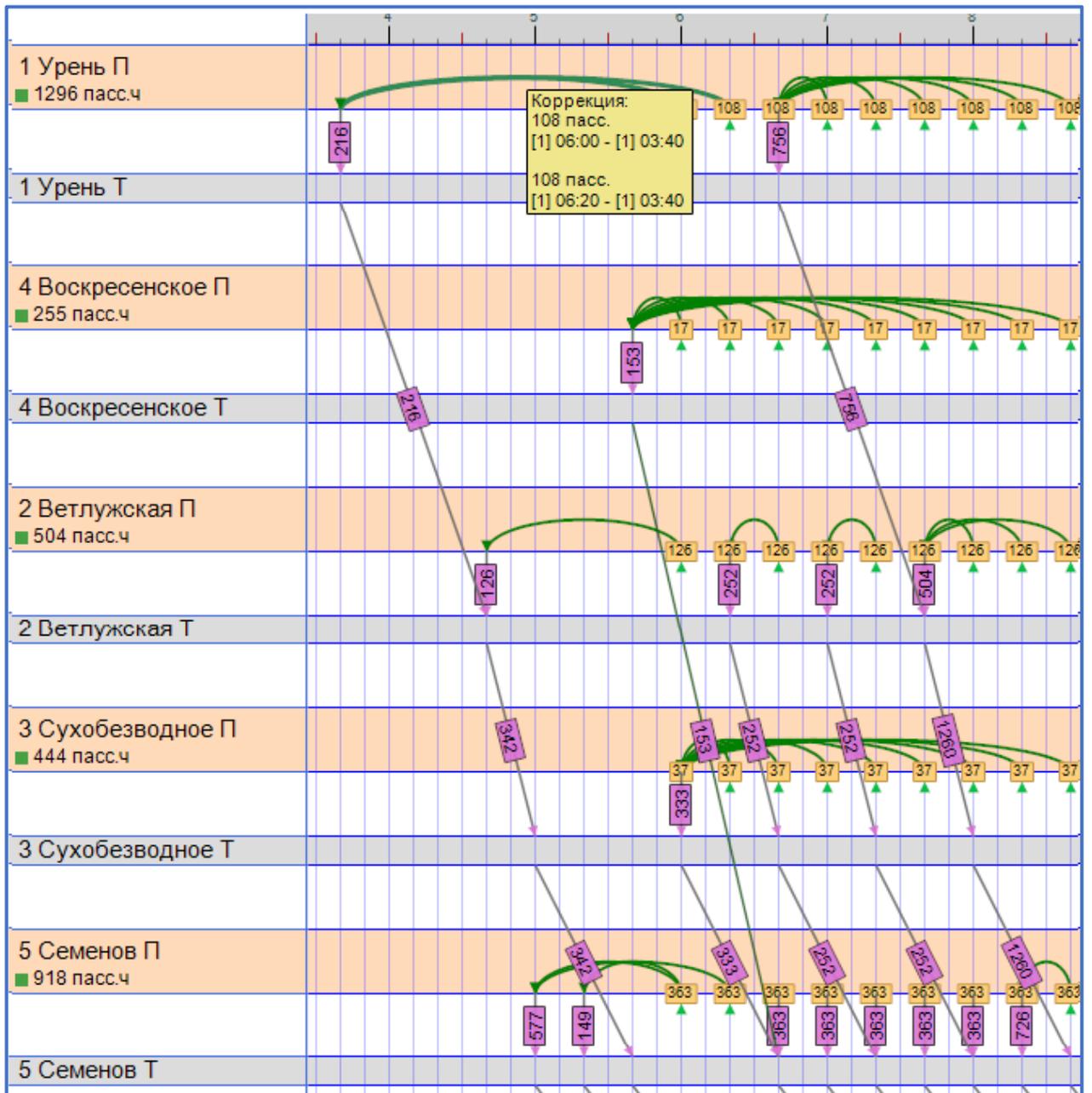


Рисунок 3.37 – Корректировка пассажиропотоков на станциях отправления участка Урень – Нижний Новгород

Наиболее сильная корректировка возникла на направлении Урень – Нижний Новгород. Так как все станции поставлены в равные условия, то модели все равно, на каких станциях изменять ритмы. В результате на дальней станции Урень отправление перенесено на целых 3 ч 49 мин, чтобы за чем-то прибыть в ранние часы на головную станцию. Предполагается, что такая корректировка связана с тем, что с этой станции наиболее длительное время поездки до Нижнего Новгорода – 2 ч 43 мин (а до ближайшей станции Ветлужская – 47 мин). На практике такое решение не разумно. В теории такое решение доказывает, что модель

действительно работает, но для того, чтоб получить наиболее приближенный к реальной жизни вариант, необходимо использовать все возможности модели. Для начала попытаться согласованно организовать зарождающийся и прибывающий пассажиропоток.

3.5. Согласованная организация зарождающегося и прибывающего пассажиропотока

Чтобы избежать переноса отправления пассажиров с удаленных станций на слишком раннее время, отдадим этим станциям приоритет – увеличим стоимость корректировки для этих станций. Корректировка по объему сопоставима (рисунок 3.38), но теперь более рациональна.



Рисунок 3.38 – Размеры корректировки подхода пассажиров на станции отправления при приоритете дальних станций

При таком варианте корректировка времени отправления пассажиров на более ранние часы наблюдается на близко расположенных станциях: Дербинск (рисунок 3.39), Семенов (рисунок 3.40). На станции Семенов корректировки

достигли 5791 пассажиро-час. Частично это может быть связано с тем, что от Воскресенского до Семенова пассажиров подвозит автобус, чтобы далее они ехали пригородным поездом до Нижнего Новгорода.

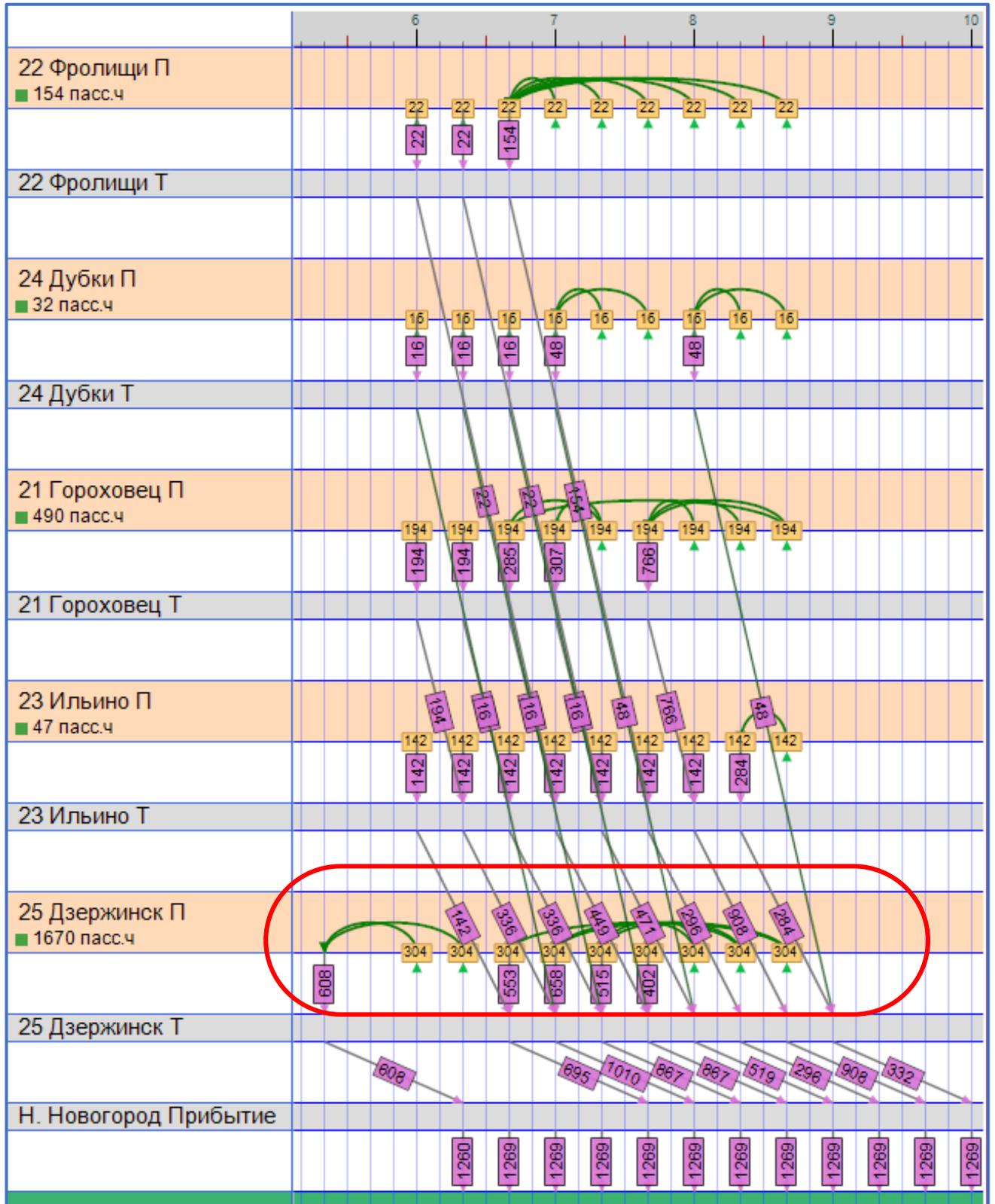


Рисунок 3.39 – Корректировка пассажиропотоков на участке Гороховец – Нижний Новгород при приоритете дальних станций

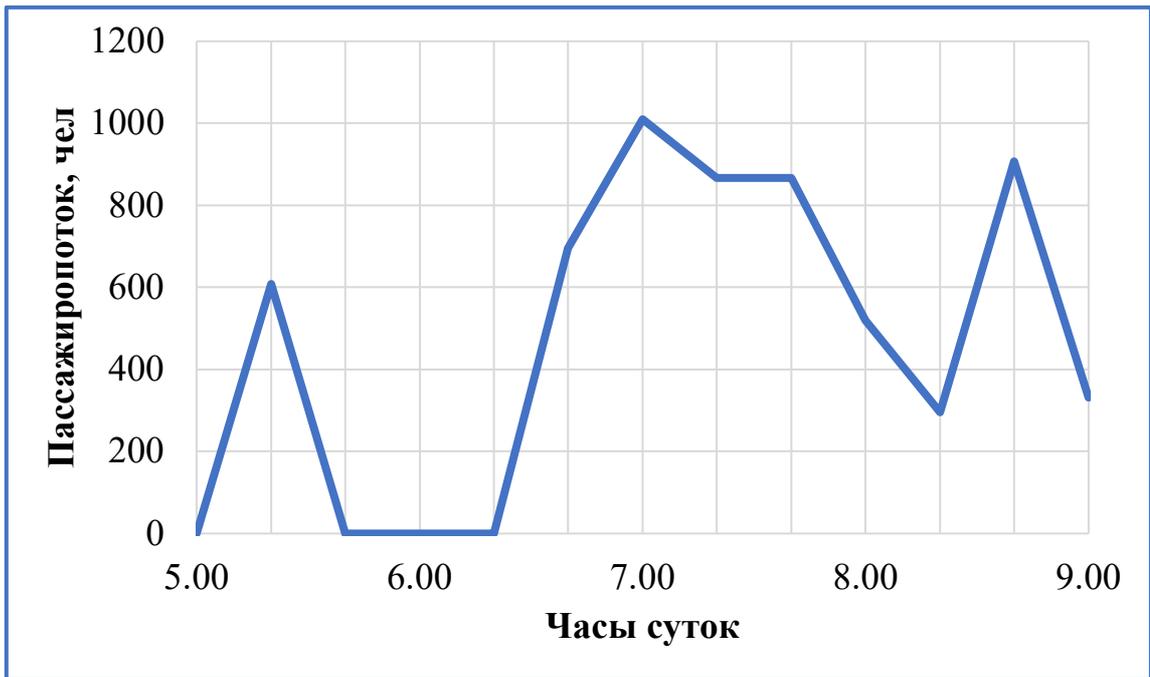


Рисунок 3.41 – Диаграмма отправления пассажиров со станции Дзержинск

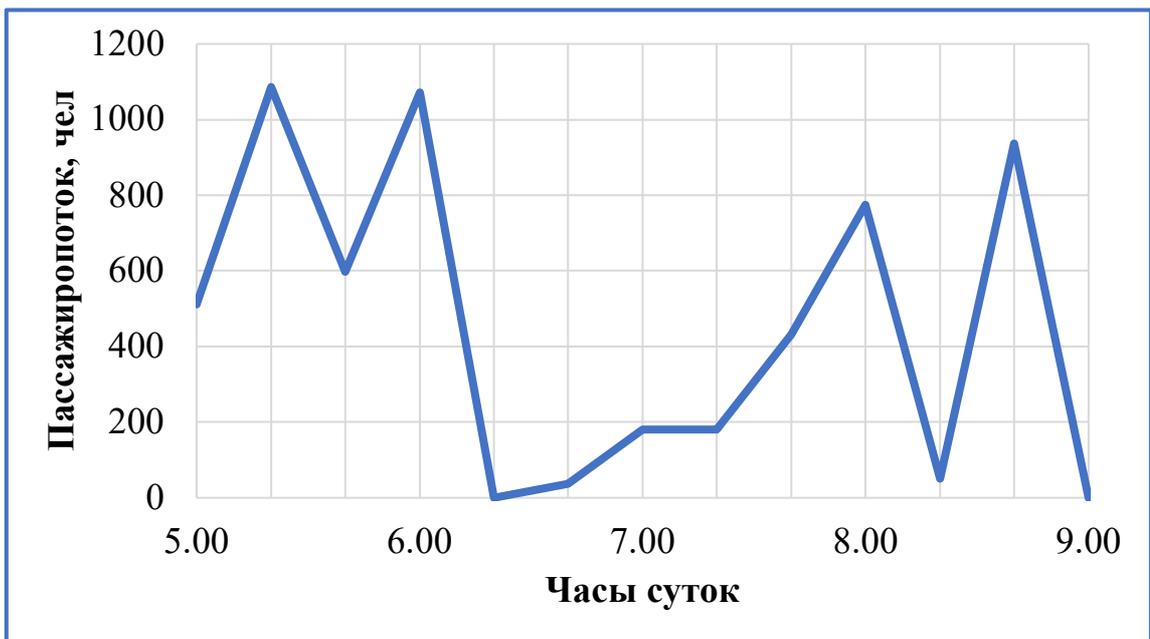


Рисунок 3.42 – Диаграмма отправления пассажиров со станции Семенов

Диаграмма пассажиропотоков по отправлению со станции Дзержинск на рисунке 3.41 приближена к реальной ситуации и демонстрирует «пик» пригородных пассажиропотоков в утренние часы. Однако на диаграмме по станции Семенов на рисунке 3.42 слишком большой всплеск в ранние часы: более 1000 человек в 5 часов утра.

Необходимо совместно применять регулирующие параметры:

- ограничения по пропускным способностям между двумя одноименными станциями П и Т (Урень П – Урень Т);
- стоимости простоя на головной станции Нижний Новгород и станциях зарождения;
- стоимости корректировки на станциях.

Сформируем согласованную модель:

- разрешается очередь на станции Нижний Новгород 200 человек (чтобы условия по прибытии не были слишком жесткие);
- допустимая неравномерность зарождения пассажиропотока – 200 % от среднего равномерного потока;
- корректировка на дальних станциях дороже (чтобы ранние часы прибытия занимали ближние станции).

При таких параметрах суммарная корректировка получается сравнительно небольшая – 2207 пассажиро-часов (рисунки 3.43–3.46).



Рисунок 3.43 – Размеры корректировки подхода пассажиров на станции отправления при согласованной модели

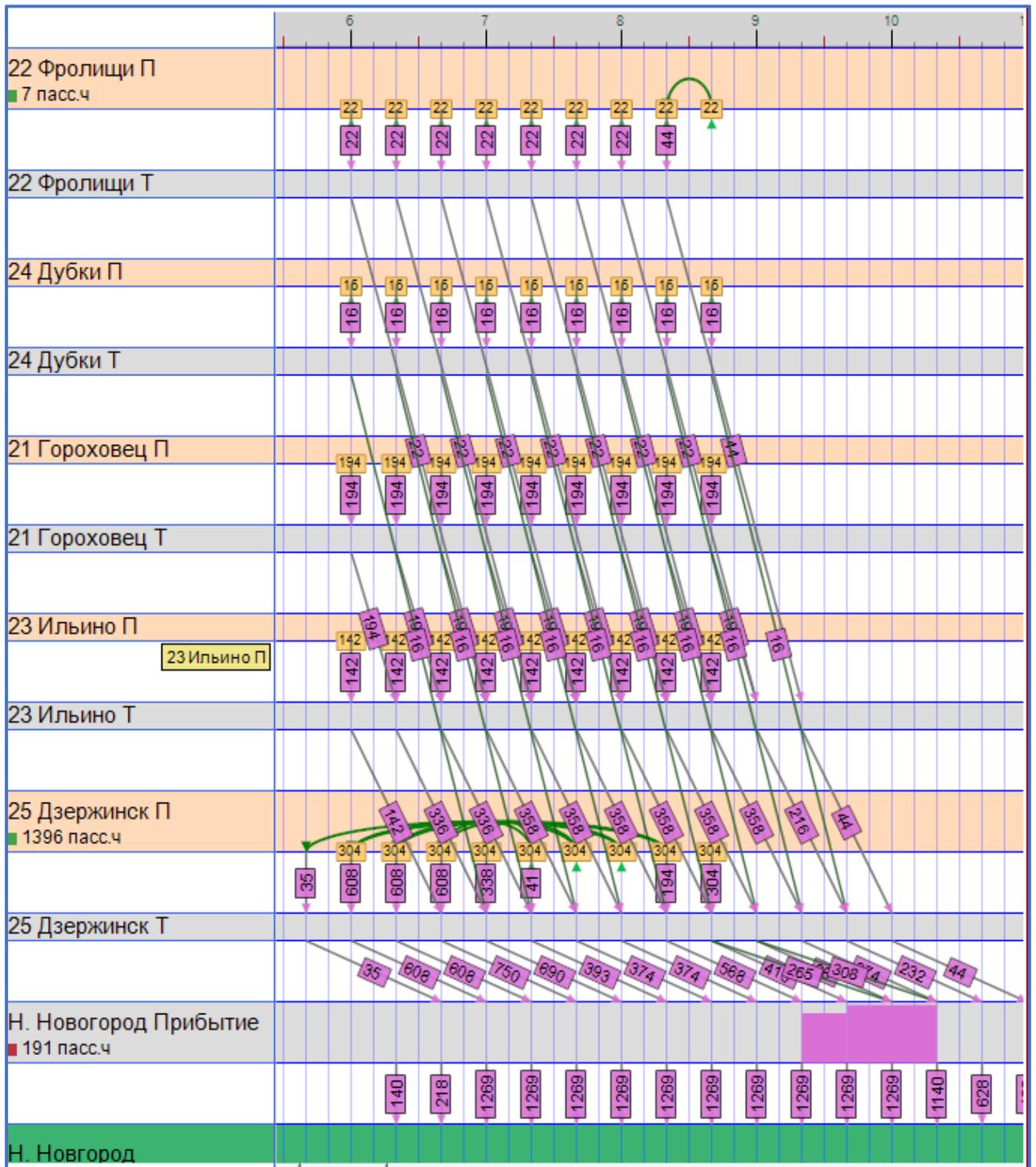


Рисунок 3.44 – Корректировка пассажиропотоков на участке Гороховец – Нижний Новгород при согласованной модели

На участке Гороховец – Нижний Новгород основная корректировка на ближней станции Дзержинск – 1396 пассажиро-часов.

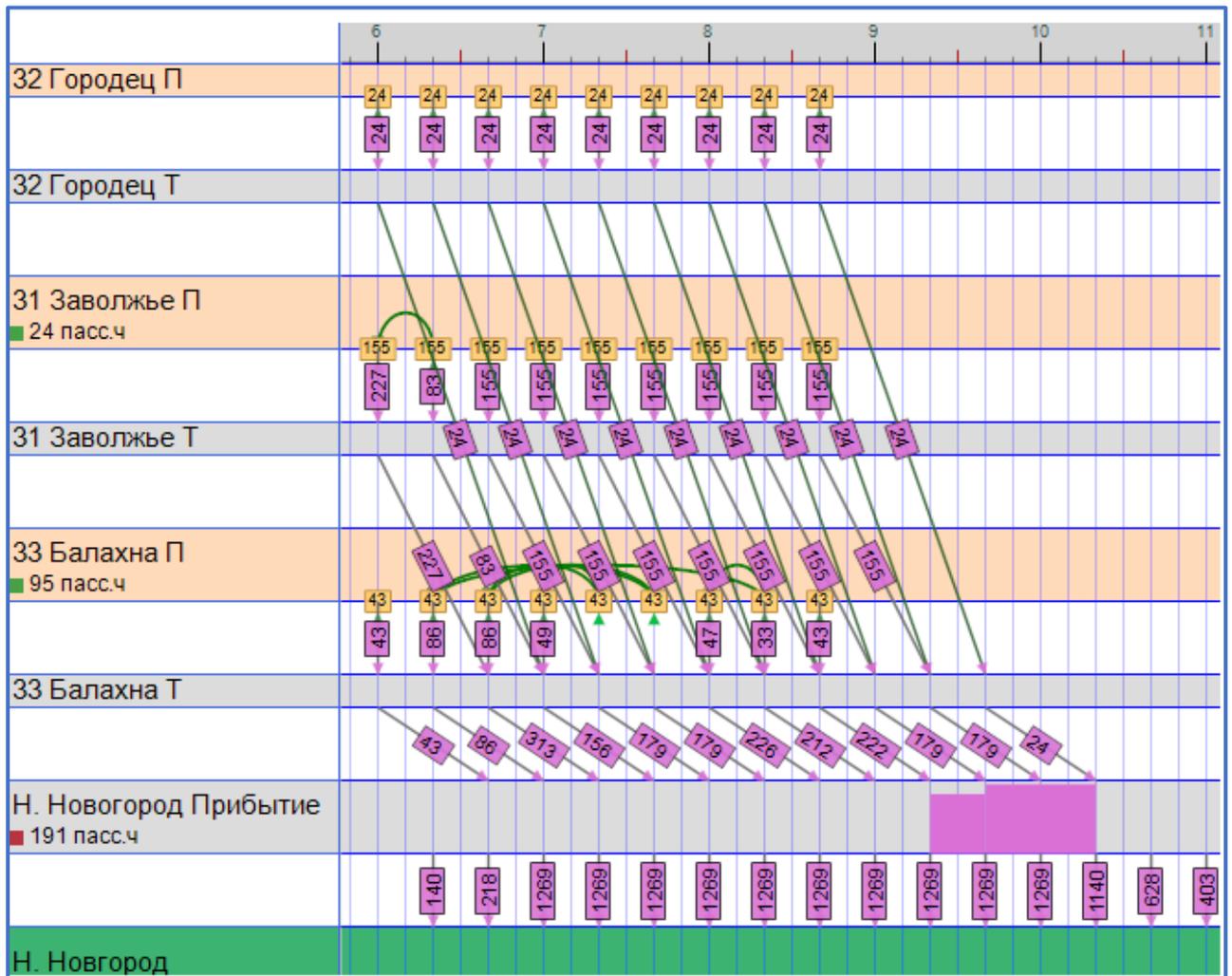


Рисунок 3.46 – Корректировка пассажиропотоков на участке Заволжье – Нижний Новгород при согласованной модели

Наибольшие корректировки по станции Балахна на участке Заволжье – Нижний Новгород вызваны тем, что данная станция является не только станцией отправления подходящих пассажиров, но и станцией отправления пассажиров, пересеживающихся с автотранспорта. Для снижения корректировки необходимо увеличить пропускную способность участка Балахна – Нижний Новгород. Однако поскольку модель учитывает все процессы в динамике, то ограничение очереди по станции прибытия может не дать ожидаемого эффекта. В данном случае при организации пассажиропотока можно в модели обеспечить приоритет выбранного направления.

3.6. Организация пассажиропотока при приоритете одного из направлений

Модель с предоставлением приоритета одному из направлений предназначена для организации пассажиропотока в такой ситуации, когда необходимо обеспечить приоритетное транспортное обслуживание пассажиров одного из направлений, что может быть связано с необходимостью пересадки на другие виды транспорта и т. д.

Для приоритетного направления задается более высокая стоимость корректировки. Значит, на других направлениях корректировка будет больше, им надо подстраиваться, чтобы обеспечить требуемые ритмы прибытия по суммарным потокам на Нижний Новгород. Рассмотрим модель с приоритетом направления Гороховец – Нижний Новгород (рисунки 3.47–3.49).

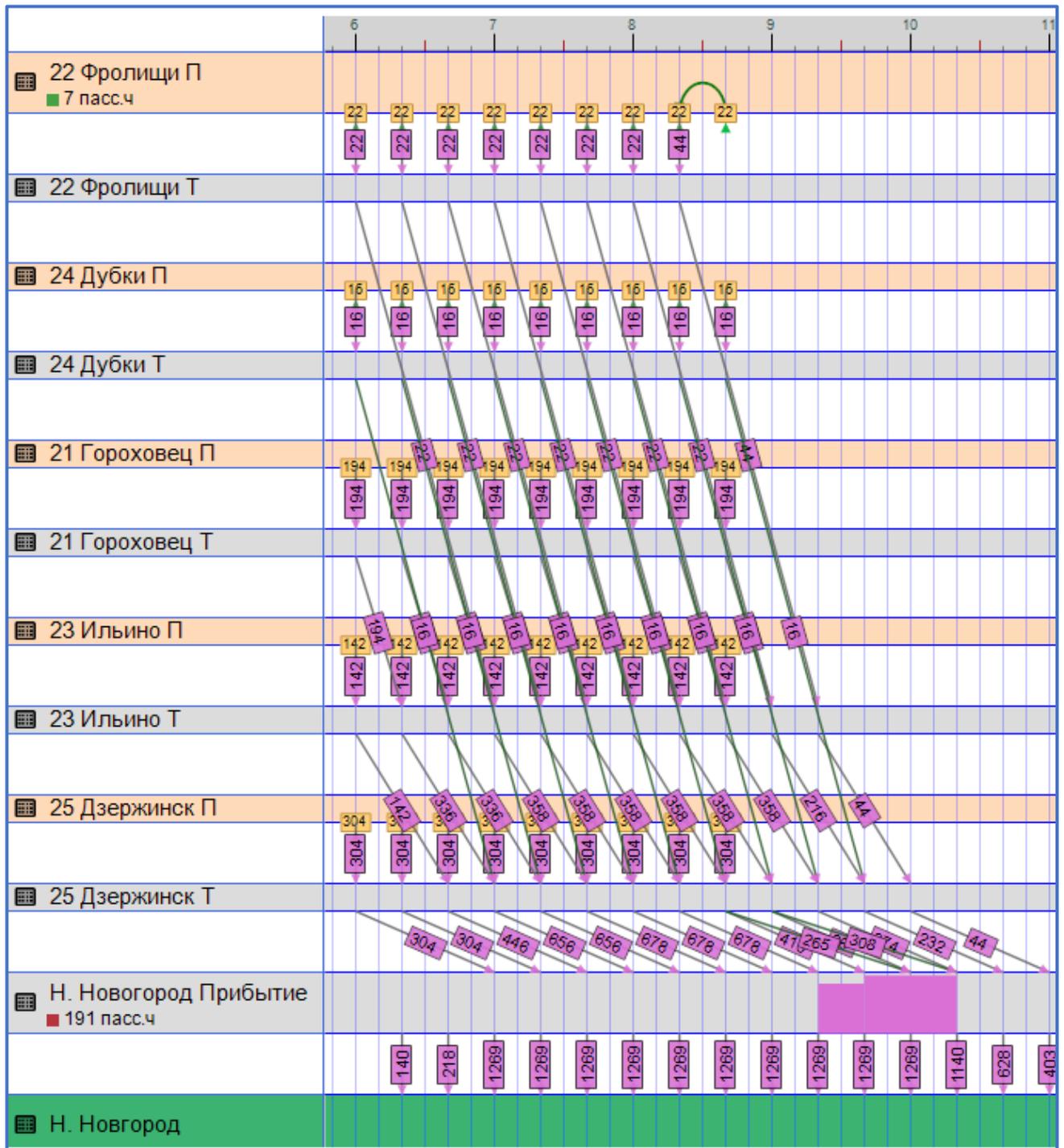


Рисунок 3.47 – Корректировка на приоритетном направлении Гороховец – Нижний Новгород

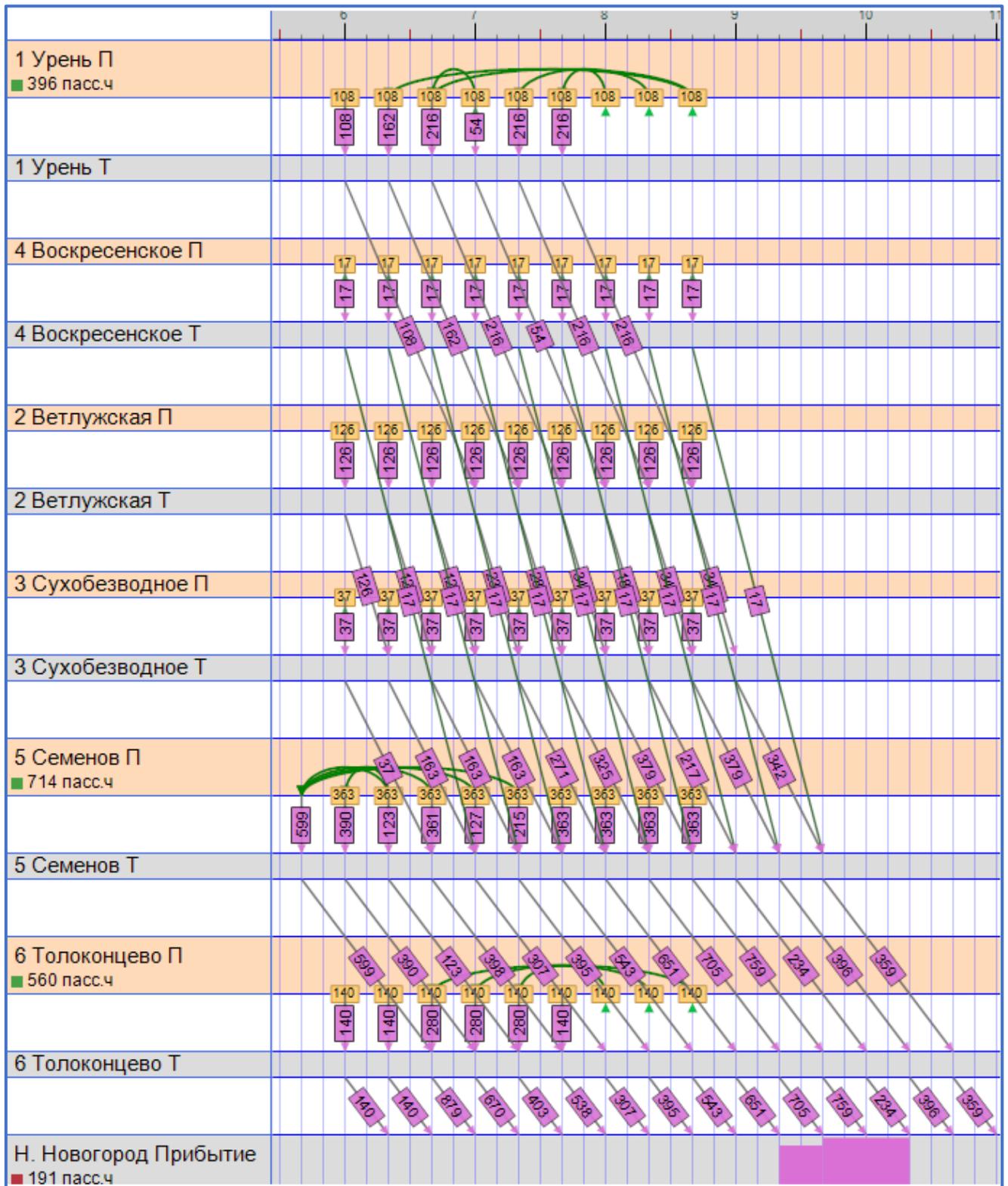


Рисунок 3.48 – Корректировка на направлении Урень – Нижний Новгород при приоритете направления Гороховец – Нижний Новгород

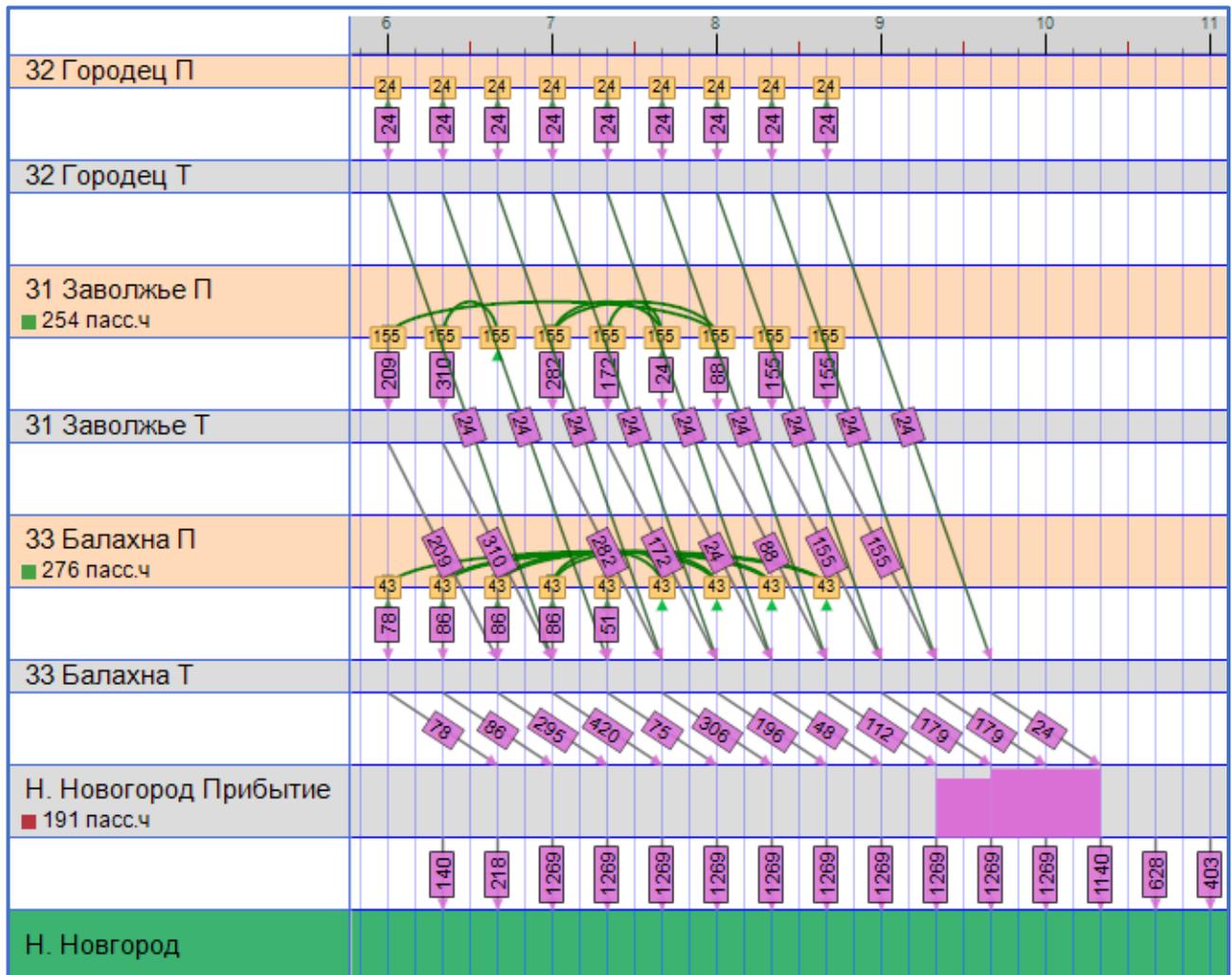


Рисунок 3.49 – Корректировка на направлении Заволжье – Нижний Новгород при приоритете направления Городец – Нижний Новгород

На приоритетном направлении Городец – Нижний Новгород корректировки практически нет. На двух других направлениях корректировки сохранились и даже увеличились. Например, по станции Балахна корректировки увеличиваются с 95 до 276 пассажиро-часов, по станции Семенов – с 98 до 714 пассажиро-часов. Таким образом, проведенный эксперимент показывает, что модель работает и по установке приоритета по направлениям.

Приведенные примеры демонстрируют возможности модели по организации пассажиропотоков на пригородном направлении в зависимости от различных влияющих факторов и ограничений. То есть предлагаемая модель организации пассажиропотока может стать инструментом обеспечения эффективного использования возможностей транспорта с целью максимально качественного удовлетворения потребностей пассажиров в транспортном обслуживании.

Выводы к главе 3

1. Сформулирована практическая задача организации однородного пассажиропотока, разработана технология создания расчетной модели в программном редакторе. Описана технология работы модели организации пригородного пассажиропотока.

2. В компьютерном редакторе МДС создана модель транспортного комплекса Нижегородской агломерации, включая железнодорожный и автотранспорт. На ее примере продемонстрированы возможности оптимизационной модели организации однородного пассажиропотока, а именно проведены серии экспериментов и проанализированы результаты работы модели:

- без применения инструмента организации пассажиропотока;
- при равномерном отправлении пассажиров со станций участков;
- при запрете/ограничении очереди на станции прибытия (на головной станции);
- с корректировкой ритмов отправления пассажиров со станций участка.

3. Проведены эксперименты по организации зарождающегося пассажиропотока, прибывающего на головную станцию пассажиропотока и по согласованной организации зарождающегося и прибывающего пассажиропотока, а также эксперименты по организации пассажиропотока при приоритете одного из направлений.

4. Результаты показали, что модель может быть использована не только для поиска оптимальных решений в работе отдельного вида транспорта, но и как инструмент определения межтранспортного баланса в агломерации.

5. Проведенные с помощью модели организации пассажиропотока эксперименты позволяют сделать вывод о том, что модель работает правильно, учитывает много факторов и активно реагирует на их изменение.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ МНОГОСТРУЙНОГО ПАССАЖИРОПОТОКА

4.1. Постановка проблемы

Как отмечалось в предыдущих главах и в работе [137], на практике пассажиропоток городских агломераций редко можно рассматривать как однородный. Таким образом, на пространственную и временную неравномерность пассажиропотока накладывается его неоднородность, которая заключается в том, что пассажиропоток, следующий по одному маршруту, состоит из различных сегментов. Если в целом говорить об укрупненных сегментах пассажиропотока, то они могут быть дифференцированы по платежеспособности и соответствующим требованиям к параметрам поездки, включая время ее совершения, комфорт и набор услуг в пути следования. Многочисленные исследования, проводимые Всероссийским центром исследования общественного мнения, ОАО «РЖД» и пригородными пассажирскими компаниями, показывают, что пригородный пассажиропоток городских агломераций состоит из следующих укрупненных групп сегментов: рабочие со сменным графиком работы, офисные работники, учащиеся (студенты и школьники), прочие пассажиры.

При этом не только общая величина пассажиропотока является непостоянной и характеризуется пространственной и временной неравномерностью, но и величина отдельных составляющих его сегментов.

Структура пассажиропотока меняется в течение года в зависимости от образующих его сегментов, а также в зависимости от дня недели: в будние дни велика величина сегментов пассажиропотока, совершающих поездки с целью работы и учебы, в выходные дни структура пассажиропотока представлена сменными рабочими и пассажирами, совершающими поездки с целью отдыха.

В свою очередь, в течение суток структура пассажиропотока также неравномерна и представлена несколькими группами пассажиров, предъявляющих различные требования ко времени поездки, ее комфорту, стоимости и другим параметрам. При этом, говоря о времени, подразумевается не только

продолжительность поездки, но и удобные интервалы отправления и прибытия, особенно важен момент прибытия пассажира на конечную станцию назначения. При этом пассажир может предъявлять довольно жесткие требования к этому моменту, то есть пассажир не видит возможности изменить этот момент, но также есть пассажиры, и число их последние годы растет, которые готовы приехать раньше или позже и рассматривают некоторый интервал времени прибытия на станцию назначения.

Такая категория пассажиров, которые совершают на станции назначения пересадки на другие виды транспорта, например, на поезда дальнего следования, естественно не готовы согласиться на изменение времени прибытия, но поскольку это время зависит от транспорта, который выстраивает всю пассажирскую логистику, момент пересадки может быть смещен при соответствующем изменении интегрированных графиков движения. Также меняя в худшую сторону один из значимых для пассажира факторов, необходимо улучшить другие. Так, например, изменяя время поездки на менее удобное, можно снижать цену на поездки в эти временные периоды.

Необходимое пассажиру время прибытия на головную станцию также существенно зависит от времени начала рабочего дня и удаленности места работы (учебы) от головной станции (то есть времени, необходимого чтобы добраться от головной станции до места работы). В зависимости от согласованности расписания движения городского транспорта с расписанием движения пригородных поездов, а также продолжительности пересадки, может меняться интервал прибытия каждого сегмента пассажиропотока. Поскольку пассажиры отправляются с разных станций (то есть время поездки железнодорожным транспортом различно) и величина каждого сегмента пассажиропотока, отправляющегося с различных станций, также различна, задача организации такого многоструйного пассажиропотока многократно усложняется.

Даже среди пассажиров, совершающих поездки с целью работы или учебы, можно выделить несколько сегментов с точки зрения организации пассажиропотока. Это связано с различным временем начала работы на различных

предприятиях: различное время начала смен на производственных объектах (6.00, 8.00, 12.00 и т. д.), различное время начала работы офисных сотрудников (8.00, 8.30, 9.00, 10.00). Время начала учебы у школьников обычно одинаково (8.00–8.30), а вот расписание начала занятий в колледжах и высших учебных заведениях может серьезно различаться. Кроме того, различные предпочтения пассажиров касательно временного периода прибытия на головную станцию могут быть связаны с тем, насколько удалено от вокзала место работы или учебы, то есть учитывается время, необходимое пассажиру на завершение поездки. Так, например, два офисных работника различных компаний, рабочий день которых начинается в 10.00, могут желать прибыть на головную станцию в различное время: один в 9.00, другой в 9.40. Обусловлено это тем, что офис компании первого находится еще почти в часе езды по городу от вокзала, а второго – в непосредственной близости к вокзалу.

Также жестко привязаны к необходимому времени прибытия на головную станцию могут быть поездки, связанные с необходимостью пересадки на самолет или поезд дальнего следования.

Пассажиры, совершающие поездку с иными целями, жестко не привязанными ко времени, вообще могут рассматривать более широкий диапазон прибытия на головную станцию.

В современной системе транспортного обслуживания, ориентированной на клиента, наиболее будет востребовано адресное расписание движения пригородных поездов, в котором каждый пригородный поезд уже запланирован под определенный сегмент многоструйного (неоднородного) пассажиропотока. Причем такое расписание будет иметь важное значение не только для пассажиров, но и для транспорта, потому что при колебаниях величин отдельных сегментов в течение года, можно будет отменять или назначать дополнительные пригородные поезда.

Поэтому на практике для решения более сложного вопроса составления адресного расписания движения пригородных поездов, подстроенного под потребности многоструйного (неоднородного) пассажиропотока, потребуется более детальная технология организации пассажиропотока.

4.2. Описание аппарата оптимизации. Отличия многопродуктовой модели

Для организации многоструйного (неоднородного) пассажиропотока потребуется использовать редактор создания многопродуктовых моделей МДС, в которой в окне задания данных о пассажирах можно задать несколько групп пассажиров (сегментов пассажиропотока), присвоить каждой группе название и цвет, которым будут в дальнейшем отображаться результаты организации пассажиропотока (рисунок 4.1).

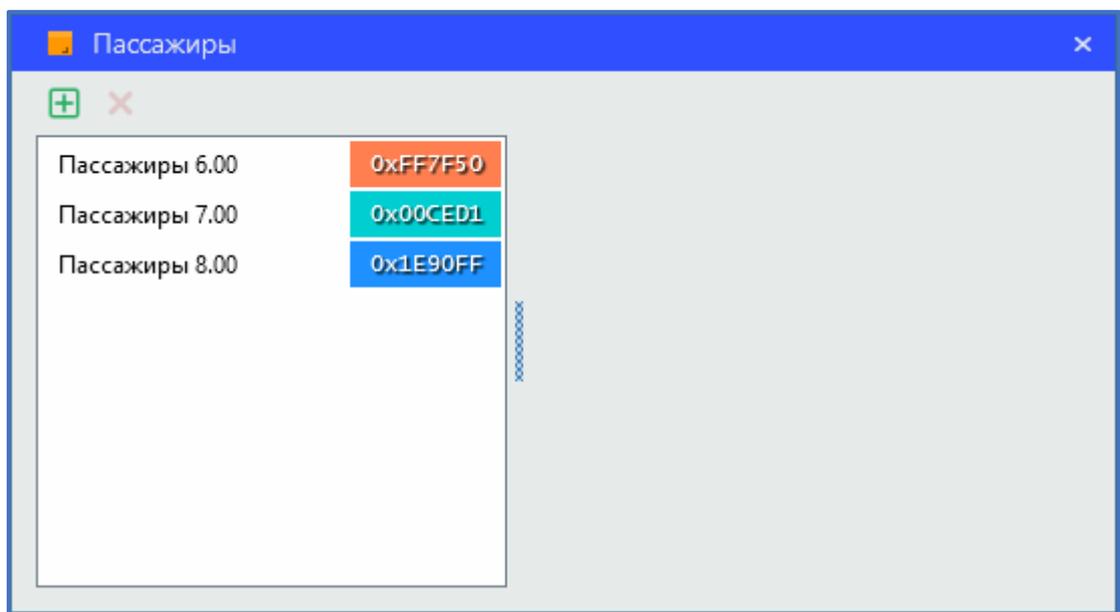


Рисунок 4.1 – Окно задания данных о пассажирах

В окне задания расписаний для станций задаются моменты появления каждой группы пассажиров отдельно (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Окно задания расписания станций отправления

В расписании для головной станции прибытия (Нижний Новгород П) также задаются моменты прибытия и величина пассажиропотока каждого сегмента отдельно (рисунок 4.3).

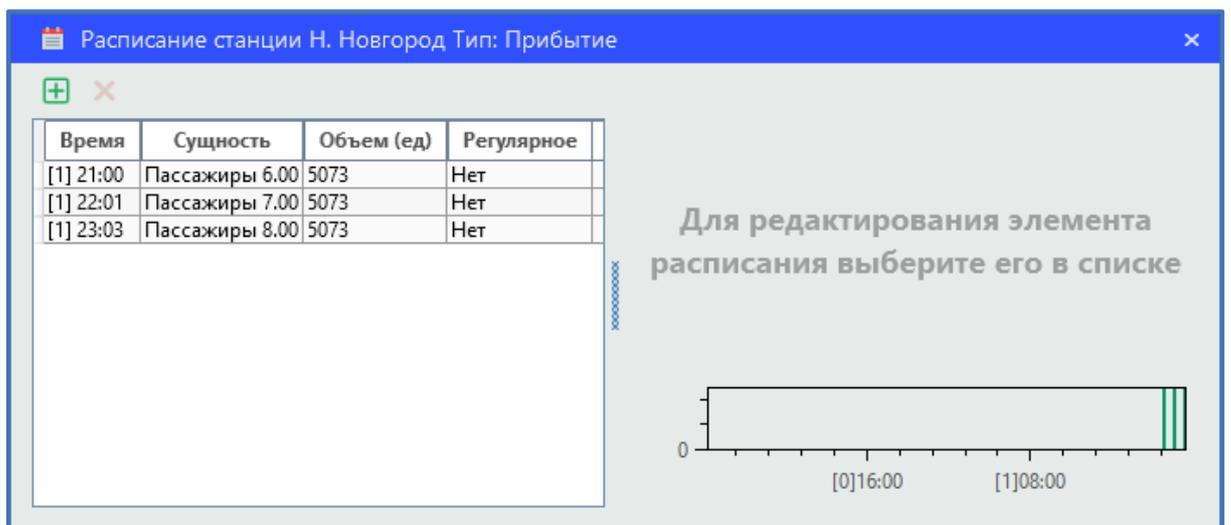


Рисунок 4.3 – Окно задания расписания станции прибытия

В модели предусмотрено изменяемое ограничение на пропускную способность станции прибытия (соединение Нижний Новгород Прибытие – Нижний Новгород). Для этого соединения также задается ограничение для каждой группы (сегмента): группа, объем, временные рамки следования по соединению (рисунок 4.4).

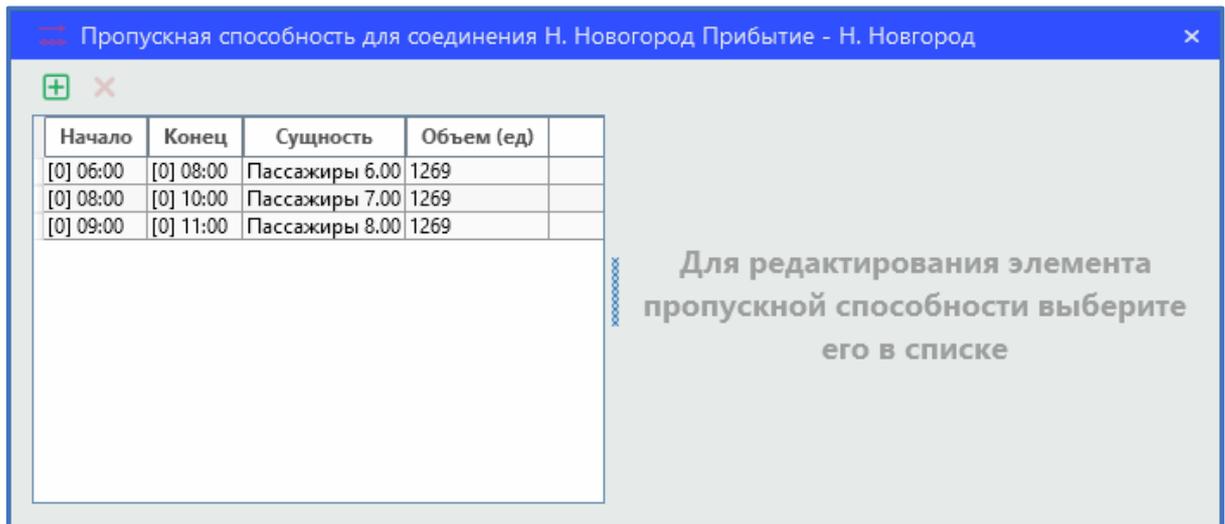


Рисунок 4.4 – Окно задания данных о пропускной способности станции прибытия для различных групп

Временные рамки следования по соединению в модели, задаваемые различными для различных групп (сегментов) пассажиропотока, позволяют учитывать различные маршруты перемещения пассажиров по территории вокзального комплекса, а также пересадки на различные виды городского транспорта, а соответственно различное время, затрачиваемое на ожидание транспорта и пересадку.

В главном окне результатов можно посмотреть корректировки (пассажиро-часы корректировок и ожидания) как суммарные, так и по каждому типу пассажиров отдельно (рисунок 4.5). Выбор «типа пассажиров», то есть сегментов пассажиропотока, осуществляют в выпадающем меню вверху справа.

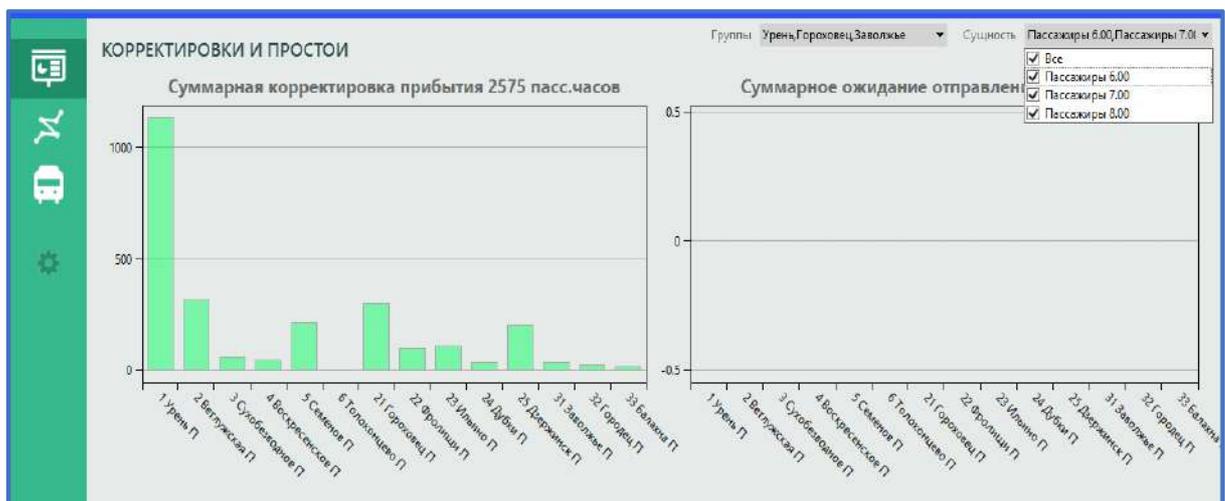


Рисунок 4.5 – Окно результатов корректировок

В настройках можно выбирать «типы пассажиров» в графе «Отображаемые сущности» (рисунок 4.6). Группы выбираются так же, как и в однопродуктовой версии модели. Можно выбрать любую комбинацию линий, и сегментов пассажиропотока.

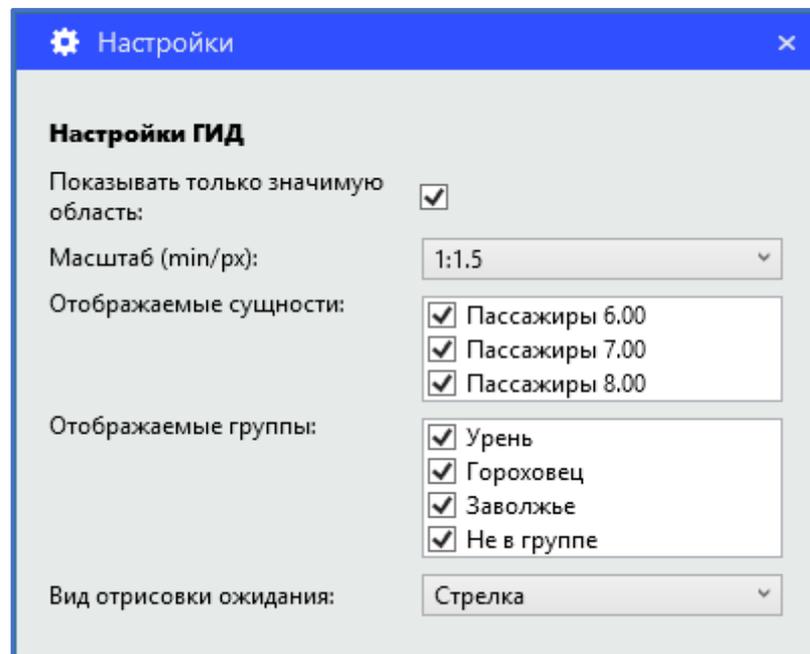


Рисунок 4.6 – Окно настроек

В настройках типы пассажиров различаются цветами. Если на одном соединении в один момент времени было несколько «типов пассажиров», то этот переход рисуется немного по-другому. Слева переход множества типов, справа переход одного типа пассажиров. Цифра на переходе обозначает суммарное число пассажиров на соединении. Цвет очереди в окне вывода результатов расчетов тоже рисуется цветом, привязанным к определенному сегменту пассажиропотока (рисунок 4.7).

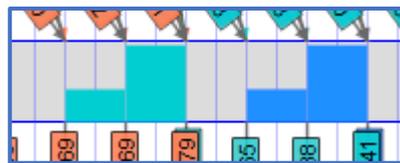


Рисунок 4.7 – Отображение очереди

Модель организации многоструйного пассажиропотока отработана на примере Нижегородской агломерации, как и модель организации однородного пассажиропотока.

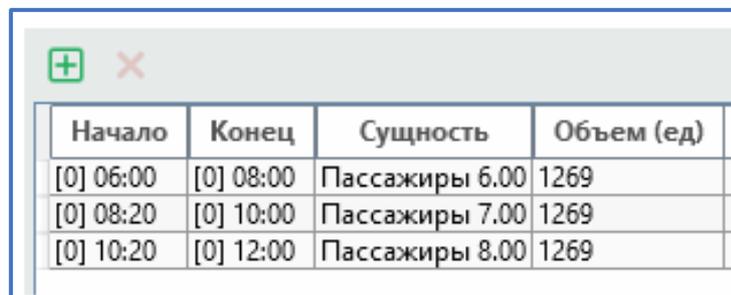
4.3. Апробация многопродуктовой модели на примере Нижегородской агломерации

4.3.1. Организация многоструйного пассажиропотока при непересекающихся периодах времени прибытия пассажиропотоков разных сегментов на головную станцию

Желаемые периоды отправления и прибытия для разных сегментов пассажиропотока могут быть заданы любые. Для примера рассмотрим вариант, когда периоды отправления и прибытия не пересекаются (таблица 4.1, рисунок 4.8).

Таблица 4.1 – Время отправления и прибытия пассажиров

Типа пассажиров (сегмент пассажиропотока)	Отправление	Прибытие
Пассажиры 6.00	6.00 – 7.00	6.00 – 8.00
Пассажиры 7.00	7.00 – 8.00	8.20 – 10.00
Пассажиры 8.00	8.00 – 9.00	10.20 – 12.00



Начало	Конец	Сущность	Объем (ед)
[0] 06:00	[0] 08:00	Пассажиры 6.00	1269
[0] 08:20	[0] 10:00	Пассажиры 7.00	1269
[0] 10:20	[0] 12:00	Пассажиры 8.00	1269

Рисунок 4.8 – Окно задания данных о пассажирах

Для начала установим одинаковые стоимости по всем параметрам без ограничений (рисунки 4.9, 4.10).

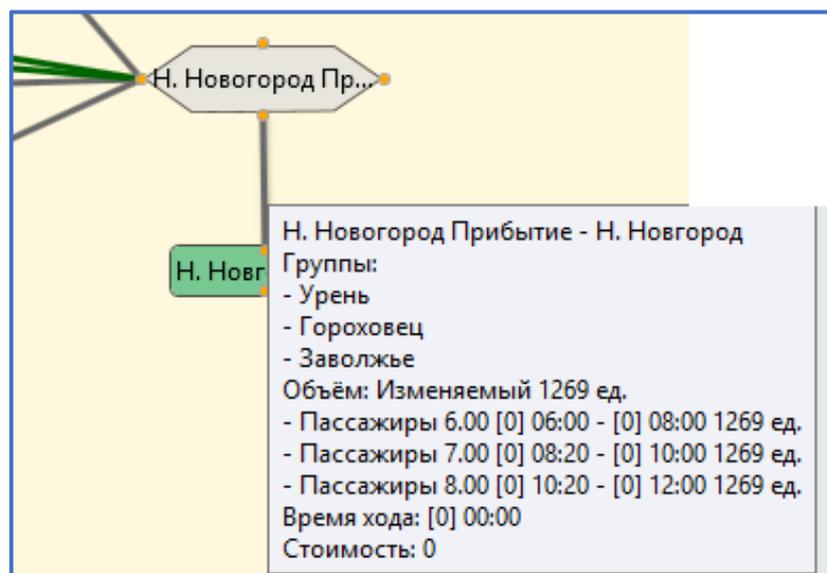


Рисунок 4.9 – Параметры станции прибытия

Тип станции <input type="text" value="Отправление"/>					
Название	Ср. поток в час	Объём хранения	Стоимость хранения	Объём корректировки	Стоимость корректировки
21 Гороховец П	582	9998	40	9998	20
22 Фролищи П	66	9998	40	9998	20
23 Ильино П	426	9998	40	9998	20
32 Городец П	72	9998	40	9998	20
31 Заволжье П	465	9998	40	9998	20
33 Балахна П	129	9998	40	9998	20
24 Дубки П	48	9998	40	9998	20
3 Сухобезводное П	111	9998	40	9998	20
4 Воскресенское П	51	9998	40	9998	20
6 Толоконцево П	420	9998	40	9998	20
5 Семенов П	1089	9998	40	9998	20
25 Дзержинск П	912	9998	40	9998	20
1 Урень П	324	9998	40	9998	20
2 Ветлужская П	378	9998	40	9998	20

Рисунок 4.10 – Параметры станций отправления

Как видно на рисунках 4.9, 4.10 для моделирования заданы равные условия для всех сегментов пассажиропотока, для всех станций и участков, отсутствуют какие-либо приоритеты. Единственным необходимым для выполнения условием являются временные периоды отправления и прибытия различных сегментов пассажиропотока. Результаты моделирования в части корректировки времени прихода пассажиров на станции отправления можно просмотреть как в целом по всем станциям и сегментам (рисунок 4.11), так и отдельно по каждому сегменту пассажиропотока (рисунок 4.12), либо отдельно по каждой пригородной линии (рисунки 4.13, 4.14).



Рисунок 4.11 – Общая корректировка по всем трем линиям, все струи пассажиров



Рисунок 4.12 – Корректировка пассажиропотоков, отправляющихся в период 6.00–7.00 со станций всех линий



Рисунок 4.13 – Общая корректировка всех сегментов пассажиропотоков на участке Урень – Нижний Новгород

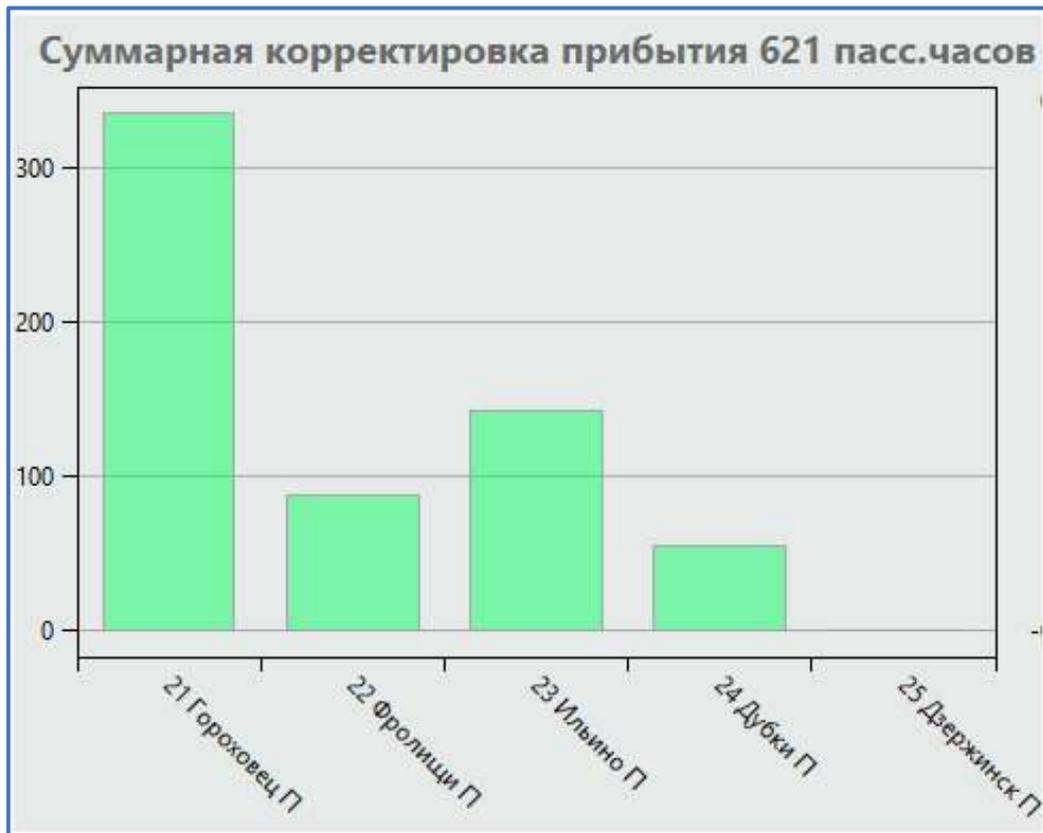


Рисунок 4.14 – Общая корректировка всех сегментов пассажиропотоков на участке Гороховец – Нижний Новгород

В окне отображения общих результатов моделирования различные сегменты пассажиропотоков отображаются различными, присвоенными им при задании исходных данных, цветами, что позволяет отследить какие пассажиропотоки наиболее подвержены корректировкам (рисунок 4.15).

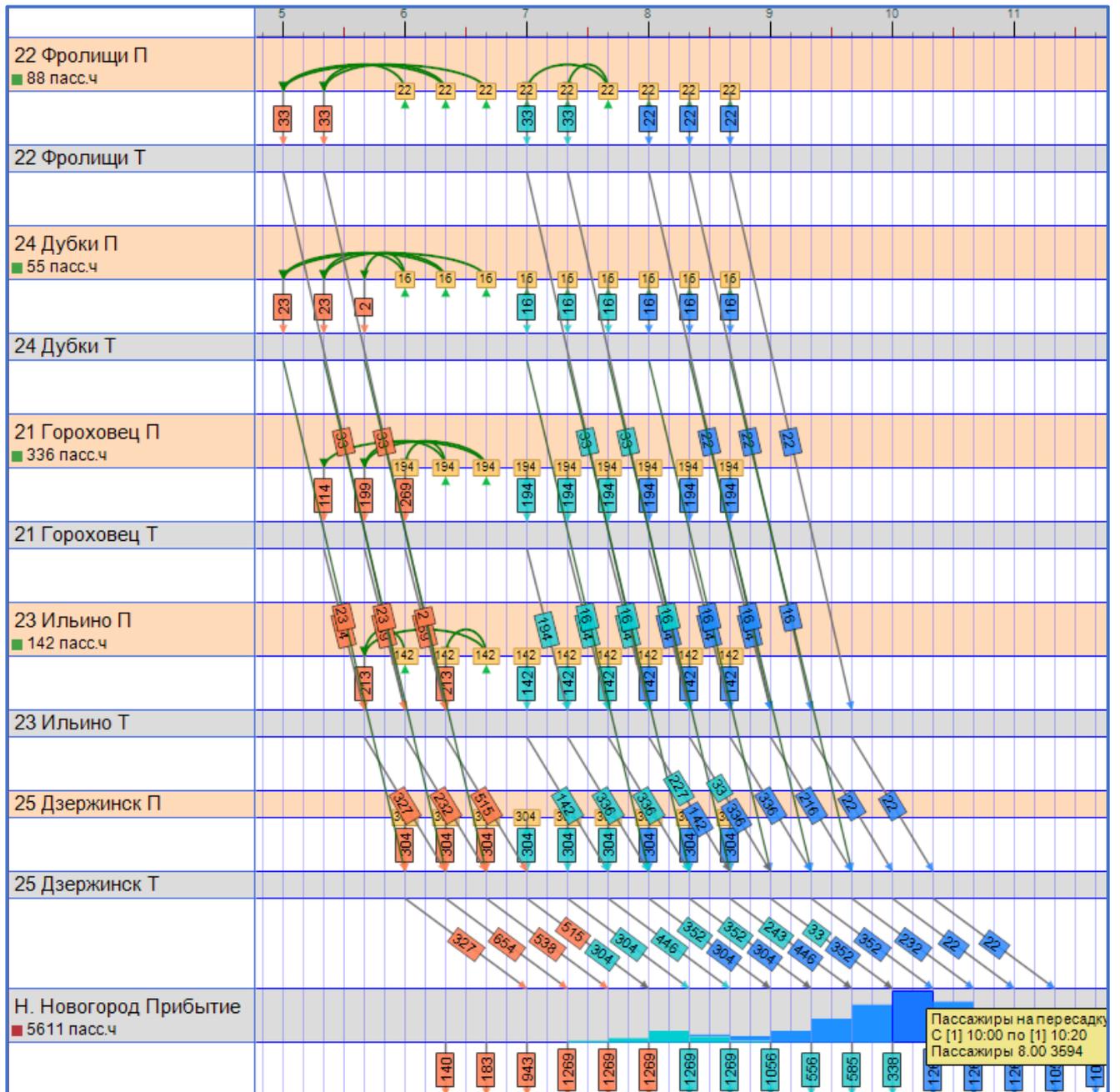


Рисунок 4.15 – Корректировка пассажиропотоков по сегментам на участке Гороховец – Нижний Новгород

На рисунке 4.15 видно, что очередь на Нижнем Новгороде достигает 3594 человека и состоит в основном из пассажиров, отправляющихся в период 8.00–9.00 (рисунок 4.16). При этом наибольшей корректировке подвержены пассажиропотоки, отправляющиеся в период 6.00–7.00.

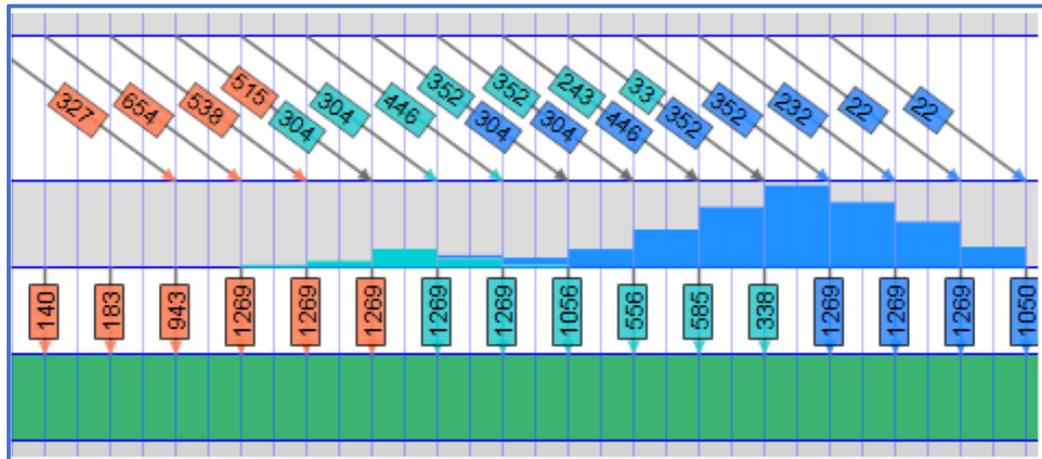


Рисунок 4.16 – Общая очередь на станции прибытия Нижний Новгород

Такая ситуация вполне закономерна, вытекает из исходных данных и доказывает правильность работы модели. Поскольку для пассажиров периода 6.00–7.00 задан период прибытия на головную станцию 6.00 – 8.00, при этом время следования от удаленных станций превышает 1 час (от станции Заволжье – 78 минут, от ст. Городец – 90 минут, от ст. Гороховец 91 мин., а от ст. Урень 163 – мин.), то модель вполне логично переносит время отправления этих пассажиров на более ранний период (начиная с 5.00), чтобы пассажиры успели прибыть на станцию Нижний Новгород в заданный период.

Для пассажиров, отправляющихся с 7.00 до 8.00, задан меньший по продолжительности на 20 минут период прибытия на головную станцию 8.20 – 10.00, однако этот период сдвинут на 20 минут относительно периода отправления и не пересекается с ним, в отличие от предыдущего периода – это объясняет, что корректировки для этого сегмента пассажиропотока небольшие и очередь на головной станции возникает сравнительно небольшая 601 пассажиро-час (рисунок 4.17). И, наконец, для пассажиров, отправляющихся с 8.00 до 9.00, период прибытия на головную станцию сдвинут на 1 час 20 (с 10.0 до 12.00), что позволяет всем пассажирам отправляться равномерно, но при этом на станции прибытия Нижний Новгород возникает очередь.

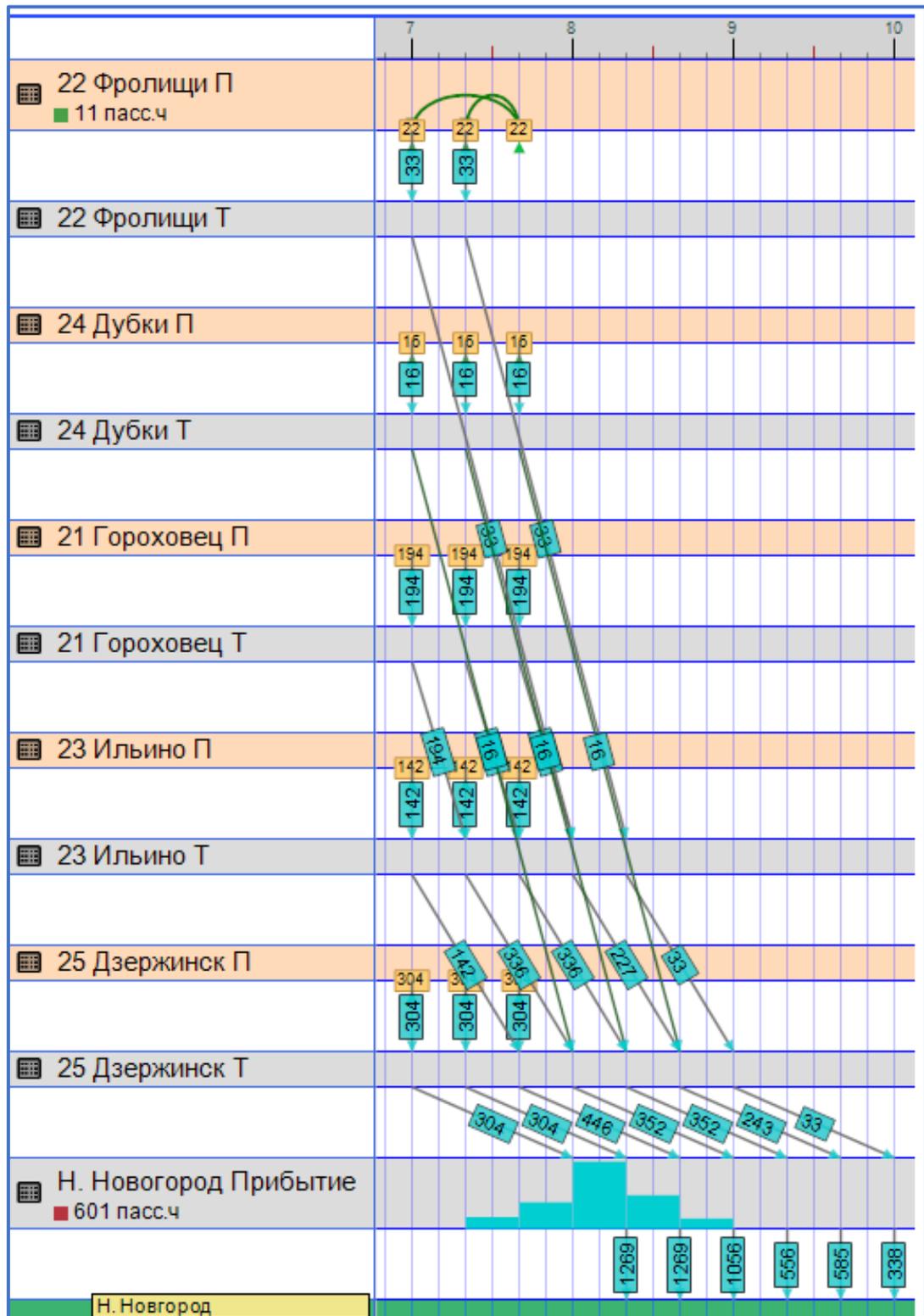


Рисунок 4.17 – Результаты организации пассажиропотока, отправляющегося в период 7.00–8.00, на участке Гороховец – Нижний Новгород

Проведем моделирование пассажиропотока при ограничении очереди на станции прибытия Нижний Новгород до 500 человек. Суммарная корректировка пассажиропотока не изменилась: была 2295 пассажиро-часов, а стала – 2294

(рисунок 4.18), но появилось ожидание на станциях отправления 3738 пассажиро-часов (рисунок 4.19).



Рисунок 4.18 – Общая корректировка пассажиропотоков на станциях отправления



Рисунок 4.19 – Суммарное ожидание по станциям отправления

Проанализируем полученные результаты на примере участка Гороховец – Нижний Новгород (рисунок 4.20).

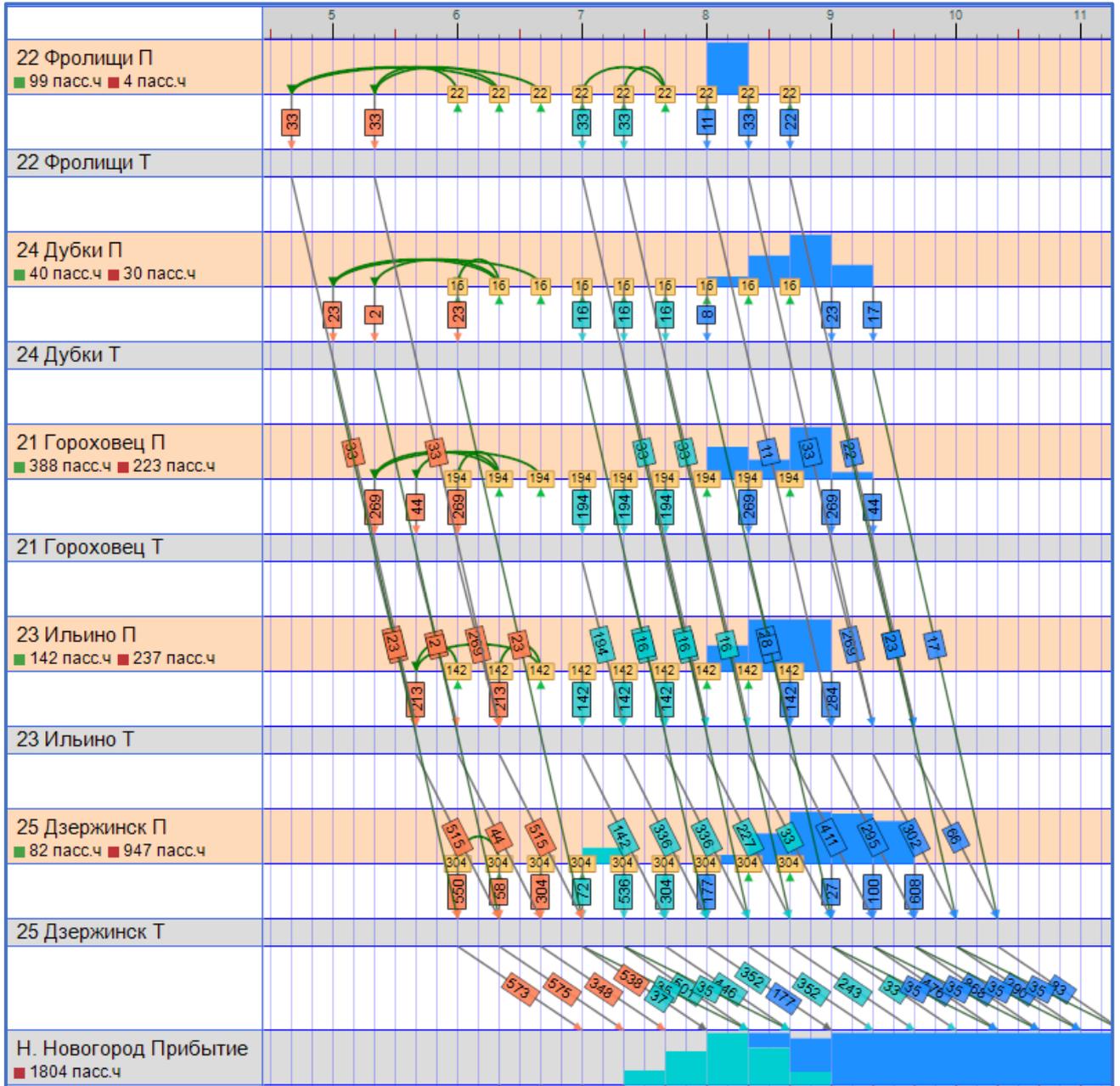


Рисунок 4.20 – Организация многоструйного (неоднородного) пассажиропотока на участке Гороховец – Нижний Новгород

Поскольку периоды отправления и прибытия пассажиров не изменились, то в первом периоде (рисунок 4.21) остались значительные корректировки, чтобы пассажиры успели прибыть на головную станцию в заданный период времени.

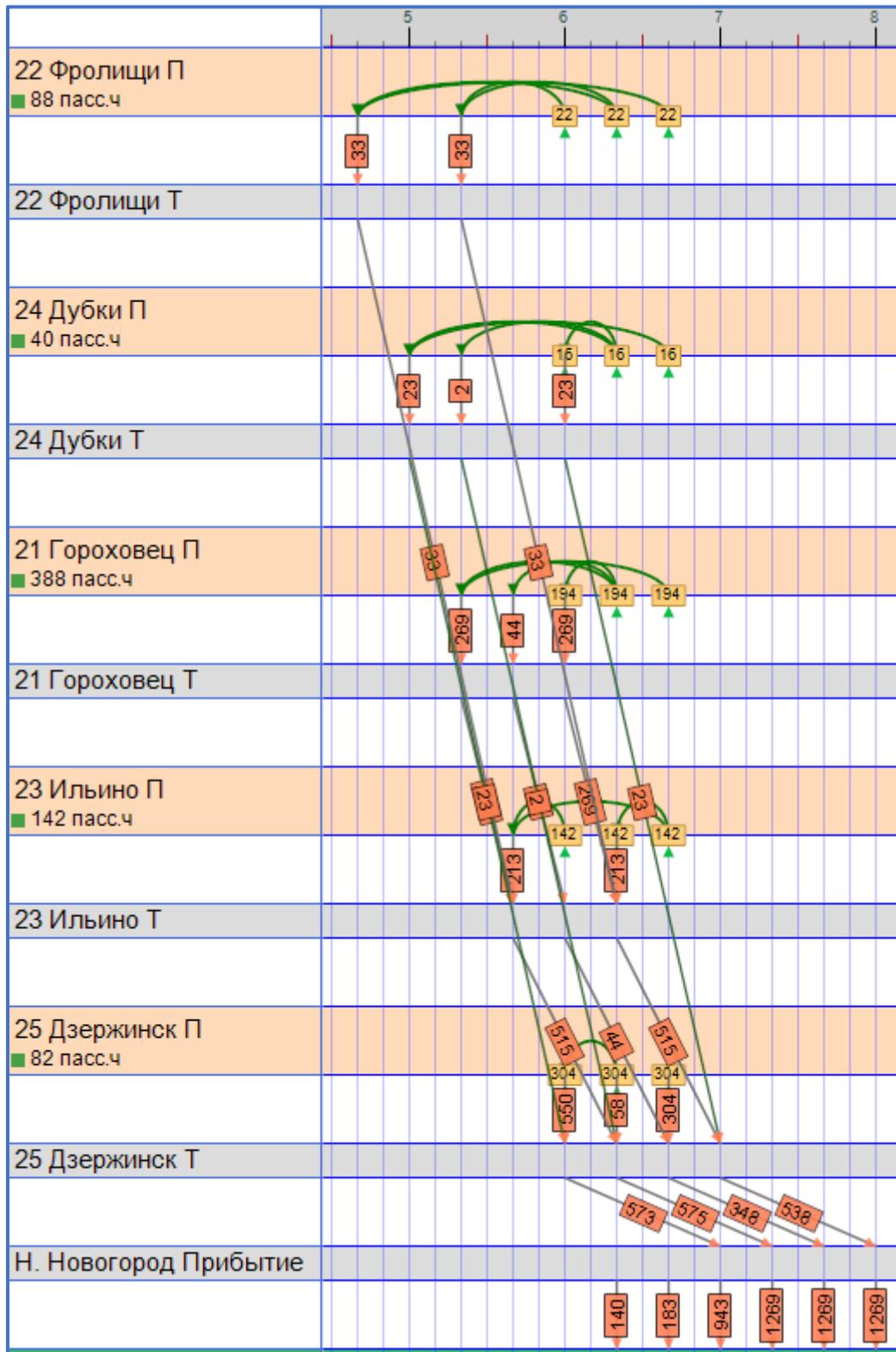


Рисунок 4.21 – Корректировка пассажиропотока, отправляющегося в период 6.00–8.00, на участке Гороховец – Нижний Новгород

При ограничении очереди на головной станции ожидание модель перенесла на станции отправления – возникли очереди на них, особенно в последний период (рисунок 4.22).

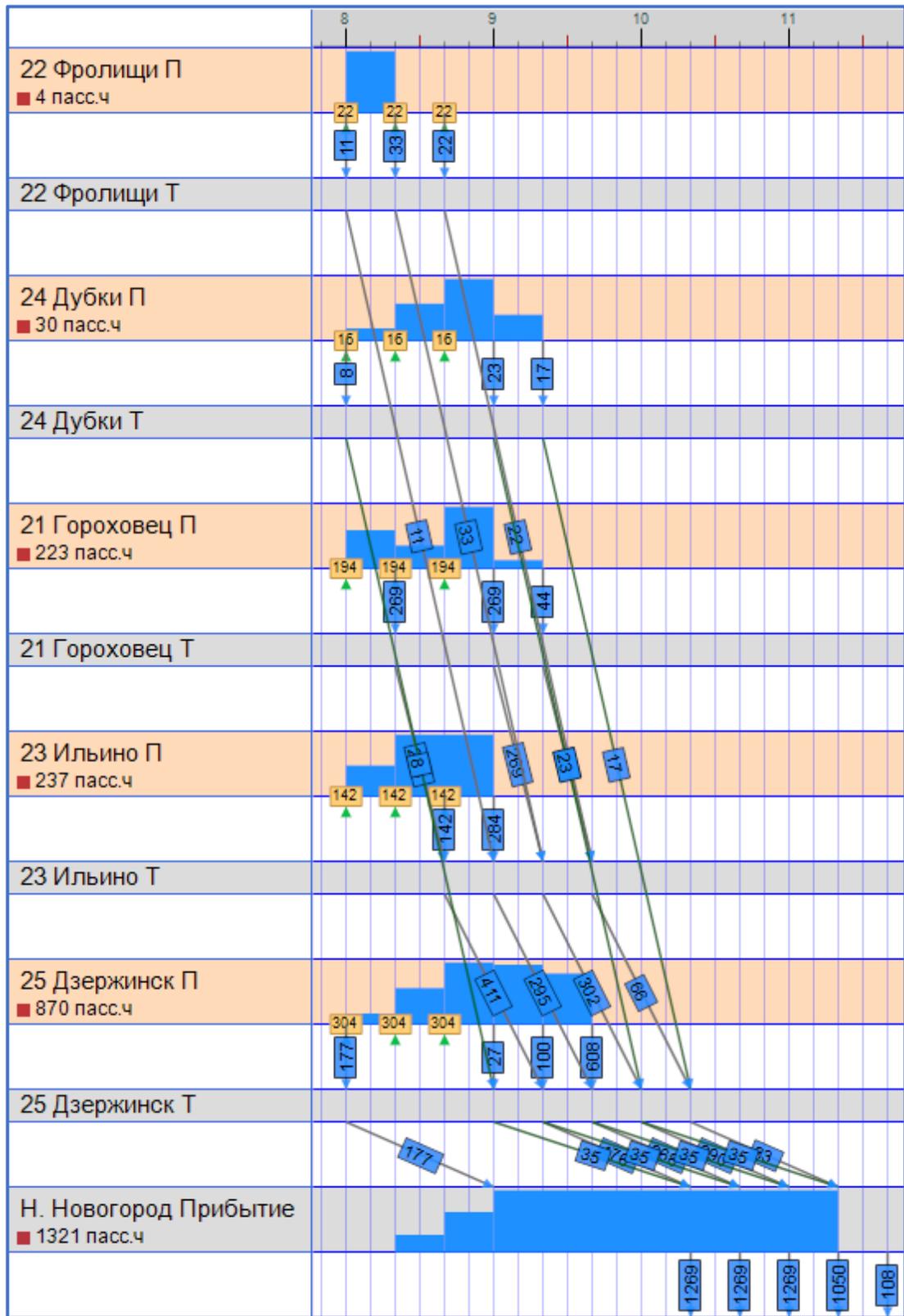


Рисунок 4.22 – Простои на станциях отправления для пассажиров, отправляющихся в период 8.00–9.00

Чтобы избежать очередей на станциях отправления, можно «включить» корректировки «вперед», то есть пассажиры будут просто позже приходить, а не

ждать на станции (рисунок 4.23). При этом период отправления некоторых пассажиров переносится на более позднее время – после 9.00.

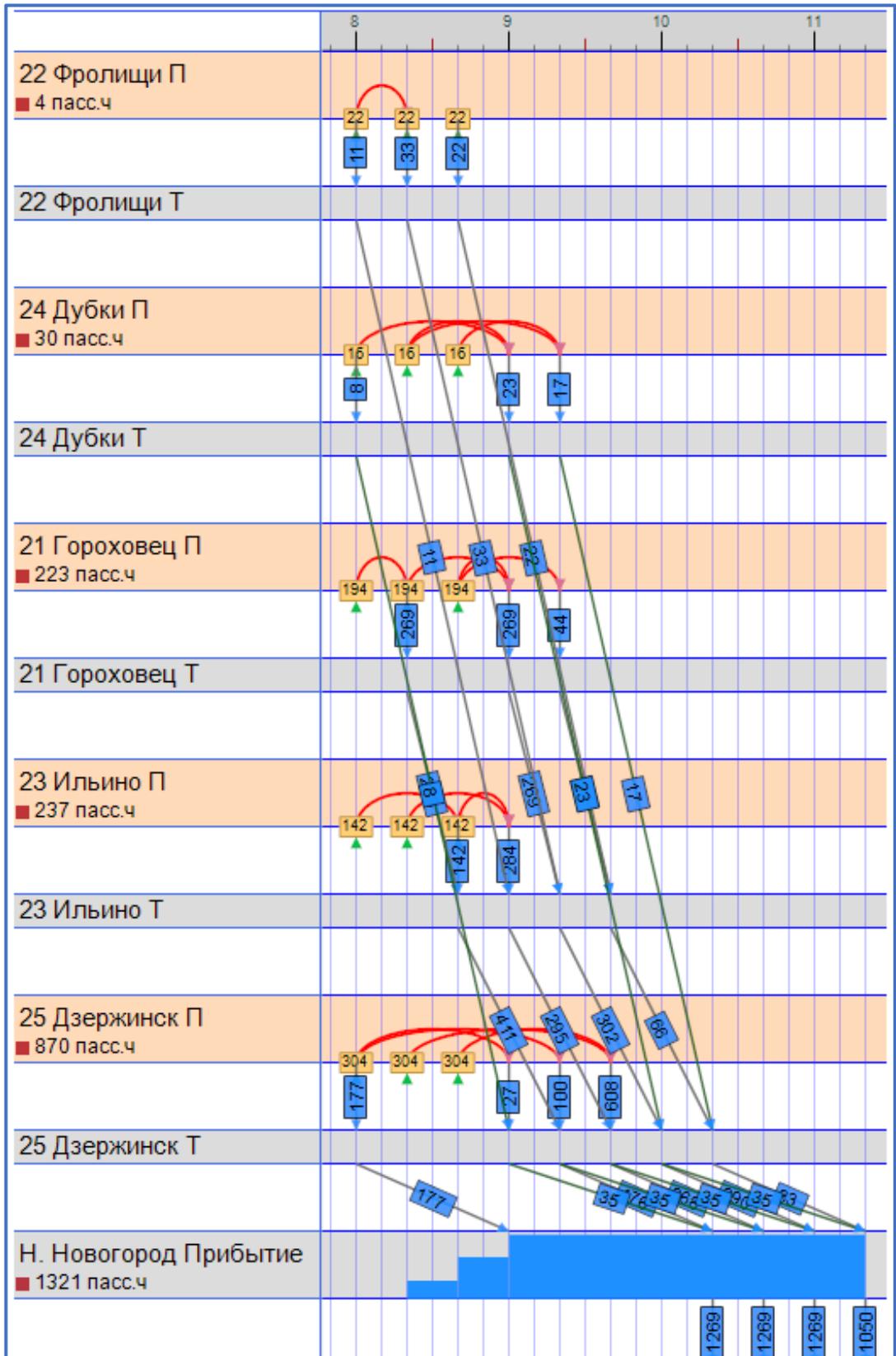


Рисунок 4.23 – Корректировка пассажиропотока, отправляющегося в период 8.00–9.00, на участке Гороховец – Нижний Новгород

Получается, что станция прибытия Нижний Новгород работает неравномерно: в начальные периоды пассажиры могут проходить свободно (при этом они испытывают неудобства, связанные с необходимостью раннего отправления), а после 8.00 станция не справляется с прибывающим пассажиропотоком и создается очередь, даже при допущении корректировки времени отправления пассажиров. Следовательно, попробуем изменить временные периоды и сделать их более гибкими для организации пассажиропотока.

4.3.2. Организация многоструйного пассажиропотока при пересекающихся периодах времени прибытия пассажиропотоков разных сегментов на головную станцию

Допустим пересечение необходимых периодов прибытия пассажиров на головную станцию (таблица 4.2), что в значительной степени может быть и на практике. Как уже было описано выше, пассажиры по прибытию на головную станцию далее могут различное по продолжительности время (от нескольких минут до нескольких часов) следовать к конечному пункту назначения. Значит, могут иметь необходимость в различное время прибыть на головную станцию. Также пассажиры могут иметь возможность или необходимость различное время потратить на поездку, что сейчас мы можем видеть на примере курсирования на одном направлении обычных пригородных поездов и скорых пригородных поездов (экспрессов).

Таблица 4.2 – Время отправления и прибытия пассажиров

«Типы пассажиров» (сегмент пассажиропотока)	Отправление	Прибытие
Пассажиры 6.00	6.00 – 7.00	6.00 – 9.00
Пассажиры 7.00	7.00 – 8.00	8.00 – 11.00
Пассажиры 8.00	8.00 – 9.00	9.00 – 12.00

Для начала зададим равные для всех сегментов пассажиропотока стоимости в очередях. Исключим ограничения на корректировку. Допустимую очередь на

Нижем Новгороде зададим 500 пассажиров. На примере участка Гороховец – Нижний Новгород видно, что при таких условиях корректировки сократились, а очереди перераспределились между станциями и сегментами пассажиропотока (рисунок 4.24).

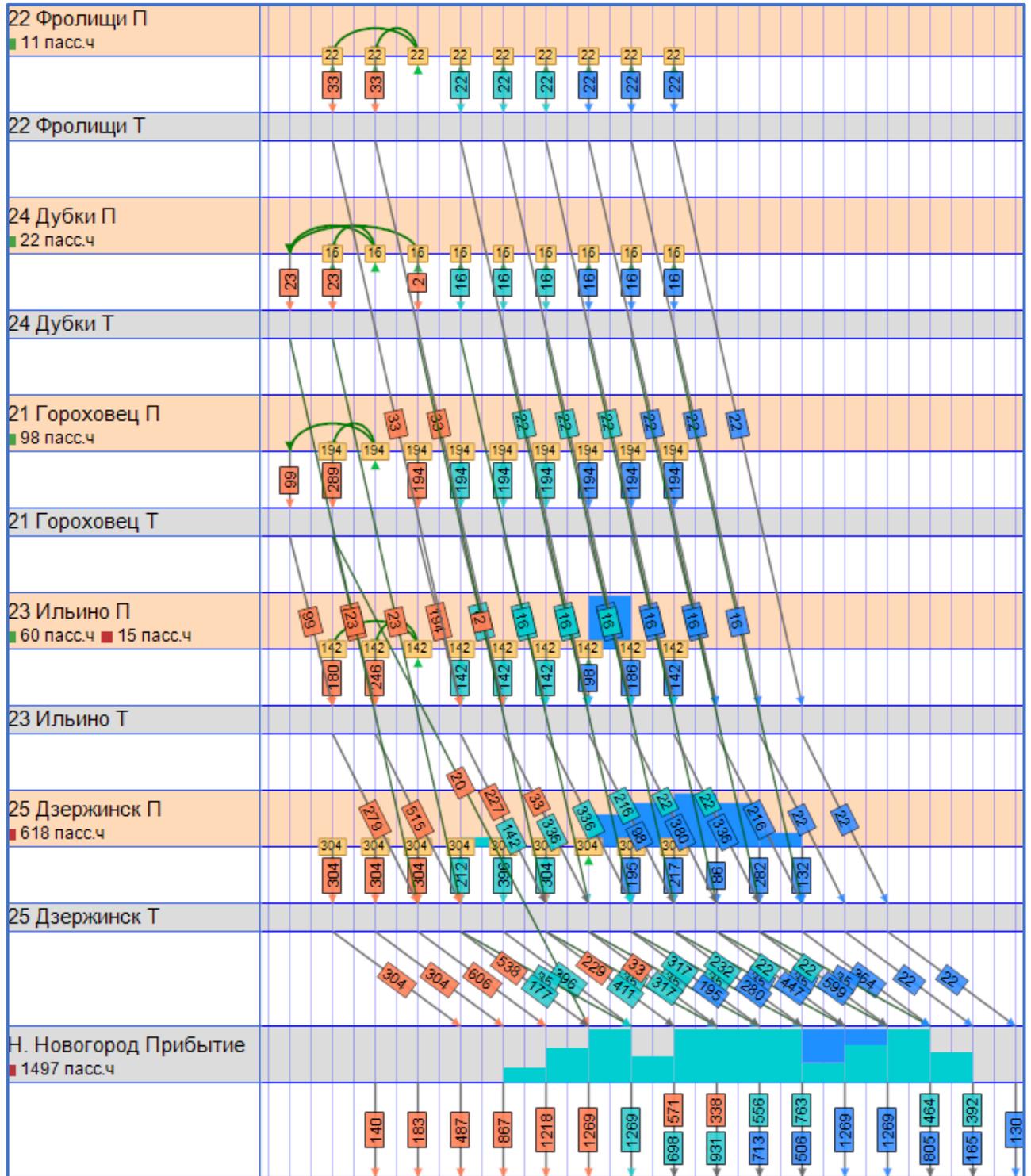


Рисунок 4.24 – Результаты организации пассажиропотока на участке Гороховец – Нижний Новгород

При этом корректировки остались в первом периоде, несмотря на увеличение периода прибытия на 1 час (период стал с 6.00 до 9.00). Однако период прибытия по сравнению с другими пересекается с периодом отправления, поэтому все пассажиры не успевают прибыть на станцию Нижний Новгород к нужному времени без корректировки из-за большой длительности поездки (91 минута от Гороховца и 138 минут от Фролиц).

Наибольшую очередь на станции Нижний Новгород создают пассажиры второго периода (рисунок 4.25).

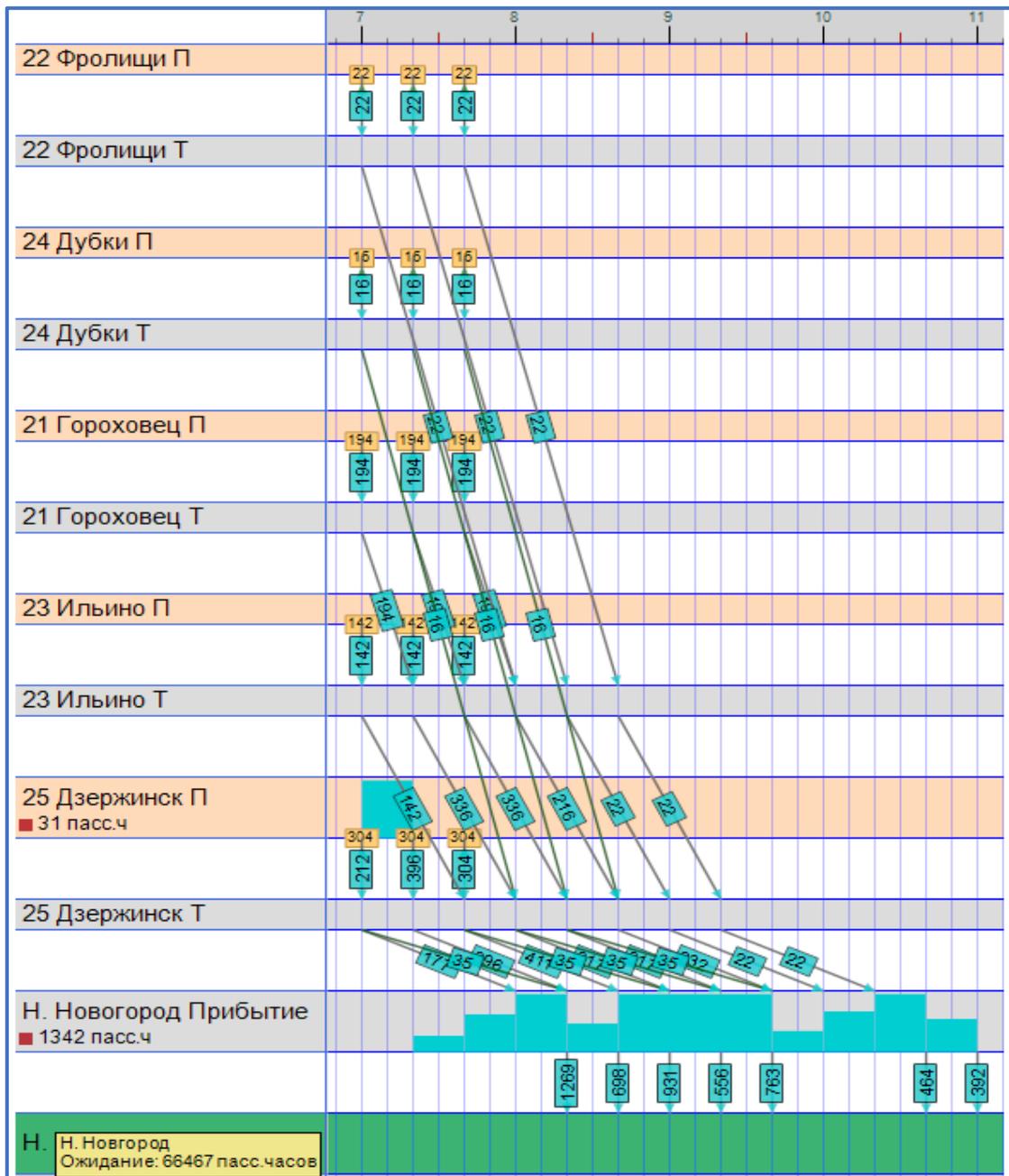


Рисунок 4.25 – Результаты организации пассажиропотока, отправляющегося в период 7.00–8.00, на участке Гороховец – Нижний Новгород

Поскольку пассажиры периода отправления с 7.00 до 8.00 создают предельно допустимую очередь на станции Нижний Новгород, то пассажиры следующего периода вынуждены ожидать на станциях участка (Дзержинск и Ильино), как видно на рисунке 4.24. Однако, при снижении очереди на станции Нижний Новгород пассажиры последнего периода дополняют ее, стремясь успеть прибыть в указанный период.

Введем ограничения очередей: для пассажиров первого периода зададим стоимость возникновения очереди 1, для пассажиров второго периода – 3, для пассажиров третьего периода – 1. При таких условиях возникли очереди из пассажиров всех сегментов, включая первую группу. При этом очередь из пассажиров второй группы уменьшилась, а из пассажиров третьей – увеличилась (рисунок 4.26).

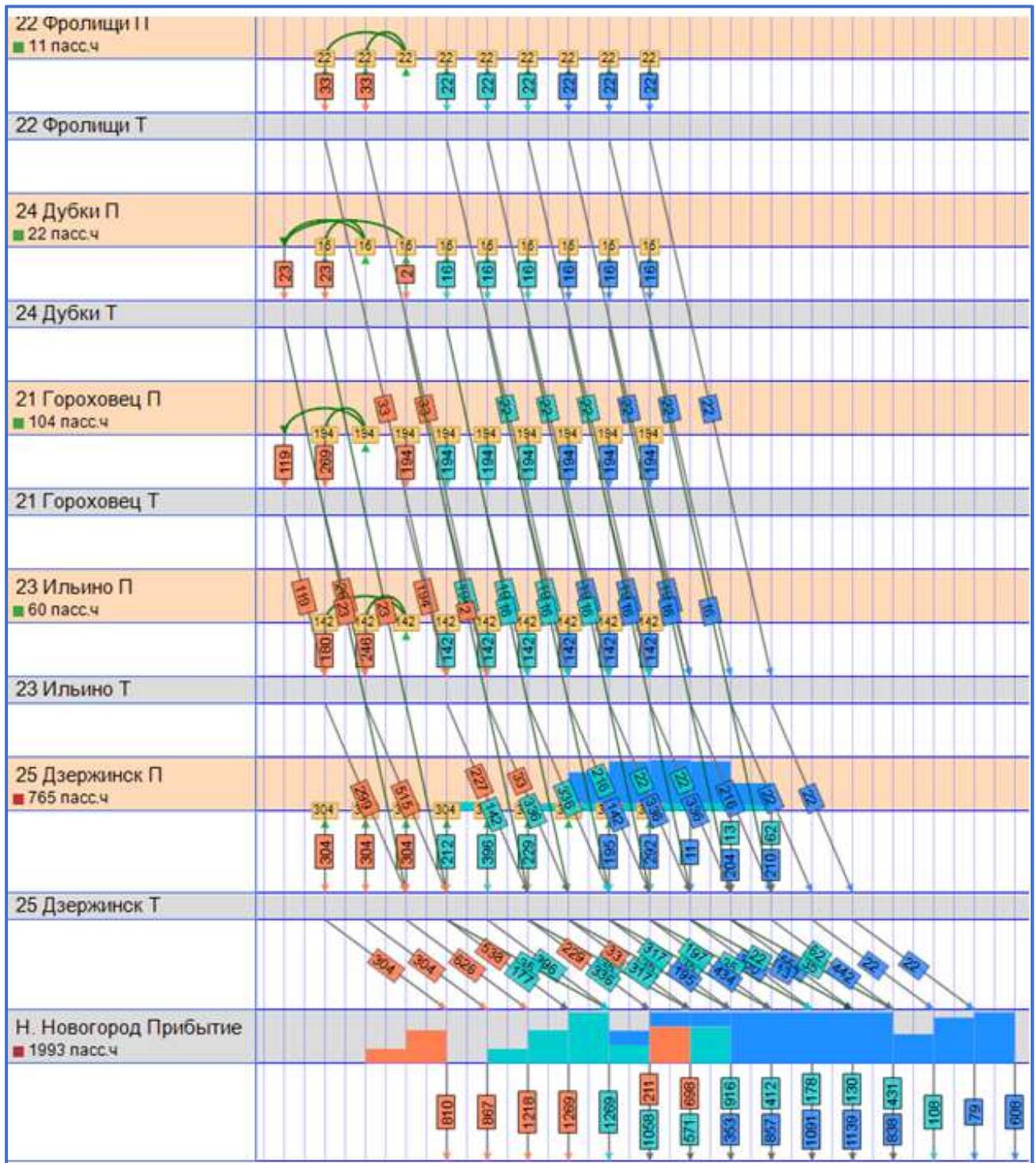


Рисунок 4.26 – Результаты организации пассажиропотока на участке Гороховец – Нижний Новгород при ограничении очереди для различных сегментов

У пассажиров второго периода очереди сместились на станциях отправления (рисунок 4.27): Дубки и Дзержинск.

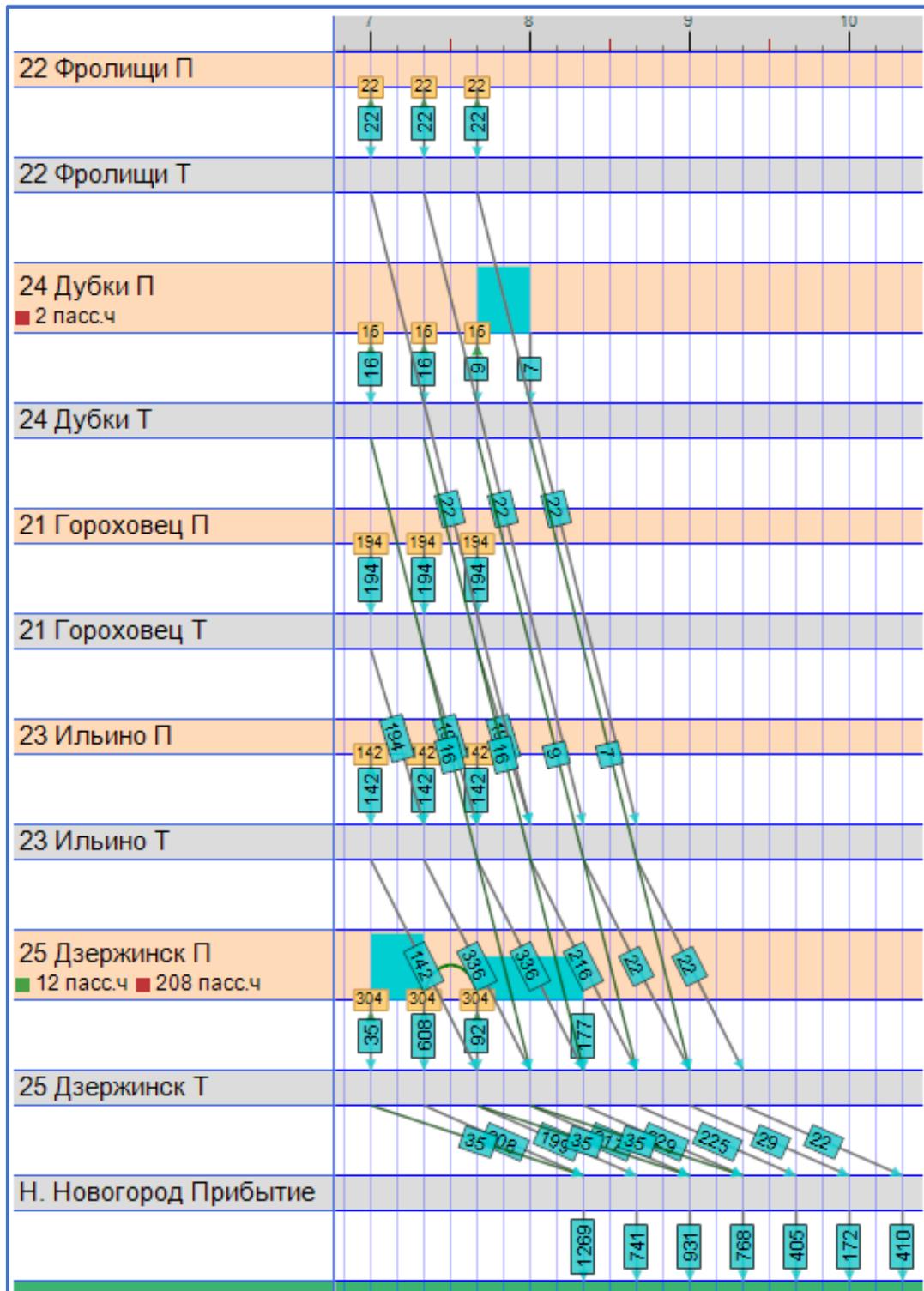


Рисунок 4.27 – Результаты организации пассажиропотока, отправляющегося с 7.00 до 8.00, на участке Гороховец – Нижний Новгород

Ограничим очередь на станции Дзержинск до 100 пассажиров для каждого сегмента пассажиропотока. Стоимость очереди на ст. Нижний Новгород зададим по 1 для каждого сегмента. В результате происходит перераспределение ожидания (рисунок 4.28).

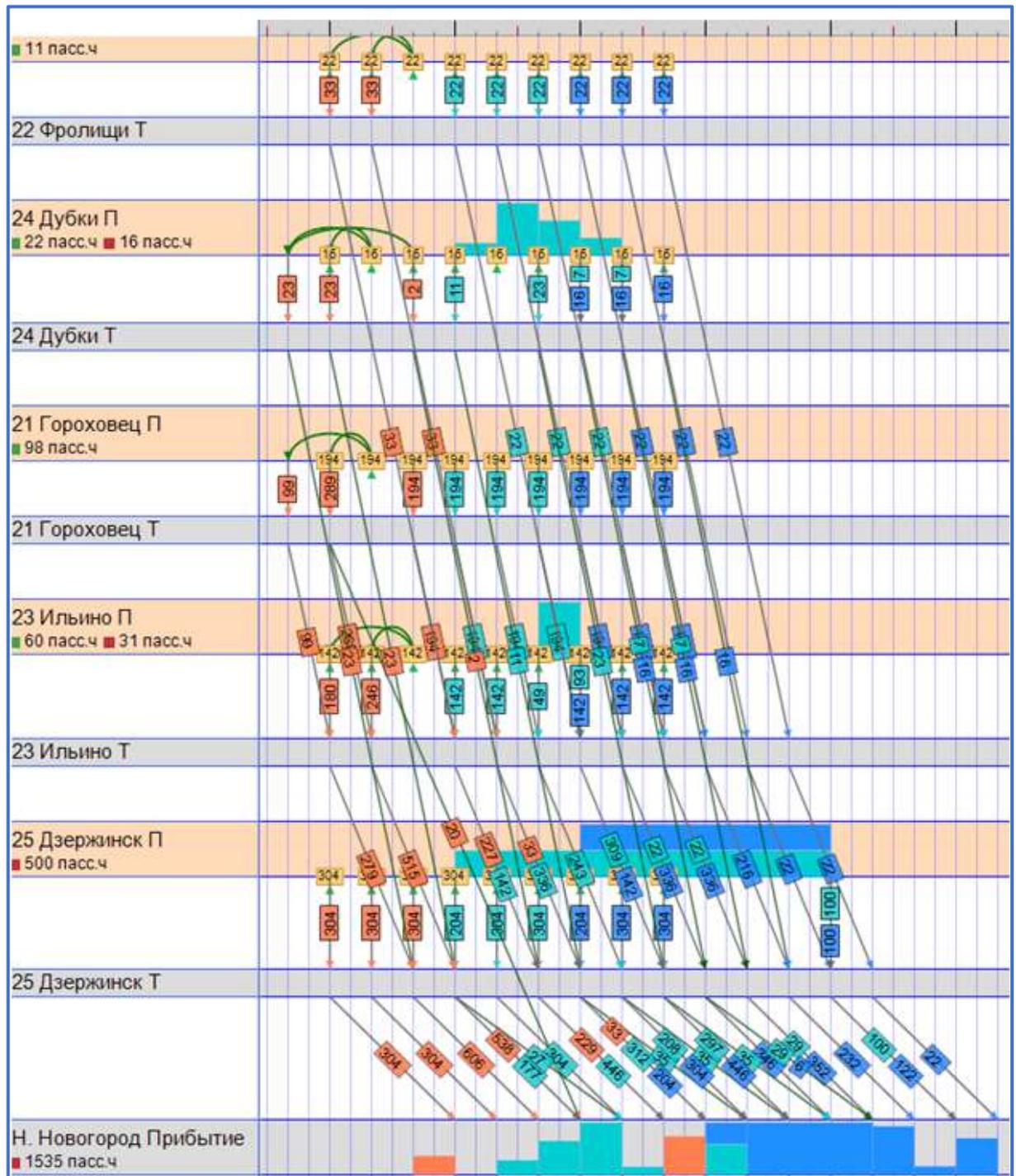


Рисунок 4.28 – Результаты организации пассажиропотока на участке Гороховец – Нижний Новгород при ограничении очереди на станции Дзержинск

На станции Дзержинск очередь не превышает установленного предела и включает только пассажиров второго и третьего сегмента – общее ожидание на станции снижается с 765 до 500 пассажиро-часов. На станции Нижний Новгород (рисунок 4.29) общее ожидание в очереди снижается с 1993 до 1535 пассажиро-часов. При этом дополнительно возникает очередь на станции Ильино и Дубки.

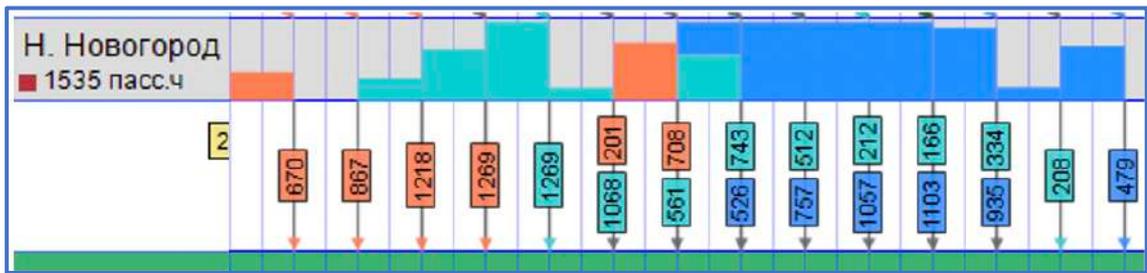


Рисунок 4.29 – Структура очереди на станции Нижний Новгород

Поскольку в основном очередь на станции Нижний Новгород представлена пассажирами третьего сегмента, отправляющимися с 8.00 до 9.00, введем для этих пассажиров ограничение очереди на головной станции до 50 человек. При этом общую допустимую очередь на ст. Нижний Новгород установим в 500 человек. В результате очередь представлена в основном пассажирами второй группы, отправляющимися с 7.00 до 8.00 (рисунок 4.30).

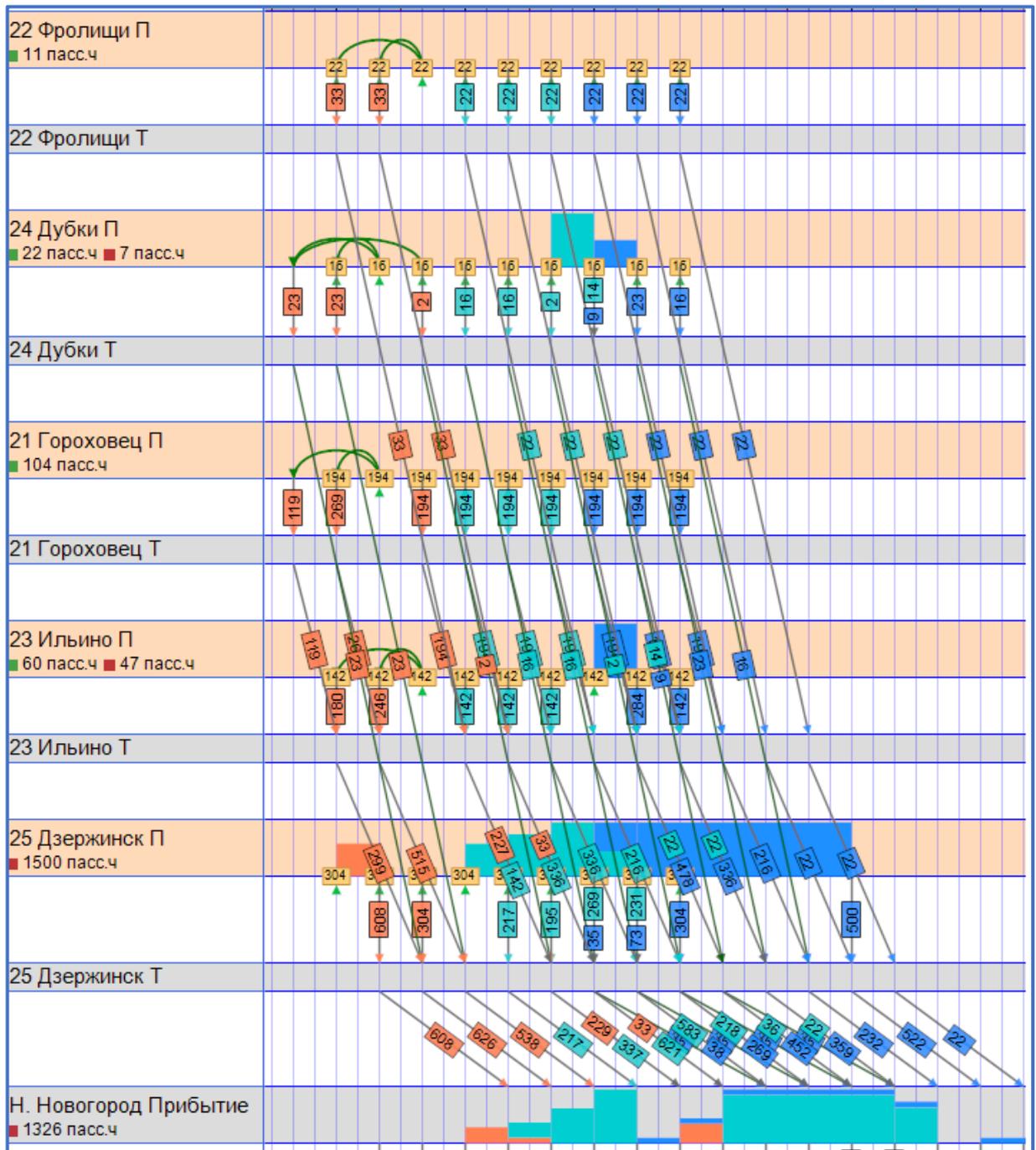


Рисунок 4.30 – Результаты организации пассажиропотока на участке Гороховец – Нижний Новгород при ограничении очереди для второй группы пассажиров

Ожидание в очереди на ст. Нижний Новгород снова сократилось до 1326 пассажиро-часов. Ожидание в очереди пассажирами третьей группы перенесено на станцию Дзержинск, на которой общее ожидание увеличилось с 500 до 1500 пассажиро-часов – в три раза. Также сохранились очереди на станциях Ильино и Дубки, но структура этих очередей поменялась – появились пассажиры третьей группы. На рисунке 4.31 видно, что из 1500 пассажиро-часов ожидания на станции

Дзержинск 923 пассажиро-часа приходится на пассажиров третьей группы, на станции Ильино все 47 пассажиро-часов приходятся на пассажиров третьей группы.

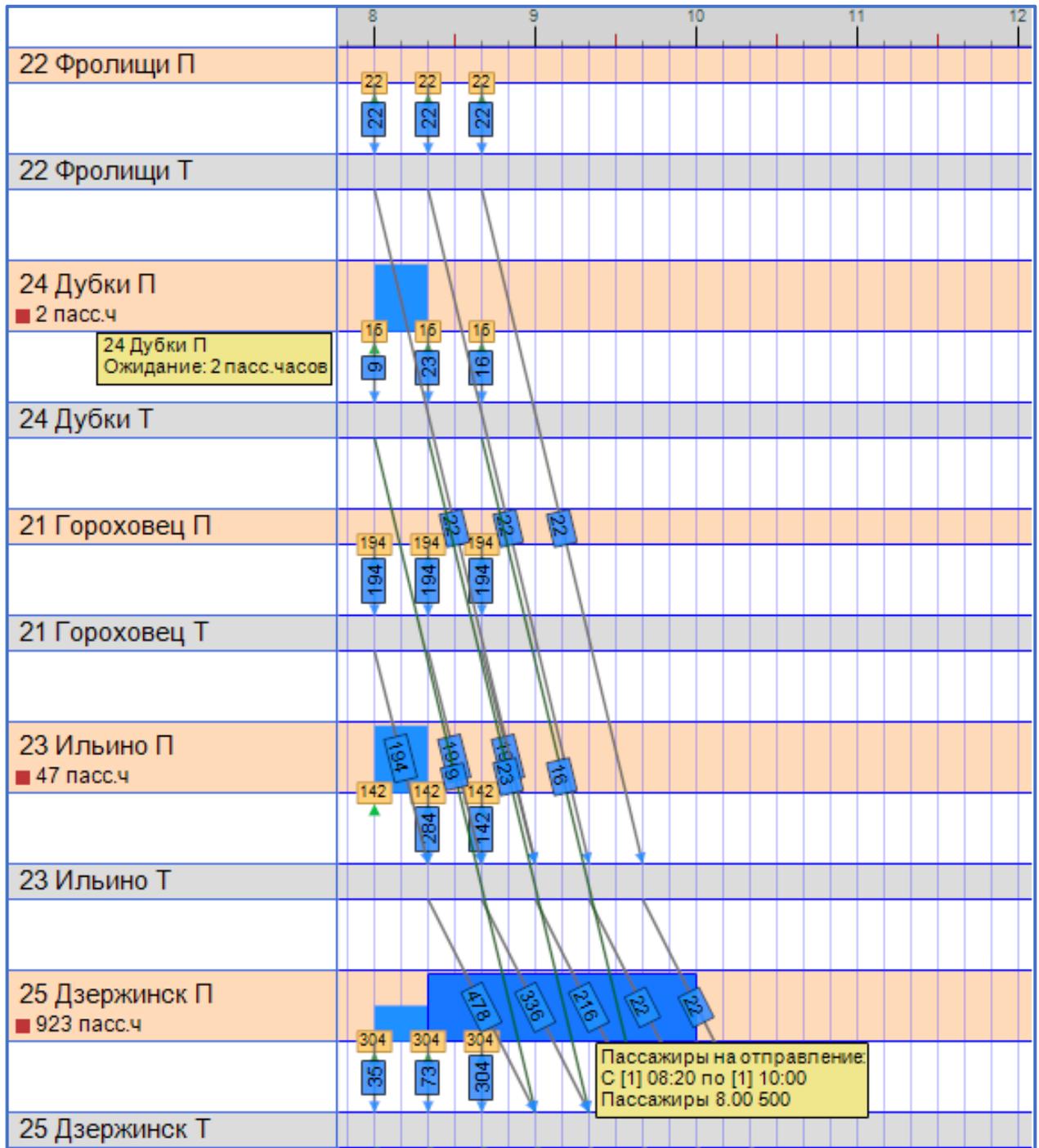


Рисунок 4.31 – Результаты организации пассажиропотока, отправляющегося в период 8.00–9.00, на участке Гороховец – Нижний Новгород

Такая ситуация связана в том числе и с тем, что для всех категорий пассажиров расширены временные интервалы прибытия на головную станцию,

поэтому более ранние часы прибытия заняты пассажирами первых двух групп, а для третьей группы возможность ожидания на ст. Нижний Новгород ограничена.

Проведем подобный эксперимент для другого участка Урень – Нижний Новгород. Зададим ограничение по очереди на головной станции для пассажиров третьей группы также 50 человек, а общую очередь ограничим до 500 человек. Результаты получаются аналогичными участку Гороховец – Нижний Новгород (рисунок 4.32).

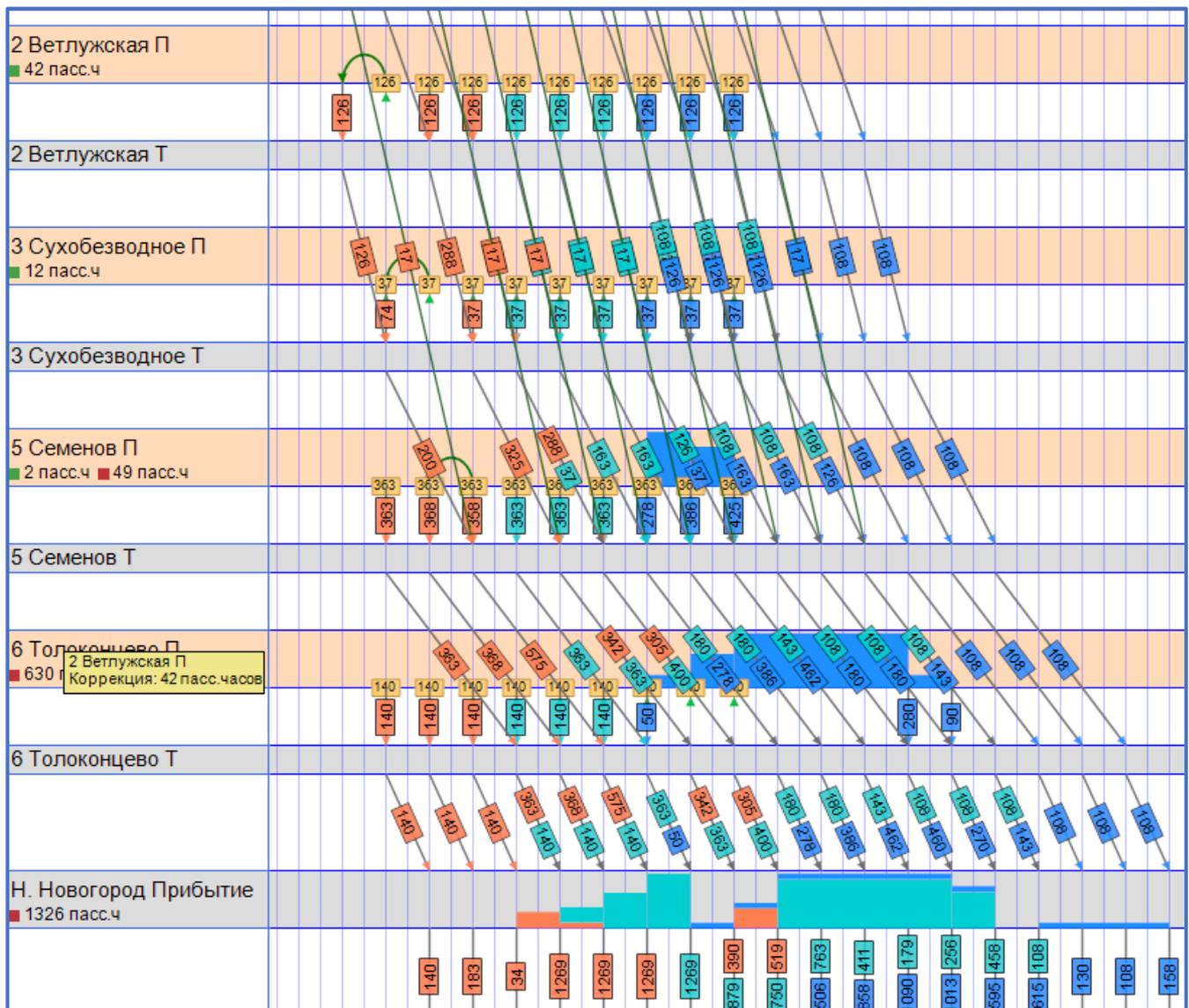


Рисунок 4.32 – Результаты организации пассажиропотока на участке Урень – Нижний Новгород при ограничении очереди для второй группы пассажиров

Так же, как и на другом участке, основную очередь на головной станции создают пассажиры второй группы, а пассажиры третьей группы вынуждены ожидать на предыдущей станции Толоконцево, где возникает ожидание 630

пассажиро-часов. Полученные результаты доказывают правильность логики работы модели, что также можно отследить на примере сравнения суммарных пассажиро-часов ожидания отправления, которое до ограничения очереди на головной станции составляло 1996 пассажиро-часов (рисунок 4.33), а после ограничения очереди составило 2492 пассажиро-часа (рисунок 4.34).



Рисунок 4.33 – Суммарное ожидание отправления до ограничения очереди для пассажиров 8.00

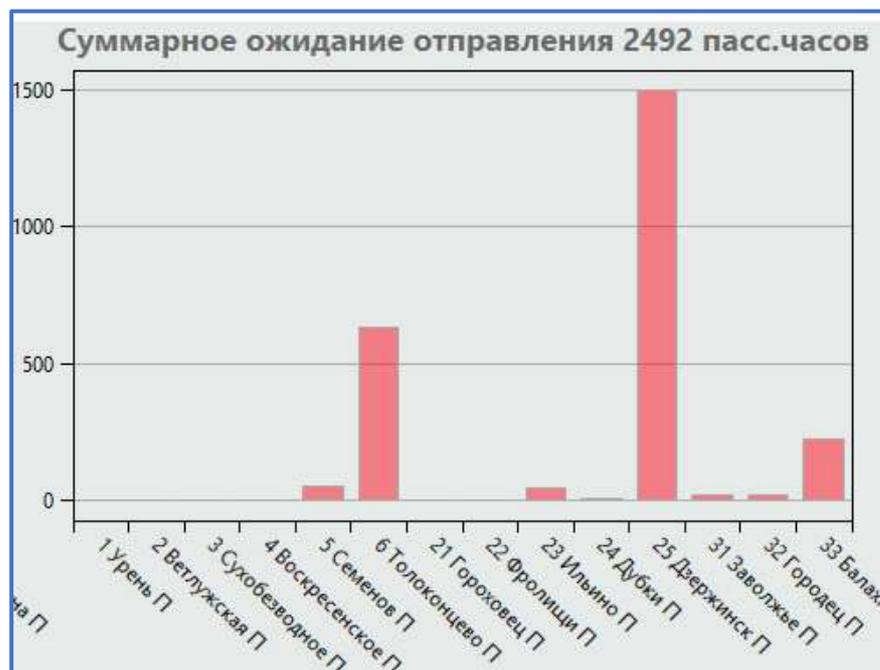


Рисунок 4.34 – Суммарное ожидание отправления после ограничения очереди для пассажиров 8.00 до 50 человек

Проверим логику работы модели, изменив ограничения. Снимем ограничение по очереди на ст. Нижний Новгород для третьей группы пассажиров, введем ограничение для второй группы, отправляющихся в 7.00, не более 50 человек. Ограничение общей очереди оставим не более 500 человек. На примере направления Заволжье – Нижний Новгород (рисунок 4.35) можно увидеть, что на головной станции очередь представлена в основном пассажирами третьей группы, отправлением в 8.00.

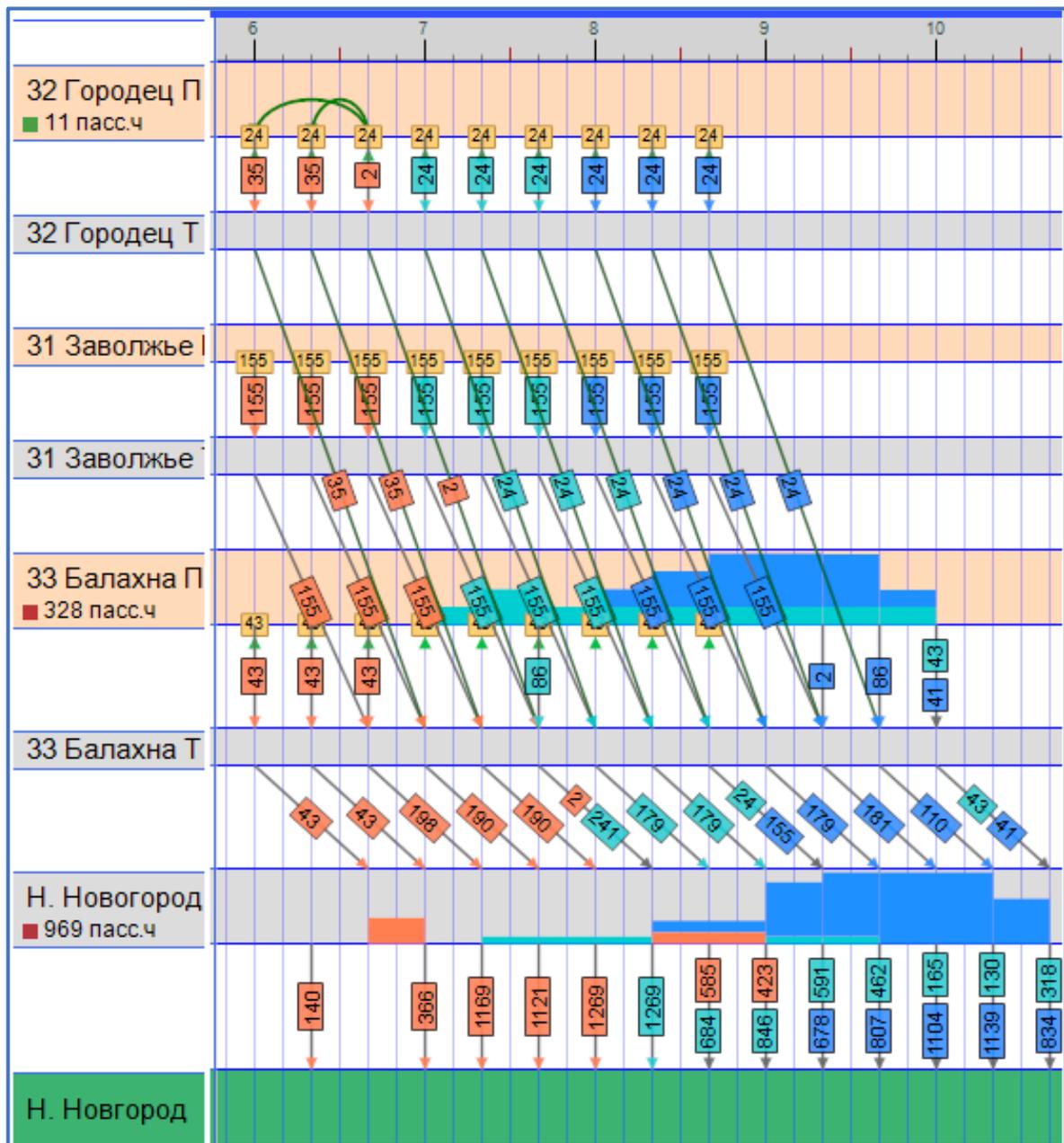


Рисунок 4.35 – Результаты организации пассажиропотока на направлении Заволжье – Нижний Новгород при ограничении очереди на станции Нижний Новгород для второй группы пассажиров

При этом пассажиры второй группы вынуждены ожидать в очереди на предыдущей станции – на рассматриваемом направлении Балахна. Пассажиры третьей группы также скапливаются на станции Балахна, что обусловлено ограничением общей очереди на станции Нижний Новгород до 500 человек, и исчерпанием пропускных способностей станции пассажирами более ранних периодов.

Для других линий ситуация аналогичная. Как видно на рисунке 4.36, на участке Гороховец – Нижний Новгород дальние станции для ожидания пассажирами второй группы практически не задействованы: Дубки 5 пассажиро-часов, Ильино 34 пассажиро-часа. На ближней же станции Дзержинск ожидание составляет 594 пассажиро-часа.

На участке Урень – Нижний Новгород под ожидание пассажирами второй группы задействована только ближняя станция Толоконцево – ожидание составляет 767 пассажиро-часов (рисунок 4.37).

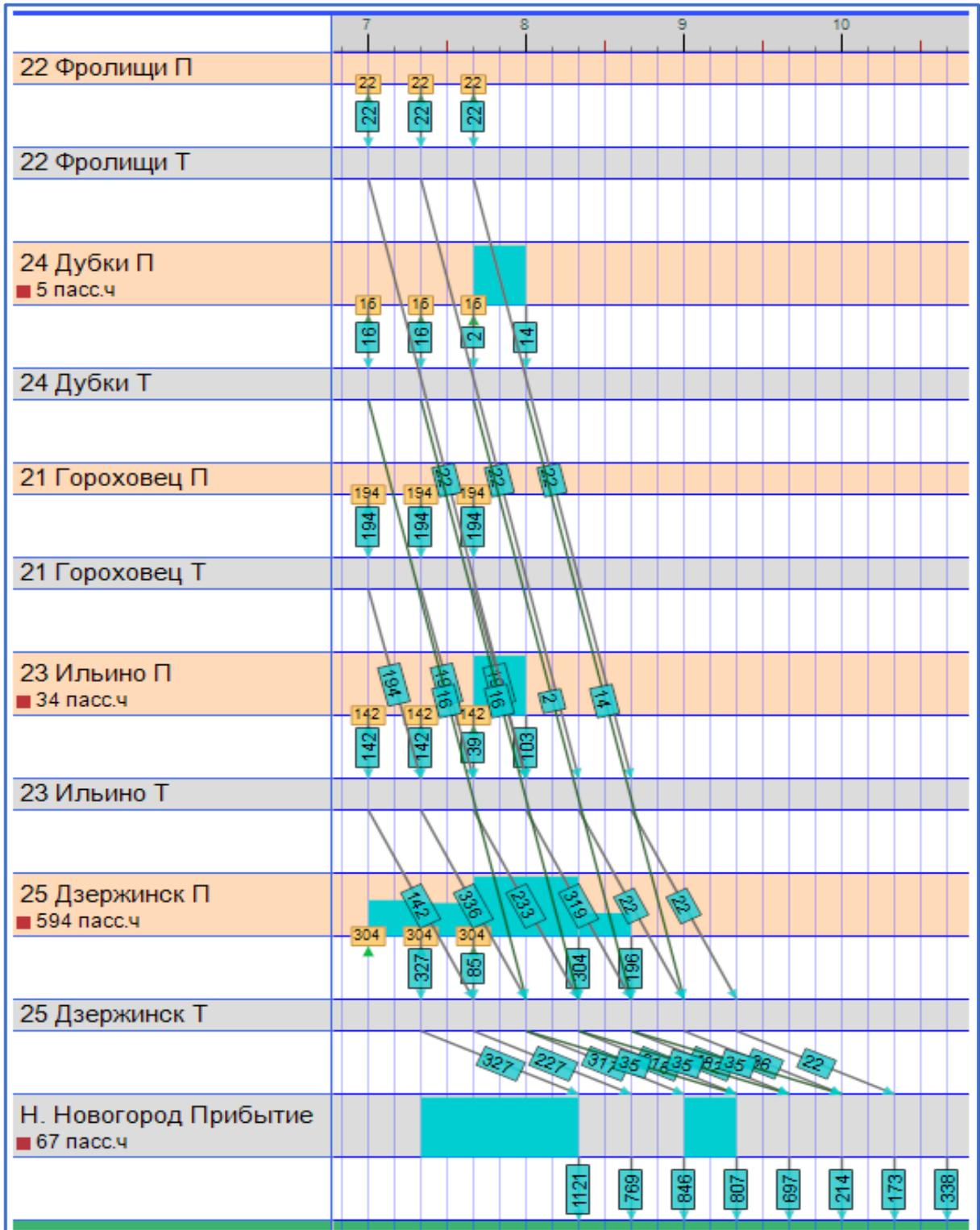


Рисунок 4.36 – Результаты моделирования пассажиропотока, отправляющегося в период 7.00–8.00, на направлении Гороховец – Нижний Новгород

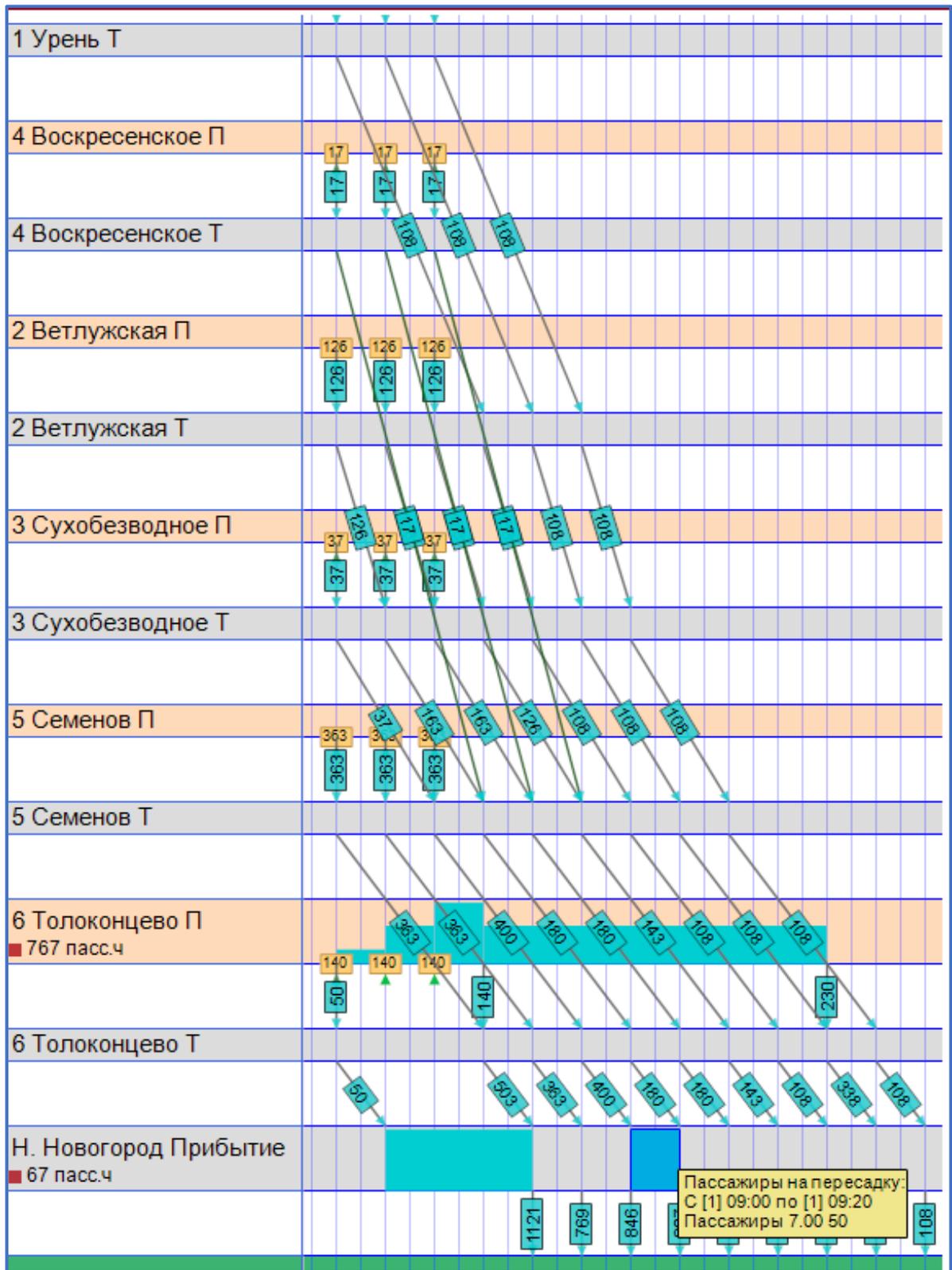
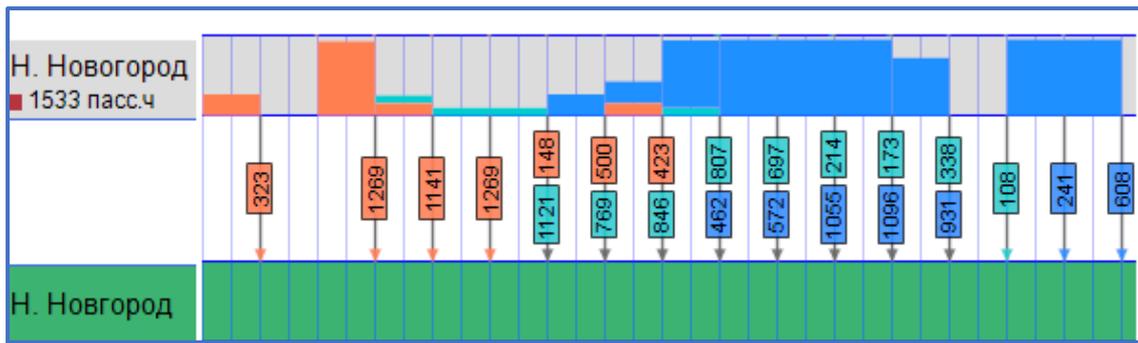


Рисунок 4.37 – Результаты моделирования пассажиропотока, отправляющегося в период 7.00–8.00, на направлении Урень – Нижний Новгород

Таким образом, можно увидеть, как меняется структура очередей при организации многоструйного (неоднородного) пассажиропотока, если отдавать приоритет одному из сегментов пассажиропотока (рисунок 4.38).

а)



б)

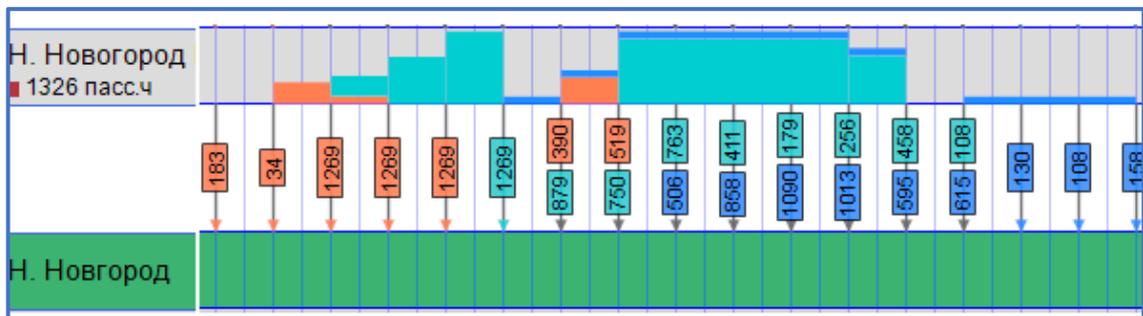


Рисунок 4.38 – Структура очереди на ст. Нижний Новгород: а) при ограничении очереди для пассажиров второго периода, б) при ограничении очереди для пассажиров третьего периода

Логика модели выстроена правильно: при ограничении очереди для одного из сегментов пассажиропотока очередь образуется из пассажиров других сегментов. Наименьшая очередь возникает из пассажиров первого сегмента, поскольку они просто не успевают скопиться на станции в начале суток. При ограничении очереди для одной из струй на Нижнем Новгороде, то есть создавая более жесткие условия для этих пассажиров по ритму прибытия, создаются более свободные условия для пассажиров других струй.

Таким образом, при организации пассажиропотока можно задавать более жесткие требования по прибытию на головную станцию для тех пассажиров, поездка которых непосредственно привязана к определенному времени, связанному со временем начала работы, учебы, пересадкой на другой транспорт и т. д. При этом для остальных пассажиров требования по времени прибытия могут быть более мягкими.

4.4. Исследование взаимного влияния ограничений на корректировки при организации многоструйного пассажиропотока

Широкие возможности модели позволяют учитывать множество факторов при организации пассажиропотока, задавая различные ограничения. Больше возможностей для исследования взаимного влияния параметров можно получить при изменении временных границ прибытия пассажиров на головную станцию (рисунок 4.39, таблица 4.3) и снятии ограничений.

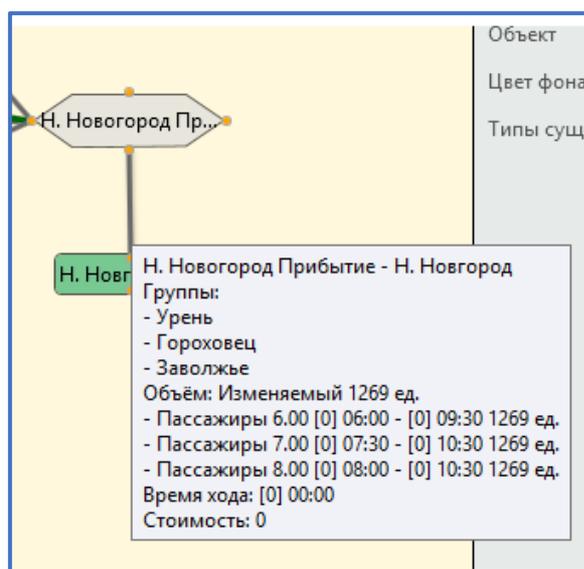


Рисунок 4.39 – Задание исходных данных о сегментах пассажиропотока

Таблица 4.3 – Время отправления и прибытия пассажиров

«Типы пассажиров» (сегмент пассажиропотока)	Отправление	Прибытие
Пассажиры 6.00	6.00 – 7.00	6.00 – 9.30
Пассажиры 7.00	7.00 – 8.00	7.30 – 10.30
Пассажиры 8.00	8.00 – 9.00	8.00 – 10.30

При таких исходных данных суммарная по всем направлениям корректировка подхода пассажиров на станцию отправления составляет 1997 пассажиро-часов (рисунок 4.40), а суммарное ожидание отправления – 778 пассажиро-часов (рисунок 4.41).

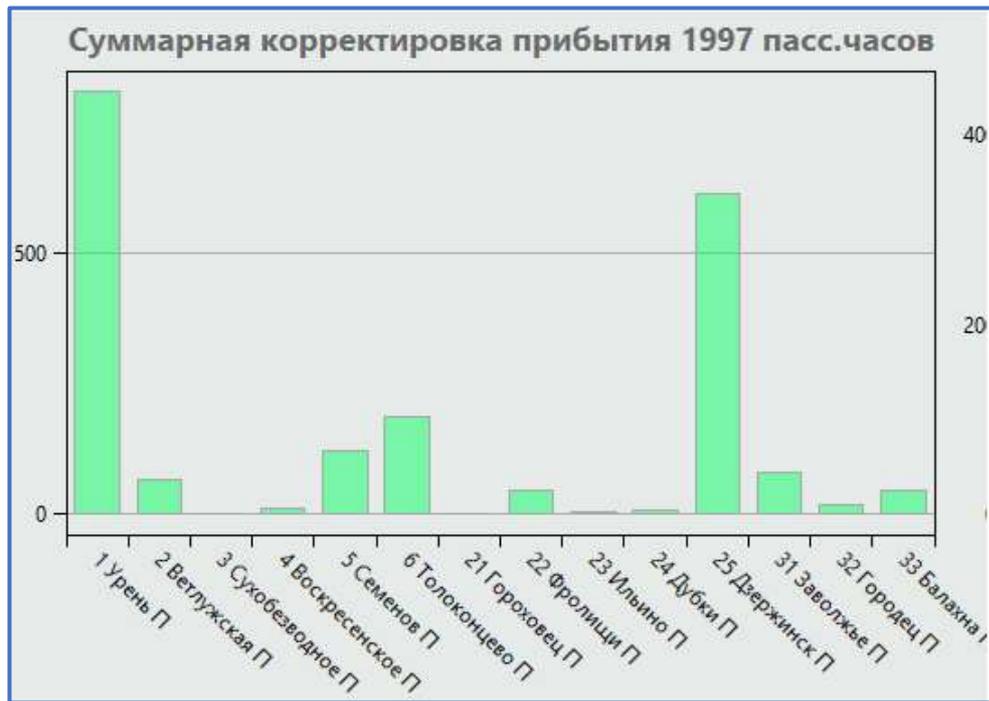


Рисунок 4.40 – Суммарная корректировка пассажиропотоков на станциях отправления



Рисунок 4.41 – Суммарное ожидание на станциях отправления

При этом корректировки между направлениями распределились неравномерно (рисунки 4.42 – 4.44). На участке Урень – Нижний Новгород максимальная корректировка почти 1000 пассажиро-часов на самой удаленной

станции Урень. Это связано с тем, что время поездки от этой станции максимальное – 163 минуты.



Рисунок 4.42 – Корректировка на направлении Урень – Нижний Новгород

На направлении Заволжье – Нижний Новгород (рисунок 4.43) корректировка значительно меньше – всего 140 пассажиро-часов, при этом 80 пассажиро-часов приходится на самую удаленную станцию, а 40 – на самую ближнюю.

На направлении Гороховец – Нижний Новгород (рисунок 4.44) практически более 600 пассажиро-часов (практически вся корректировка) приходится на самую ближнюю станцию Дзержинск. Это предположительно связано с тем, что с этой станции отправляется максимальное на этом участке количество пассажиров – 840 пассажиров в час.



Рисунок 4.43 – Корректировка на направлении Завожье – Нижний Новгород

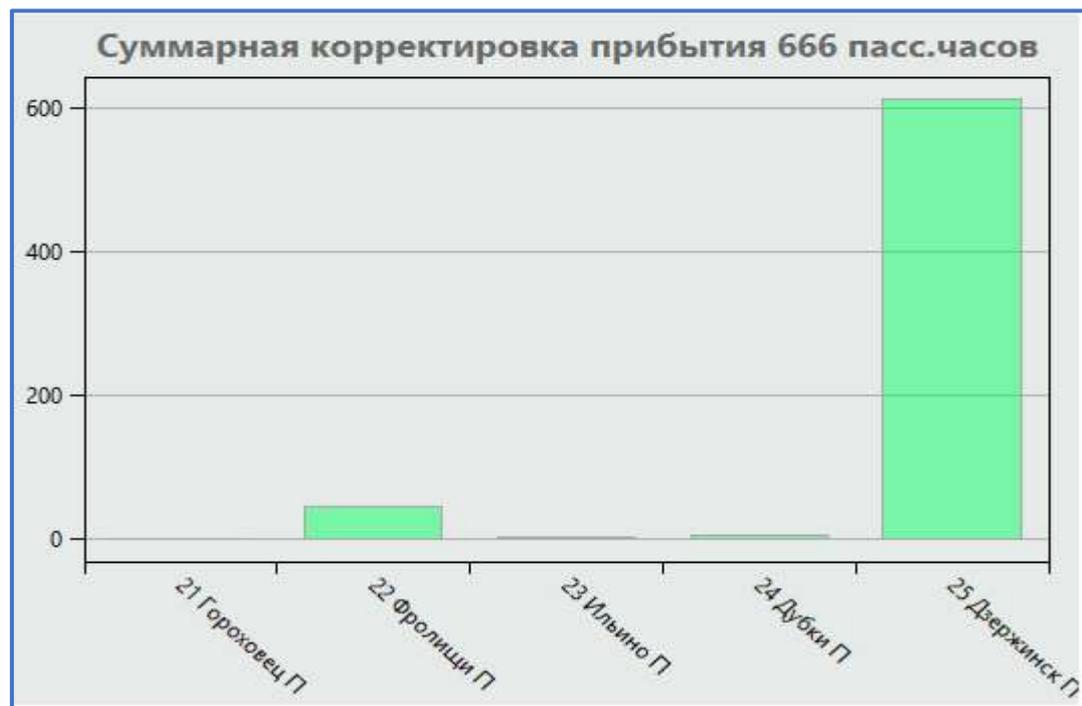


Рисунок 4.44 – Корректировка на направлении Гороховец – Нижний Новгород

При пересекающихся интервалах прибытия различных сегментов пассажиропотока на головную станцию можно увидеть очередь на этой станции из чередующихся различных сегментов и проследить динамику потоков на пересадку (рисунок 4.45).

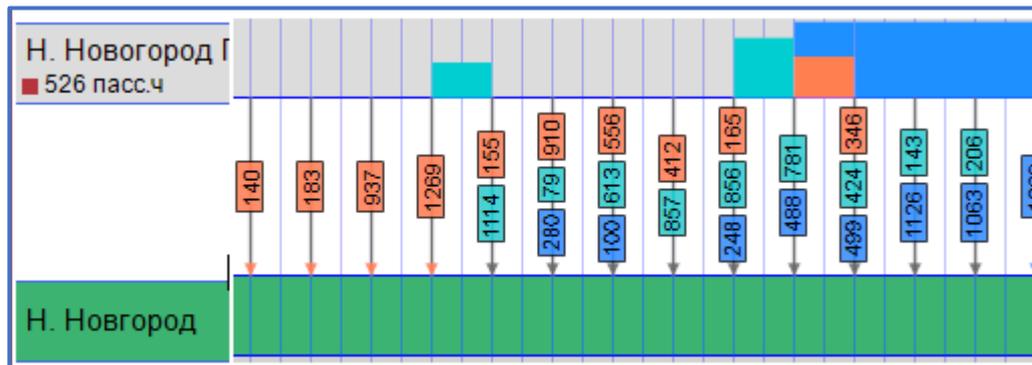


Рисунок 4.45 – Динамика очереди на станции Нижний Новгород

Проведенные эксперименты показывают обширные возможности модели по организации многоструйного (неоднородного) пассажиропотока и правильность логики работы модели, а также значимость динамических методов при организации пригородных пассажирских перевозок [114, 118, 132].

Выводы к главе 4

1. Сформулирована проблема организации многоструйного пассажиропотока на практике. Описан аппарат оптимизации и отличия расчетной многопродуктовой модели. Произведена апробация методологии организации многоструйного пригородного пассажиропотока на примере Нижегородской агломерации.

2. Проведены серии экспериментов с многоструйным (неоднородным) пассажиропотоком: выделены три сегмента пассажиропотоков с различным необходимым временем прибытия на головную станцию. Рассмотрены непересекающиеся и пересекающиеся периоды времени прибытия пассажиропотоков различных сегментов.

3. Показана организация пассажиропотоков с приоритетом одного из сегментов. Исследовано взаимное влияние ограничений на корректировки при организации многоструйного пассажиропотока. Доказана правильность логики работы модели.

5. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРИГОРОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В НИЖЕГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

5.1. Сущность и задачи имитационного моделирования

Моделирование представляет собой обширную область исследования. Во многих научных работах последних лет было показано, что инфраструктура и подвижной состав железнодорожного транспорта являются сложными объектами с сильными устойчивыми связями, которые не поддаются строгому аналитическому описанию, так как их параметры являются функциями друг друга. Наиболее содержательным и показательным методом их исследования является имитационное моделирование, то есть ускоренное воспроизведение технологии работы объектов с помощью специализированных программно-аппаратных комплексов. Имитационному моделированию, в том числе с целью проведения экспертизы проектов посвящены работы Козлова П. А. [99] и Александрова А. Э. [4 – 6, 8], выполненные в соавторстве с Суриным А. В. и Шипулиным А. В.

Одной из основных научных задач, обозначенных Транспортной стратегией Российской Федерации [243] является: «проведение имитационной экспертизы инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры (в особенности проектов развития крупных транспортных узлов),.. разработка динамических имитационных моделей транспортных потоков для оценки эффективности вариантов развития транспортной инфраструктуры».

По сравнению с оптимизационными моделями имитационные модели имеют широкие возможности детализации процессов. В каждом конкретном случае глубину детализации определяют цели и задачи, поставленные в исследовании.

Для проведения исследований в сфере работы объектов железнодорожной инфраструктуры и перевозочного процесса имитационные модели должны соответствовать определенным требованиям. С помощью имитационной модели технолог, не являющийся специалистом в сфере программирования, должен иметь возможность сформировать модель исследуемого объекта (станции, вокзального

комплекса, остановочного пункта, железнодорожного участка или более сложной транспортной сети), которая отображала бы его основные свойства и параметры:

- детализированную схему с размещением необходимого оборудования и пассажирских обустройств;
- технологические особенности работы объекта, включающие отдельные технологические линии, включающие процессы и подпроцессы, последовательность их выполнения и взаимовлияние;
- случайный характер технологических процессов, а также зарождения и погашения пассажиропотоков;
- организационно-управленческие процессы.

Важно, что пользователями имитационных моделей являются технологи, поскольку именно они детально знают особенности фактического процесса, происходящего в действительности, и могут детально и максимально полно описать его в модели.

Имитационная модель, позволяющая с высокой точностью воспроизвести действительность, является хорошим инструментом проверки результатов, полученных с помощью оптимизационных процессов, в том числе процессов пригородных пассажирских перевозок, включая параметры зарождения и погашения пассажиропотоков.

5.2. Выбор системы моделирования

На сегодняшний день создано большое количество универсальных систем моделирования, многие из которых используются в России. Большинство этих систем имеют схожие возможности. К наиболее известным типичным системам относятся: *Arena*, *AnyLogic*, *eM-Plant Simulation*, мультиагентные системы. Особенности различных систем имитационного моделирования посвящена работа [130].

Система *Arena* обладает развитым аппаратом для моделирования систем массового обслуживания. В таких системах единицы потока со случайными

колебаниями интенсивности идут по сети до пункта обслуживания. Обслуживание имеет случайный разброс, возникают очереди. Характеристика этих очередей является основным результатом моделирования.

Общим недостатком всех систем массового обслуживания является то, что движущаяся единица абстрактного потока не может отобразить сложную технологию работы железных дорог, где каждая операция имеет свой алгоритм выполнения.

Российская система моделирования *AnyLogic* схожа с системой *Arena*, но более развита, особенно в области динамической демонстрации процесса, в том числе трехмерной – 3D. Система *AnyLogic* включает набор стандартных библиотек, в том числе для моделирования железнодорожных объектов. Для моделирования работы железнодорожного транспорта и решения различных его задач система *AnyLogic* нуждается в адаптации.

Мультиагентные системы (*NetLogo*, *VisualBots*, *REPAST* и др.) состоят из нескольких взаимодействующих агентов, каждый из которых способен действовать или воспринимать. Для них характерны автономность (агенты действуют независимо), ограниченность представления (ни у одного из агентов нет представления о всей системе), децентрализация (нет агентов, управляющих всей системой). При указанных характеристиках сложно представить применение мультиагентных систем для моделирования работы объектов железнодорожного транспорта (станций, узлов, полигонов) из-за несоответствия их принципам организации работы железных дорог.

Помимо универсальных систем моделирования, в мире имеется большой выбор специализированных программных продуктов, в том числе для использования на разных видах транспорта (автомобильном, городском, воздушном, морском) – *PASSER*, *PROGO*, *SOAP84*, *Synchro*, *TEAPAC/NOSTOP*, *TRANSYT-7F*, *TSDWIN*, *TS/PPDraft*, *SATURN*, *TransCad*, *EMME/2*, *TRIPS*, *DRACULA*, *PARAMICS*, *VISSIM*, *AIMSUN*, *PTV* и др. Однако ни один из специализированных инструментов, используемых для моделирования их работы, не подходит для отображения работы железных дорог. Это объясняется

принципиально разной технологией функционирования различных видов транспорта.

Для железнодорожного транспорта также разработан ряд специализированных систем имитационного моделирования в России и за рубежом.

Система *Avrora*, созданная в АО «Ленгипротранс», изначально разрабатывалась для оценки проектов развития станций. Она представляет собой программный комплекс для расчета систем массового обслуживания.

Система ИСУЖТ ТС разработана АО «НИИАС» и имеет достаточно широкий функционал в части моделирования и анализа работы железнодорожных станций, включая рационализацию технологических процессов, в том числе в условиях инфраструктурных ограничений и на основе выявления «узких» мест. Данная система также позволяет производить оценку возможных вариантов развития станций при изменении ресурсного обеспечения или технологии работы.

Аппаратно-программный комплекс ЭЛЬБРУС, разработанный АО «ВНИИЖТ» имеет обширные возможности по автоматизированному построению графиков движения поездов: строит графики движения поездов по «твердым» ниткам графика, в условиях ограниченных пропускных способностей участков, энергосберегающие графики движения и др. Несмотря на такой функционал, АПК Эльбрус не является имитационной системой, так как в его основу просто заложен алгоритм построения графика движения поездов, воспроизводимый с помощью математической модели.

Разработанная ООО «Транспортный Алгоритм» имитационная система ИСТРА ориентирована на исследование и оптимизацию работы крупных инфраструктурных объектов любых видов транспорта. Особенностью системы является возможность моделировать работу транспорта во взаимосвязи с работой промышленных предприятий. Модель с достаточной степенью точности может отображать различные транспортные и связанные с ними процессы, что позволяет решать различные задачи, в том числе со стохастическими или сложно управляемыми процессами. Система ИСТРА достаточно проста в использовании и

не требует от пользователя специальных навыков программирования – интерфейс модели интуитивно понятен.

Система макро моделирования работы транспортных узлов и полигонов ИМЕТРА (ООО «Транспортный алгоритм») предназначена для определения параметров крупных объектов железнодорожного транспорта. В данной системе в укрупненном виде отображаются инфраструктурные объекты и воспроизводится технология их работы. На созданных в системе ИМЕТРА моделях можно проводить достаточно широкий набор экспериментов по организации перевозочного процесса в железнодорожных узлах и на полигонах. Система позволяет на основе моделирования работы железнодорожного транспорта, в существующих условиях и с учетом различных нововведений, оценивать перспективные технологии и предполагаемые мероприятия по совершенствованию технических и технологических параметров. Интерфейс системы интуитивно понятен и доступен для использования технологами. Результаты моделирования представляются в графическом и табличном виде. Можно оценивать загрузку отдельных элементов транспортной инфраструктуры, резервы пропускных способностей, непроизводительные простои в любой момент времени и пр.

Проведенный анализ имитационных систем позволяет сделать вывод о том, что для моделирования пригородного движения наиболее подходит имитационная система ИМЕТРА. Однако потребовалась ее адаптация.

5.3. Имитационная модель пригородного движения в Нижегородской агломерации

5.3.1. Особенности оптимизационной и имитационной моделей

В оптимизационных моделях решается строгая математическая задача с применением вполне определенного математического аппарата. Поэтому в них все должно быть выражено в терминах этого аппарата.

В приведенной в главах 2–4 оптимизационной модели есть две особенности.

- 1) В ней решается задача оптимизации пассажиропотока по заданному критерию. Поэтому рассматривается только пассажиропоток и не отображается процесс движения пригородных поездов.
- 2) Такт времени выбран 20 минут. Двадцатиминутные струи пассажиропотока легко реализовать, за 20 минут могут пройти и один, и два электропоезда. Такт в одну минуту применять нельзя, потоки каждую минуту не отправляются.

Имитационная модель свободна от этих ограничений, поскольку в ней не решается строгая математическая задача. В имитационной модели осуществляется пропуск заданного (организованного или неорганизованного) пассажиропотока пригородными поездами по определенному графику движения. Здесь временной такт может быть равным одной минуте. Результаты оптимизационной и имитационной моделей не могут полностью совпадать в том числе и из-за разных временных тактов, но логически их сопоставлять можно.

5.3.2. Отображение структуры и технологии полигона

Структура полигона отображается в виде последовательности станций (рисунок 5.1). На каждой из них выделяется пункт накопления пассажиров.

В технологическом процессе задается последовательность технологических операций и условия, при которых одна операция включается в оперативную очередь за другой (рисунок 5.2).

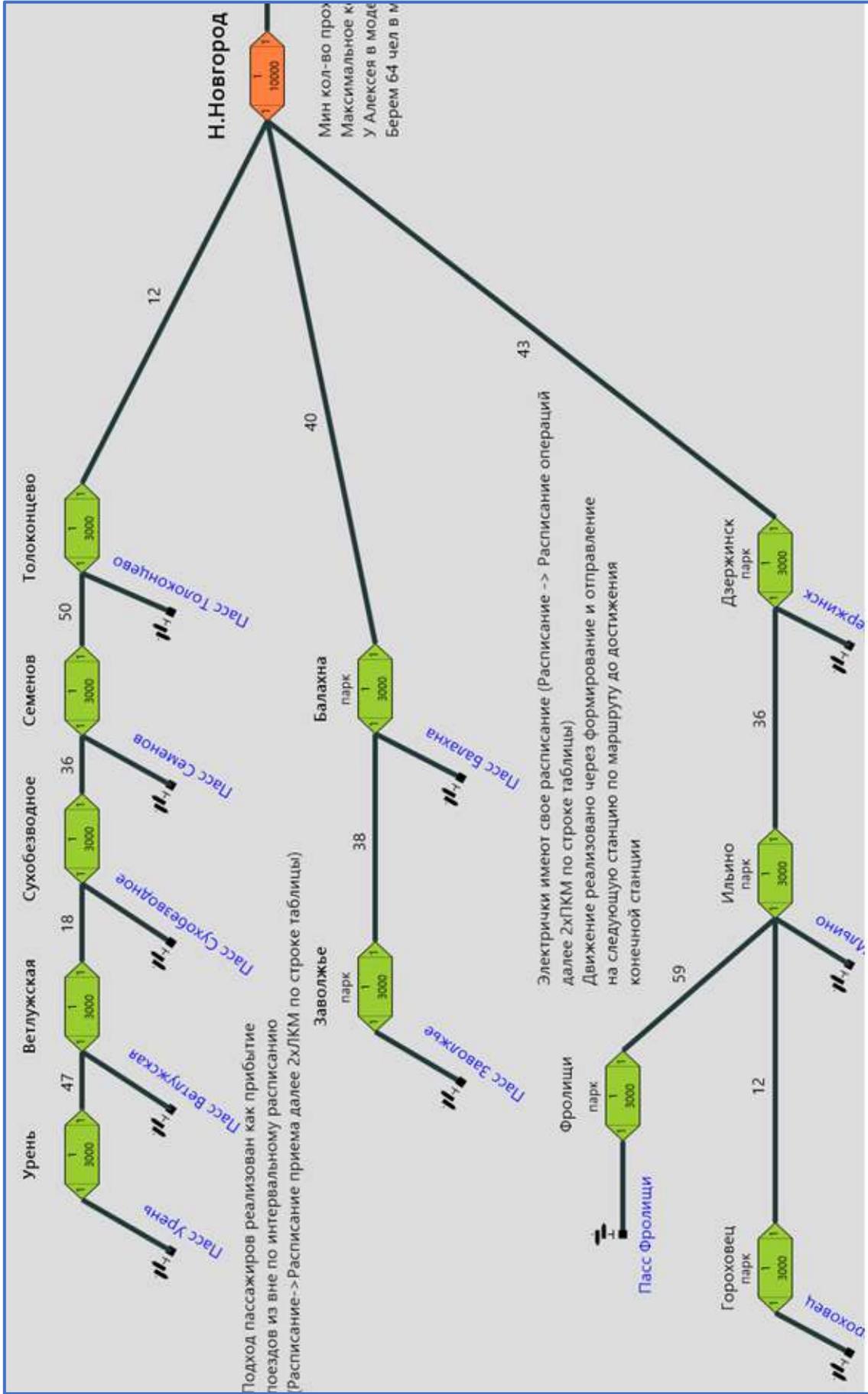


Рисунок 5.1 – Схема полигона пригородного движения Нижегородской агломерации

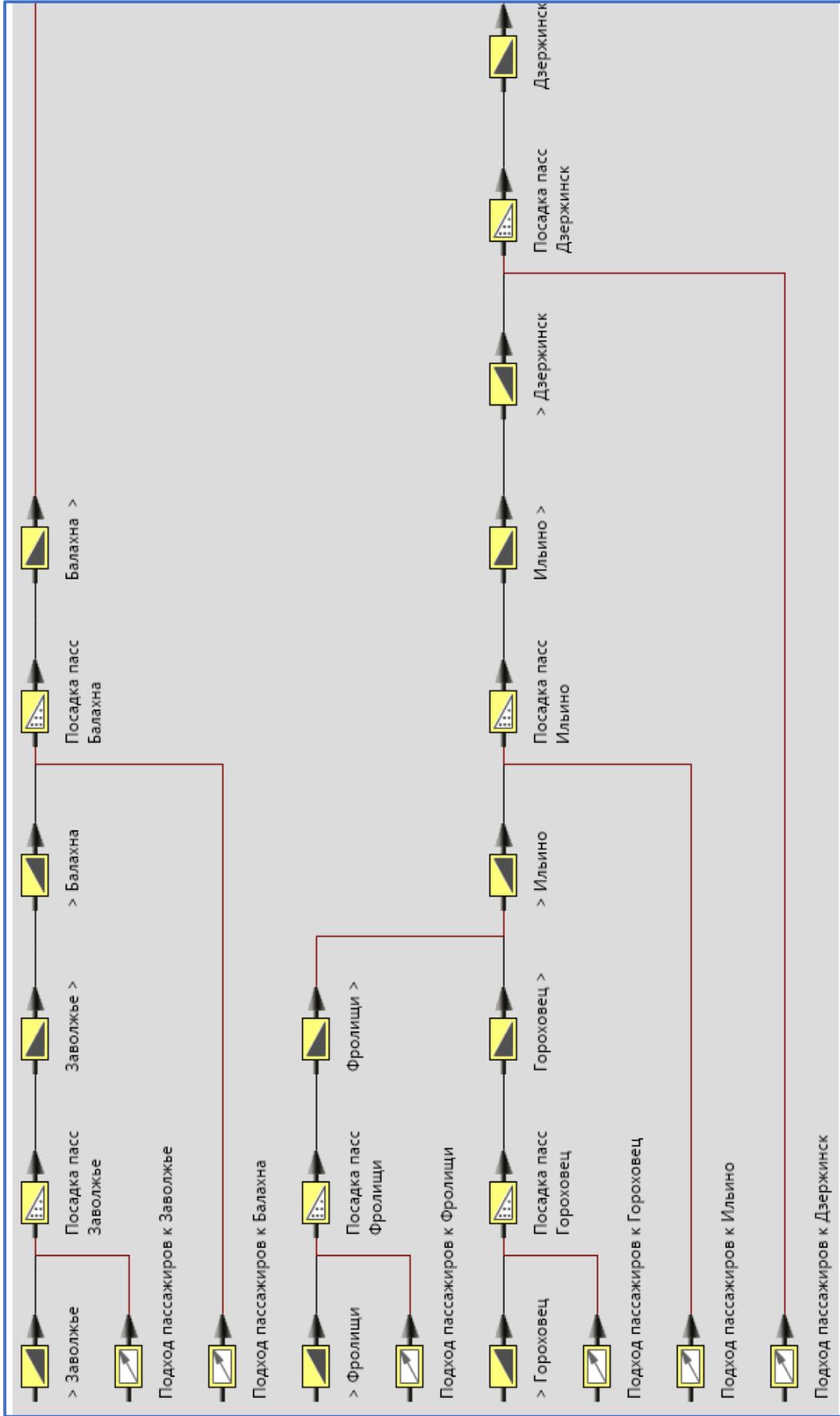


Рисунок 5.2 – Схема технологического процесса

График движения может использоваться различный, в данном случае принят существующий на этом полигоне. В динамике зарождения пассажиропотока на станциях обязательно учитывается возможный случайный разброс (рисунок 5.3).

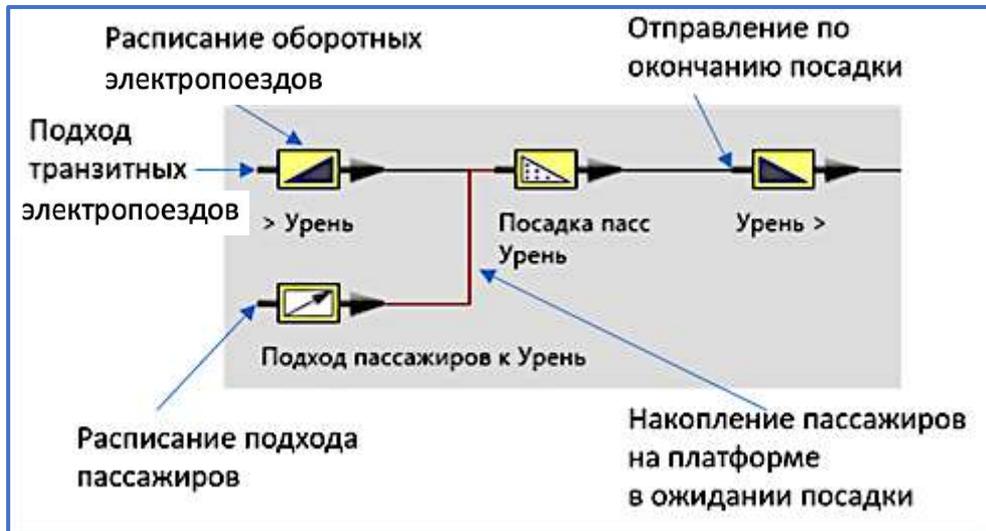


Рисунок 5.3 – Схема техпроцесса станций полигона

На схеме конечной станции (рисунок 5.4) и в технологическом процессе (рисунок 5.5) отображаются пропуск пассажиров через турникеты с возможным ожиданием. Пропускная способность турникетов может задаваться различной.



Рисунок 5.4 – Структурная схема конечной станции

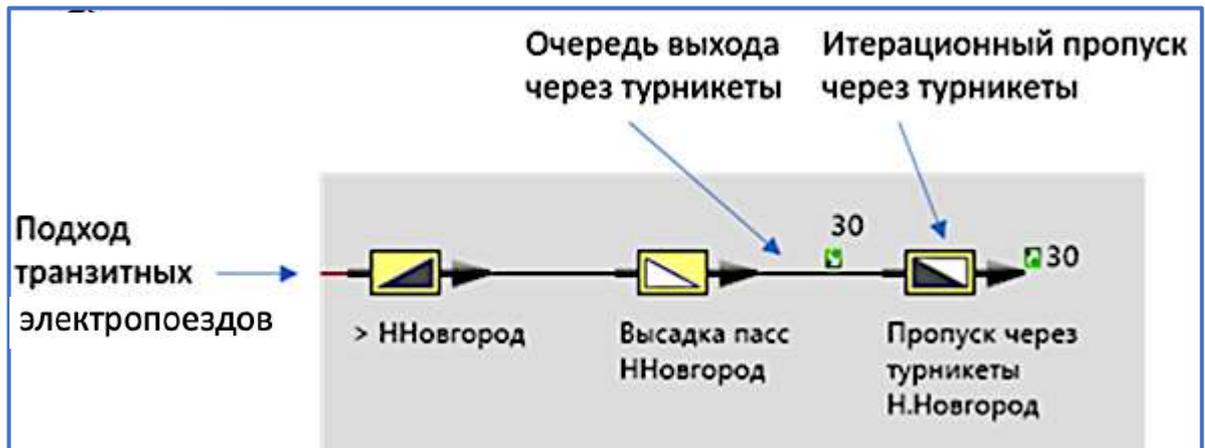


Рисунок 5.5 – Процессы на конечной станции

Ритм подхода пассажиров задается следующим образом. Выбирается интервал (час, полчаса и т. д), определяется среднее число пассажиров для этого интервала. Внутри интервала используется случайный разброс по заданному закону (рисунок 5.6). Этими механизмами можно описать самую различную динамику зарождения пассажиропотока.

3 [1]

Дни

Всегда
 Нечет
 Чет
 Сброс

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Интервал

сутки

12 часов

6 часов

4 часа

3 часа

2 часа

1 час

30 минут

3:00 - 4:00	0
4:00 - 5:00	120
5:00 - 6:00	550
6:00 - 7:00	800
7:00 - 8:00	500
8:00 - 9:00	300
9:00 - 10:00	0
10:00 - 11:00	0

Рисунок 5.6 – Задание ритма подхода пассажиров

Расписание отправления электропоездов задается в специальной таблице (рисунок 5.7).

Часы	Минуты	Всегда	Нечет	Чет	Сброс	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
00	00																				
0 - 6			6 - 12			12 - 18															
04:00	04:54	05:24	05:34	06:35	06:55	07:50	08:46	09:35	10:00	11:00	12:00										

Рисунок 5.7 – Задание расписания отправления электропоездов

Система моделирования ИМЕТРА имеет широкие возможности настройки модели. После расчета модель выдает протокол выполнения операций (рисунок 5.8).

N	название	Tпост	Tнач	Токон	dTнач
242	10 Подход пассажиров к Дзержинск	[1] 07:49	[1] 07:52	[1] 08:00	00:03
243	16 Подход пассажиров к Балахна	[1] 07:49	[1] 07:49	[1] 07:57	
244	4 Гороховец >	[1] 07:50	[1] 07:50	[1] 08:02	
245	14 Подход пассажиров к Заволжье	[1] 07:51	[1] 07:51	[1] 07:59	
246	24 Подход пассажиров к Семенов	[1] 07:51	[1] 07:51	[1] 07:59	
247	35 Выход в город	[1] 07:52	[1] 07:52	[1] 08:01	
248	27 Пропуск через турникеты Н.Новгород	[1] 07:53	[1] 07:54	[1] 07:55	00:01
249	26 Подход пассажиров к Толоконцево	[1] 07:55	[1] 07:55	[1] 08:03	
250	28 Ветлужская >	[1] 07:55	[1] 07:55	[1] 08:13	
251	32 Балахна >	[1] 07:55	[1] 07:55	[1] 08:35	
252	27 Пропуск через турникеты Н.Новгород	[1] 07:55	[1] 07:55	[1] 07:56	
253	27 Пропуск через турникеты Н.Новгород	[1] 07:56	[1] 07:56	[1] 07:57	
254	8 Подход пассажиров к Ильино	[1] 07:57	[1] 08:02	[1] 08:10	00:05
255	27 Пропуск через турникеты Н.Новгород	[1] 07:57	[1] 07:57	[1] 07:58	

Рисунок 5.8 – Протокол выполнения операций в модели

5.3.3. Результаты моделирования

График движения пригородных поездов использовался существующий (рисунок 5.9).

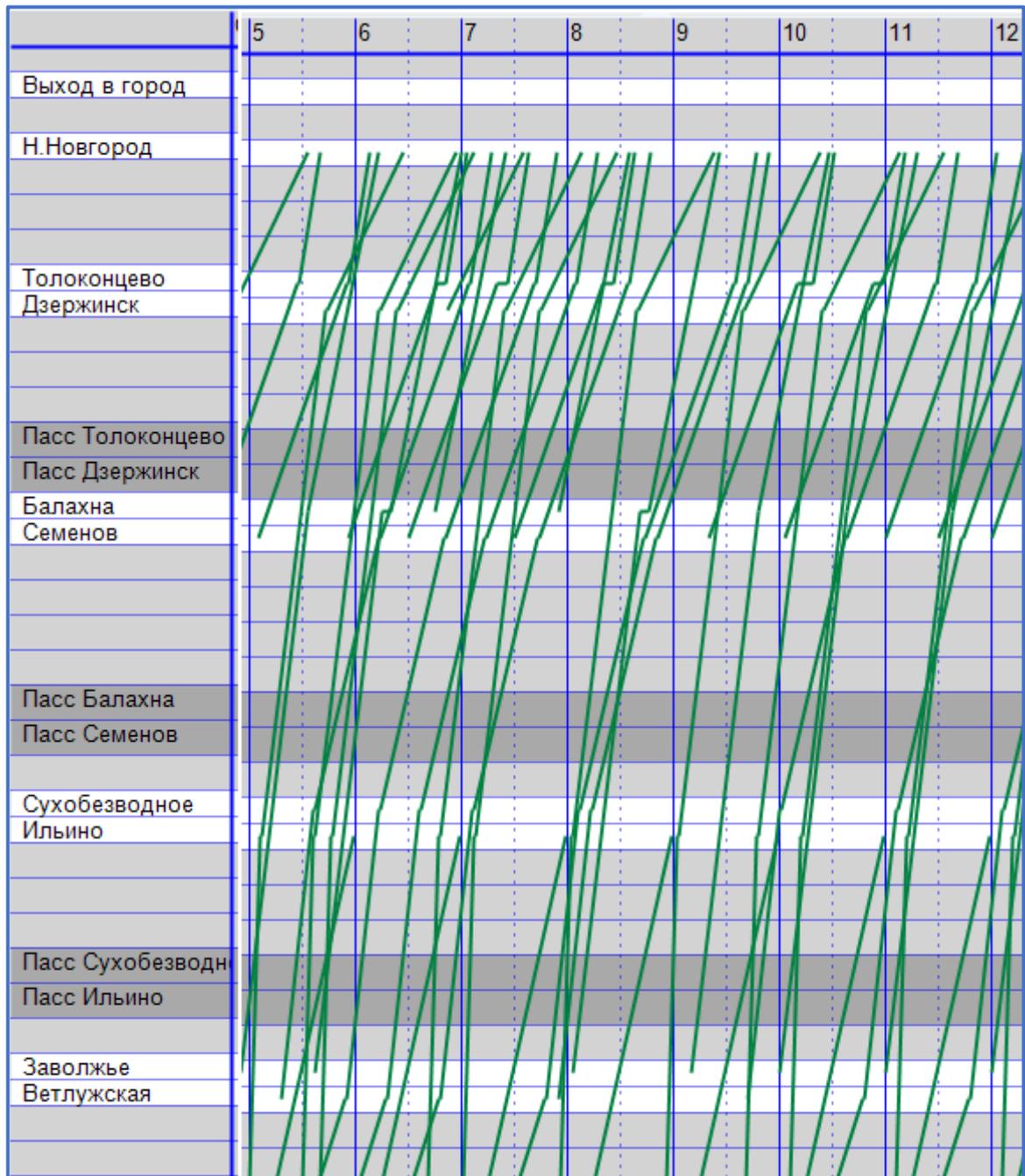


Рисунок 5.9 – Частота прибытия пригородных поездов на станцию Нижний Новгород

Расчеты проводились в двух вариантах:

а) поток неорганизованный, равномерный по средним значениям со значительным случайным разбросом;

б) один из вариантов организованного потока. Средние значения потока в двадцатиминутных интервалах соответствовали потокам в оптимизационной модели, но добавлялся случайный разброс. Результаты приведены ниже.

На станции Нижний Новгород средний простой пассажиров сократился вдвое (рисунки 5.10, 5.11).

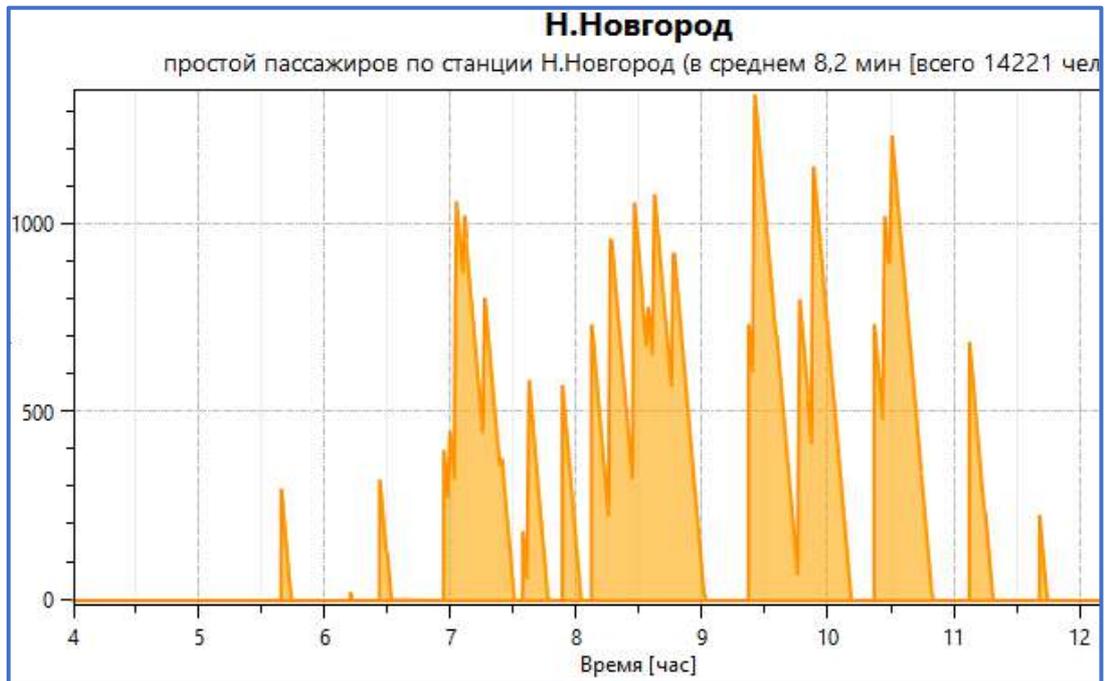


Рисунок 5.10 – Динамика пассажиропотока на станции Нижний Новгород (до корректировки)



Рисунок 5.11 – Динамика пассажиропотока на станции Нижний Новгород (с корректировкой)

На направлении Урень – Нижний Новгород (рисунок 5.12) график движения приведен на рисунке 5.13.

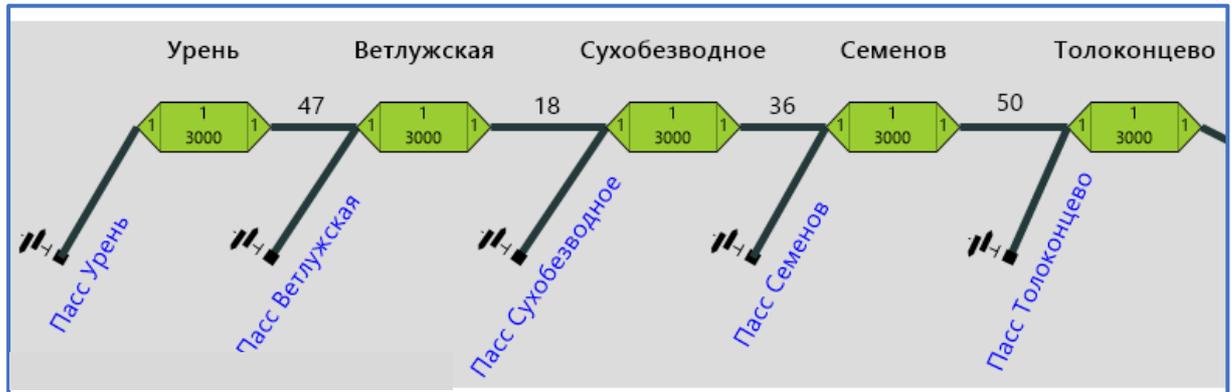


Рисунок 5.12 – Схема направления Урень – Нижний Новгород

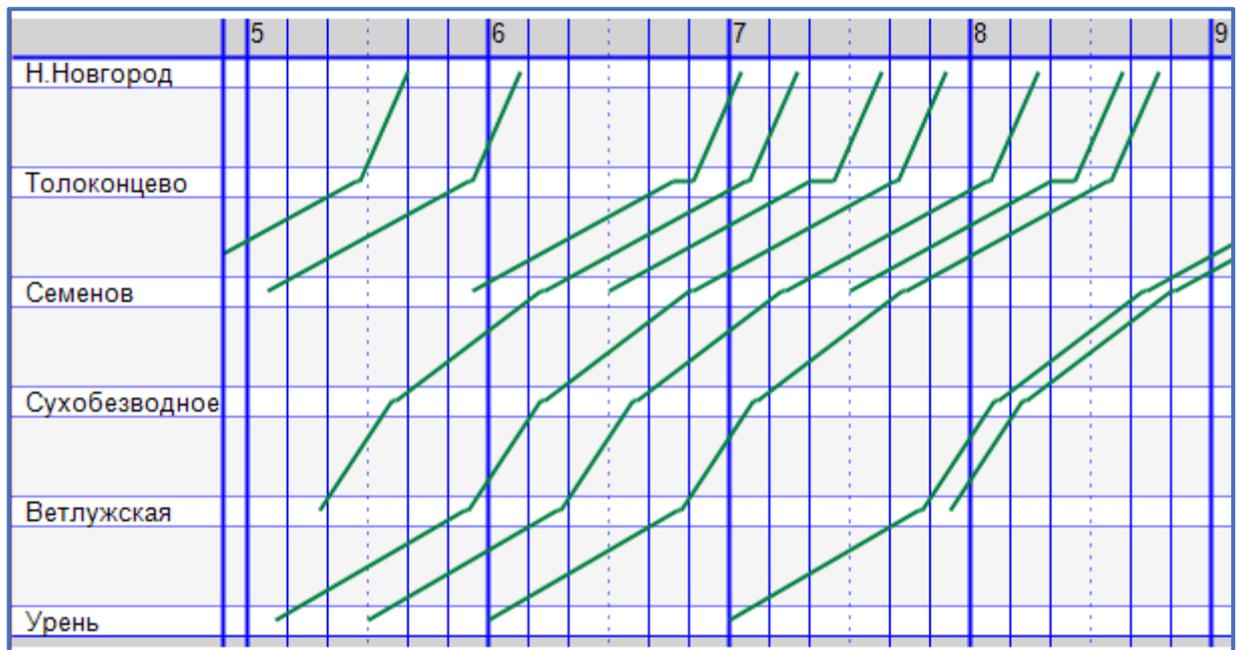


Рисунок 5.13. График движения пригородных поездов на направлении Урень – Нижний Новгород

Пассажиропоток на направлении Урень – Нижний Новгород составляет:

- ст. Урень – 948 пасс.,
- ст. Ветлужская – 1095 пасс.,
- ст. Сухобезводная – 432 пасс.,
- ст. Семенов – 3228 пасс.,
- ст. Толоконцево – 1192 пасс.

Динамика зарождения пассажиропотока, ожидания и отправления пассажиров до и после корректировки приведена на рисунках 5.14–5.23. Во всех случаях после корректировки ритмов прибытия простои пассажиров сократились, в разной степени.

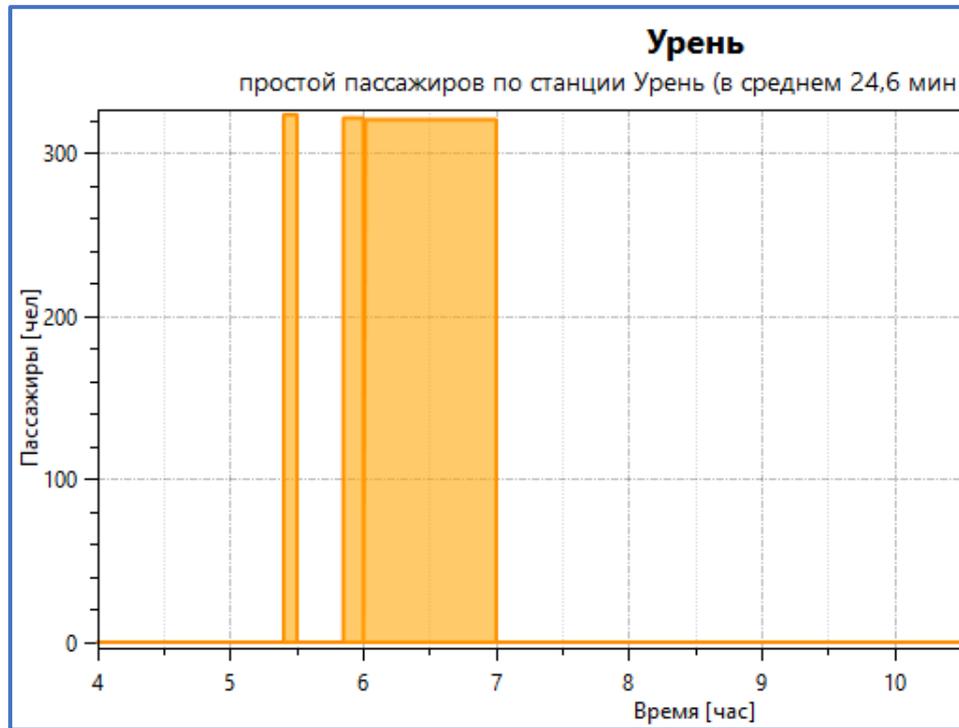


Рисунок 5.14 – Динамика числа пассажиров на станции Урень (до корректировки)



Рисунок 5.15 – Динамика числа пассажиров на станции Урень (с корректировкой)

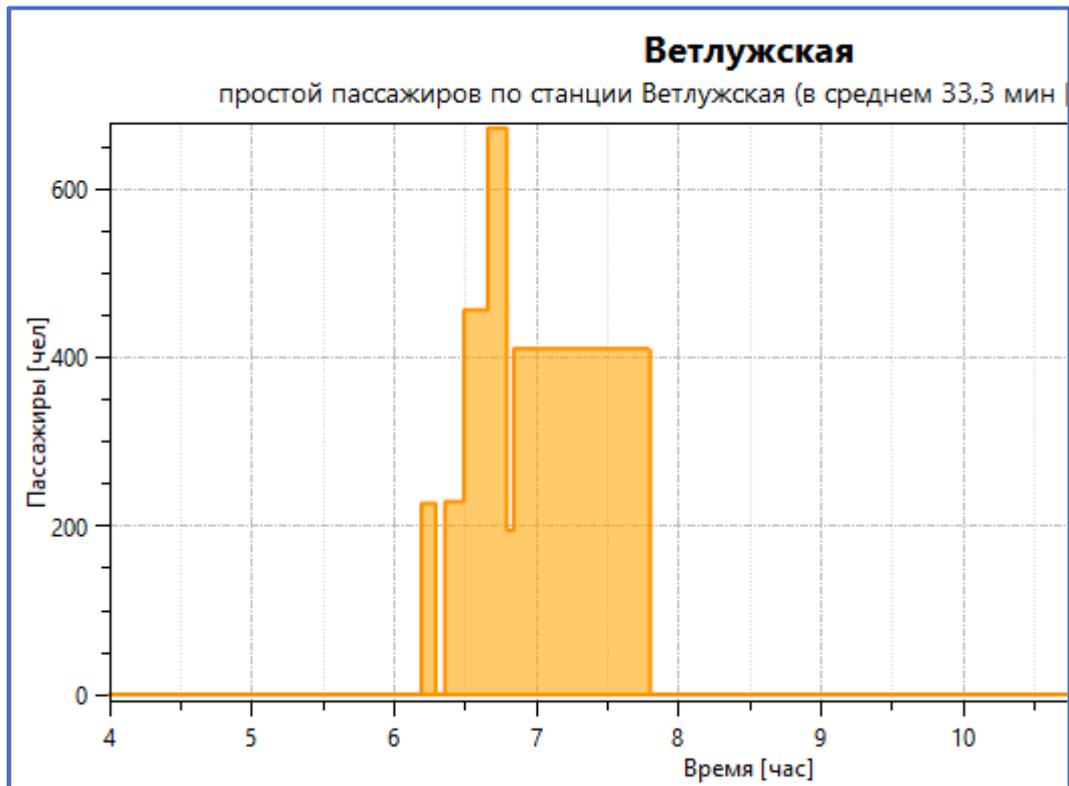


Рисунок 5.16 – Динамика числа пассажиров на станции Ветлужская (до корректировки)

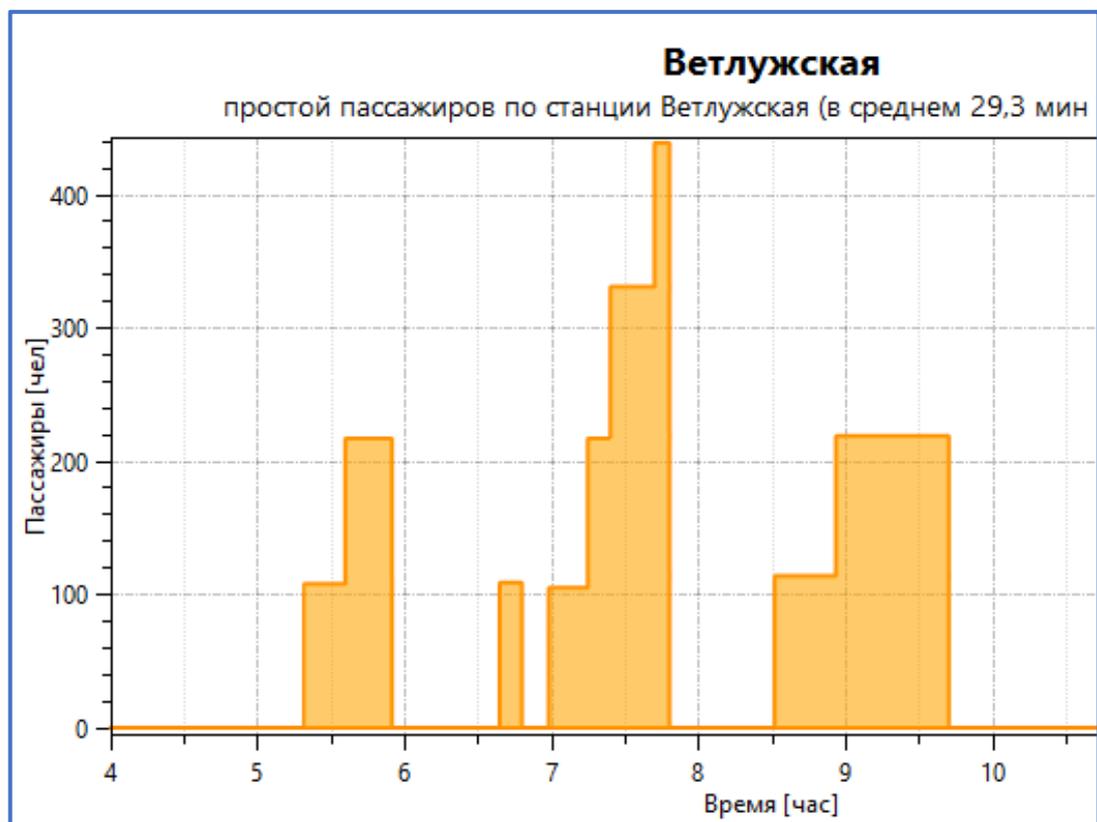


Рисунок 5.17 – Динамика числа пассажиров на станции Ветлужская (с корректировкой)



Рисунок 5.18 – Динамика числа пассажиров на станции Сухобезводное (до корректировки)

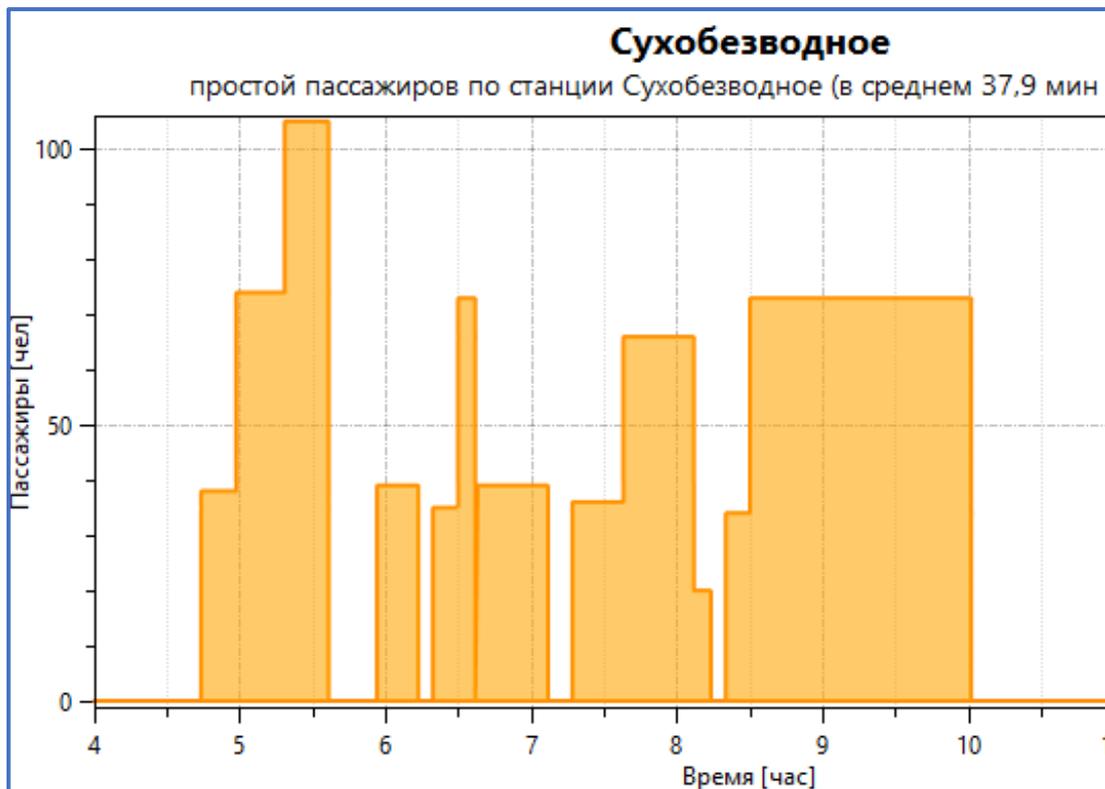


Рисунок 5.19 – Динамика числа пассажиров на станции Сухобезводное (с корректировкой)

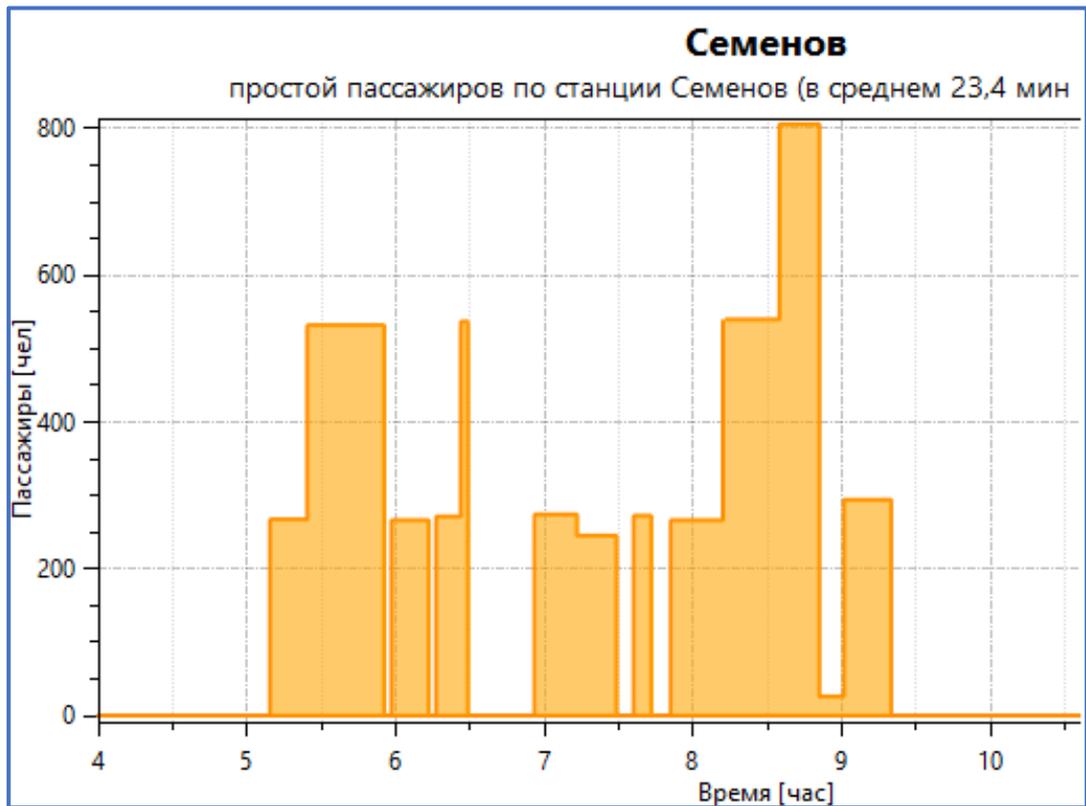


Рисунок 5.20 – Динамика числа пассажиров на станции Семенов (до корректировки)



Рисунок 5.21 – Динамика числа пассажиров на станции Семенов (с корректировкой)

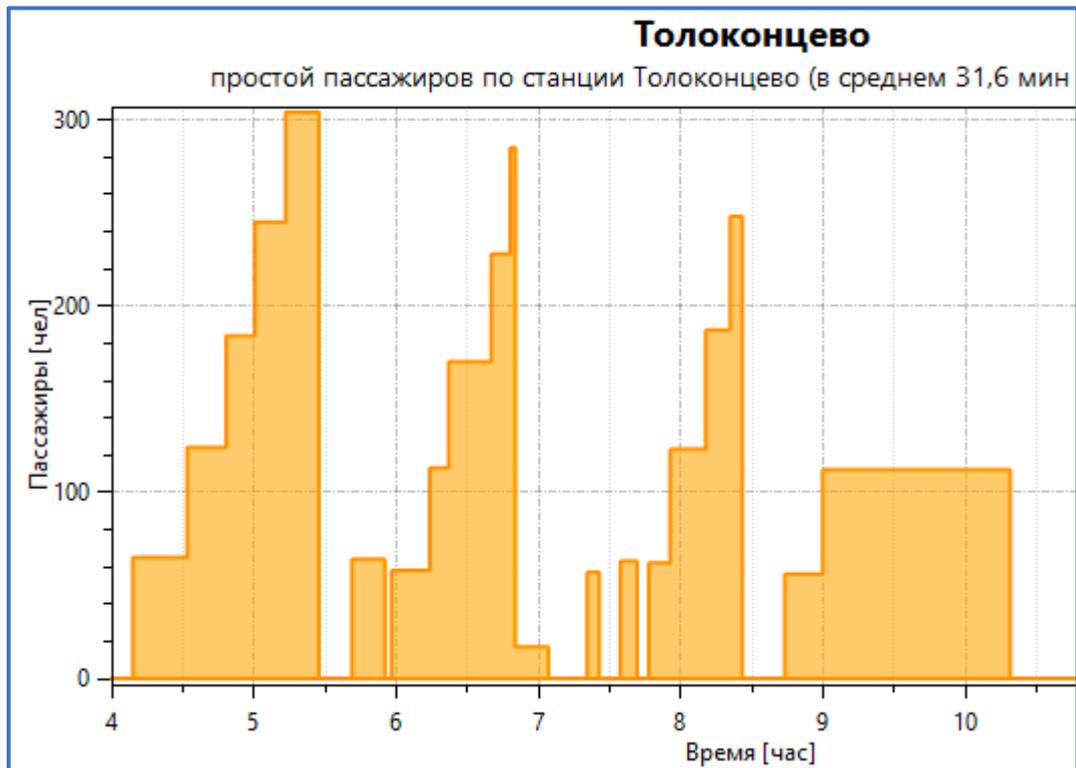


Рисунок 5.22 – Динамика числа пассажиров на станции Толоконцево (до корректировки)

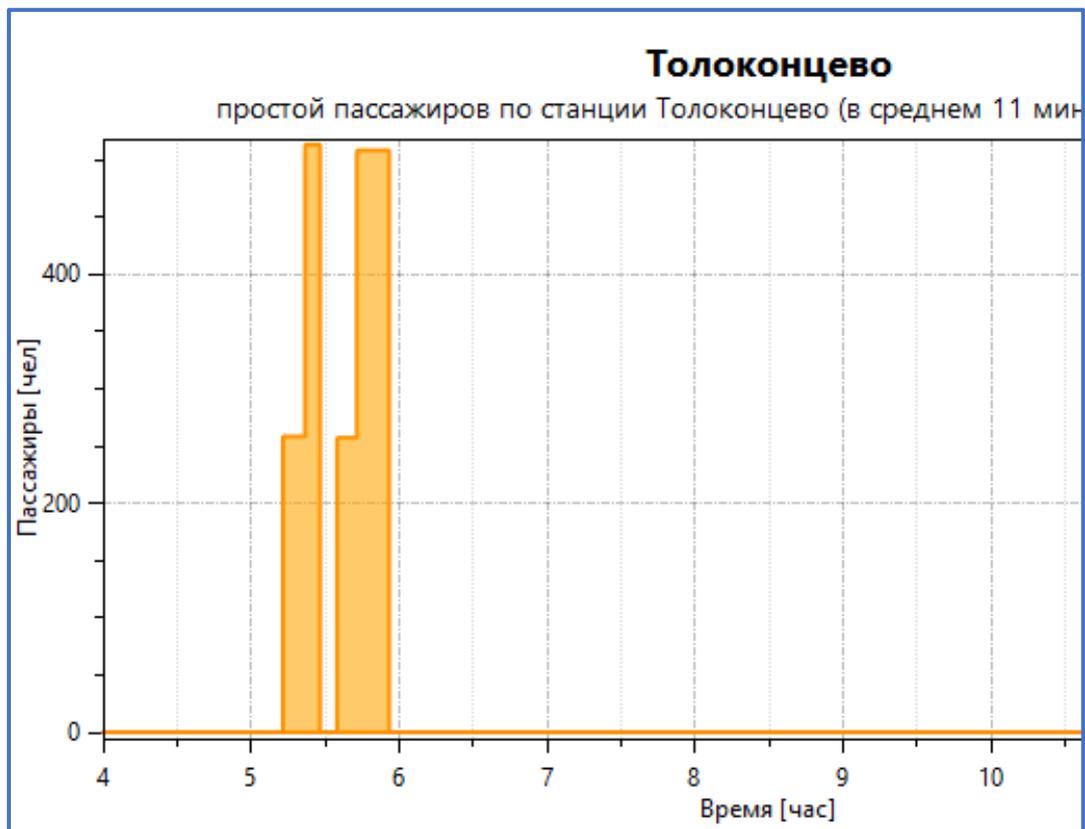


Рисунок 5.23 – Динамика числа пассажиров на станции Толоконцево (с корректировкой)

На направлении Заволжье – Балахна поток пассажиров меньше, поэтому нитки графика движения проложены реже (рисунки 5.24, 5.25).

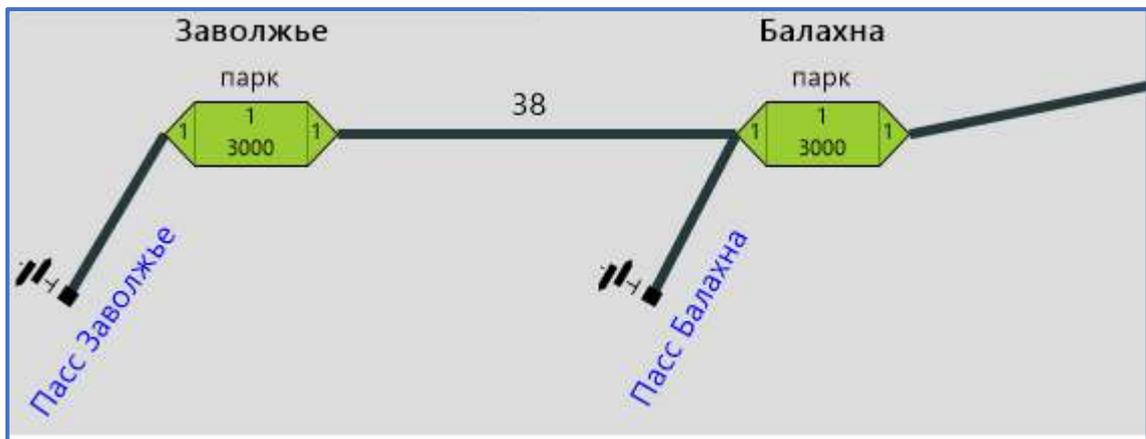


Рисунок 5.24 – Схема направления Заволжье – Нижний Новгород

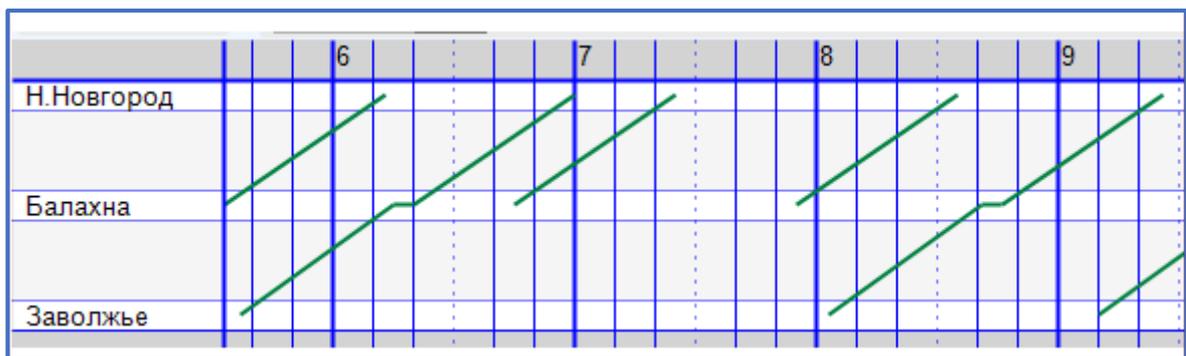


Рисунок 5.25 – График движения на направлении Заволжье – Нижний Новгород

Пассажиропоток на направлении Заволжье – Нижний Новгород составляет:
ст. Заволжье – 1491 пасс.,

ст. Балахна – 496 пасс.

Динамика зарождения пассажиропотока, ожидания и отправления пассажиров до и после корректировки приведена на рисунках 5.26–5.29.

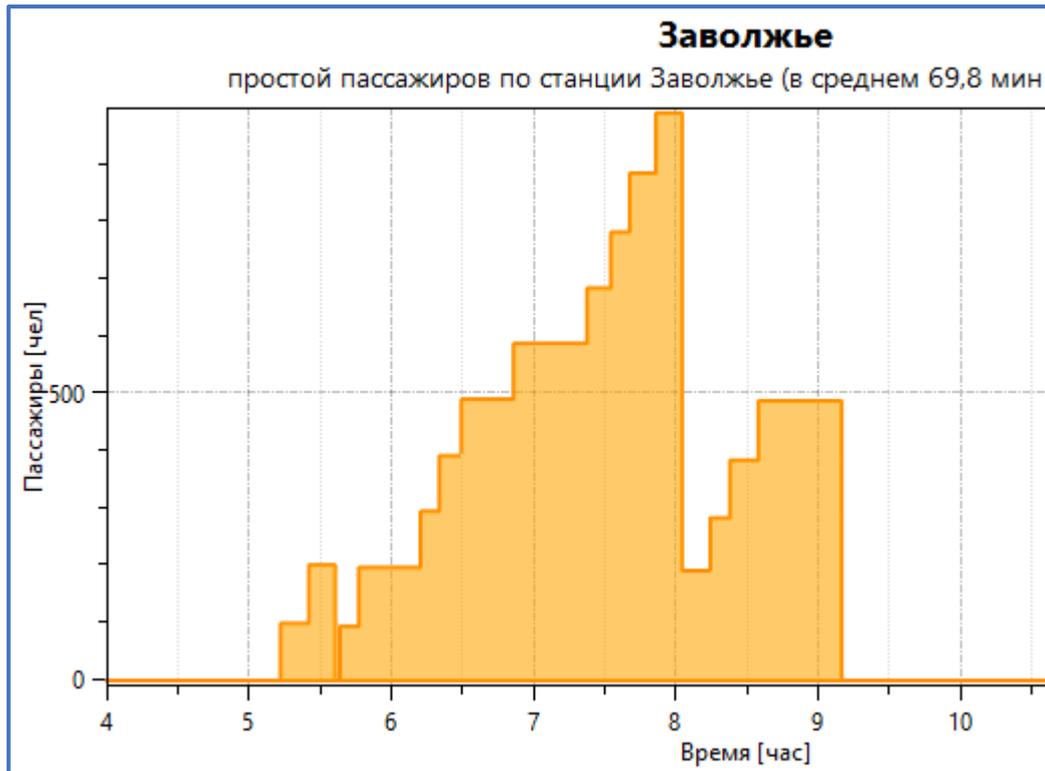


Рисунок 5.26 – Динамика числа пассажиров на станции Заволжье (до корректировки)

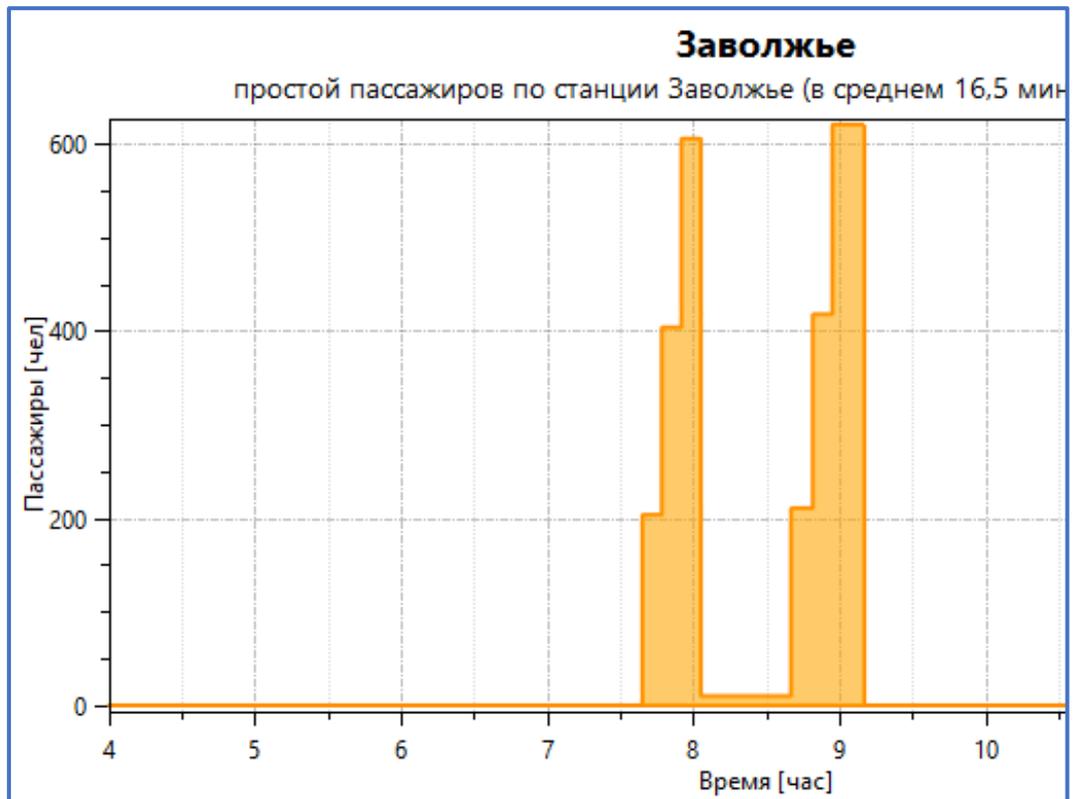


Рисунок 5.27 – Динамика числа пассажиров на станции Заволжье (с корректировкой)



Рисунок 5.28 – Динамика числа пассажиров на станции Балахна (до корректировки)



Рисунок 5.29 – Динамика числа пассажиров на станции Балахна (с корректировкой)

На направлении Гороховец – Дзержинск идет основной пассажиропоток, от Фролищи только 204 пассажира (рисунки 5.30, 5.31).

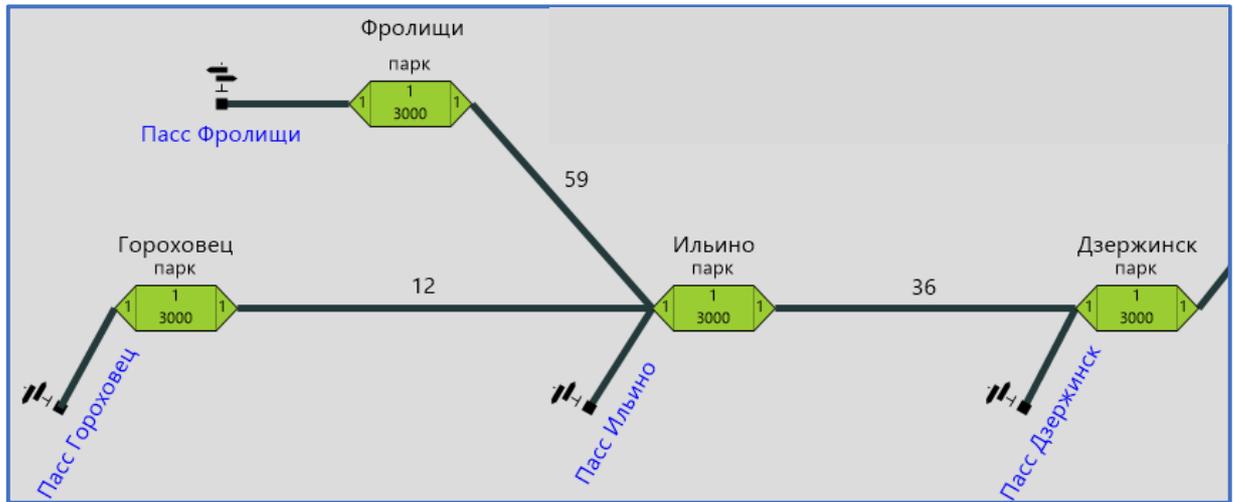


Рисунок 5.30 – Схема направления Гороховец – Нижний Новгород

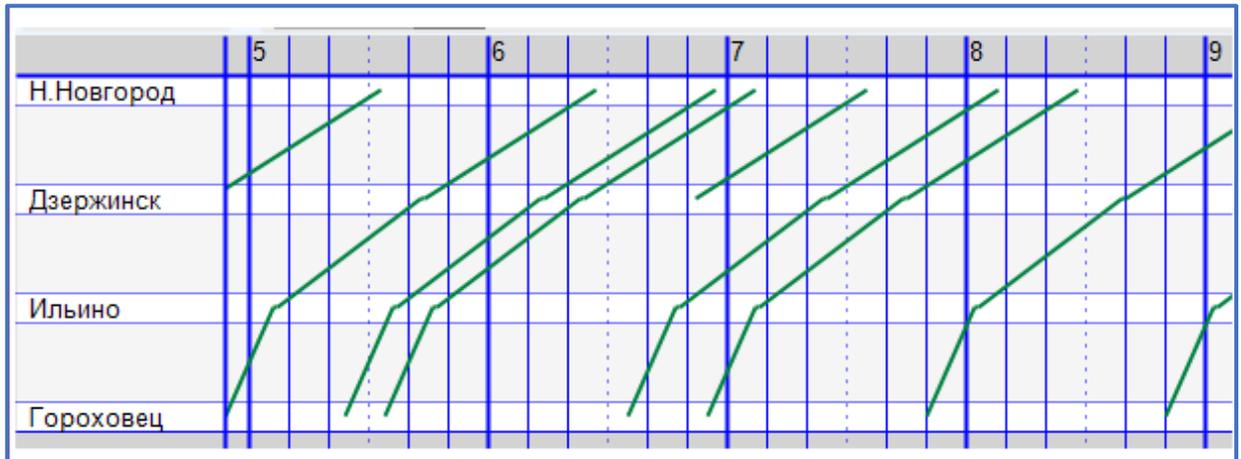


Рисунок 5.31 – График движения на направлении Гороховец, Фролищи – Нижний Новгород

Пассажиропоток на этом направлении составляет:

ст. Гороховец – 1624 пасс.,

ст. Фролищи – 204 пасс.

ст. Ильино – 1263 пасс.,

ст. Дзержинск – 2248 пасс.

Динамика зарождения пассажиропотока, ожидания и отправления пассажиров до и после корректировки приведена на рисунках 5.32–5.39.

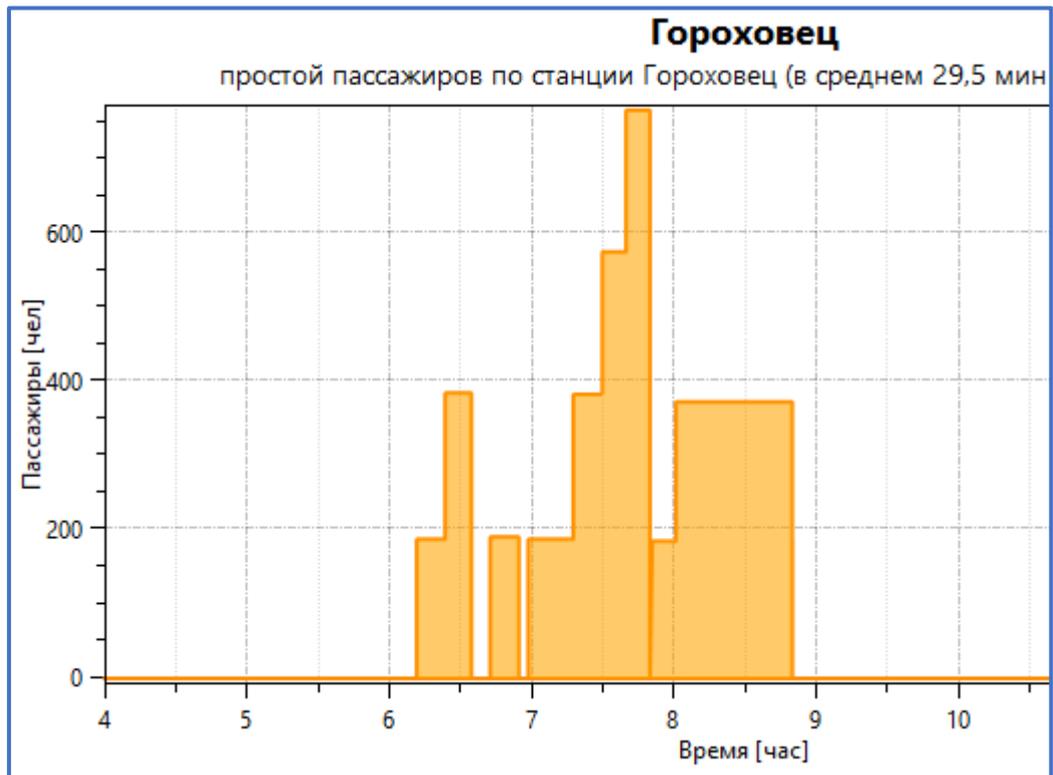


Рисунок 5.32 – Динамика числа пассажиров на станции Гороховец (до корректировки)

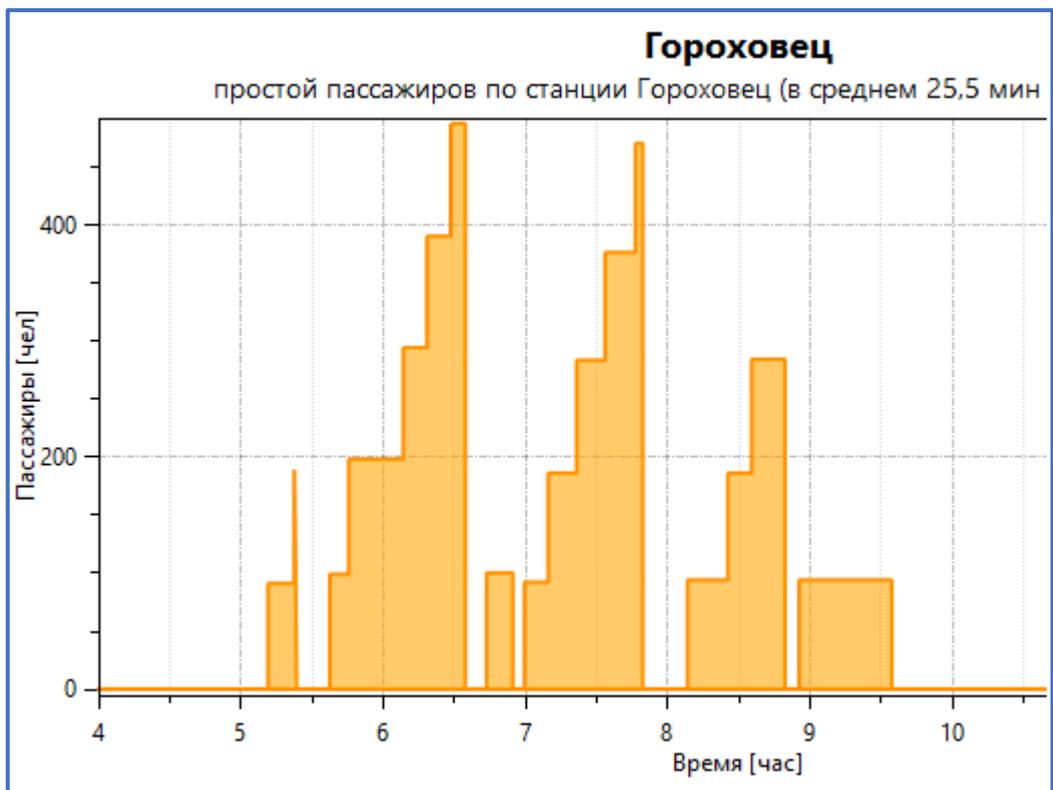


Рисунок 5.33 – Динамика числа пассажиров на станции Гороховец (с корректировкой)



Рисунок 5.34 – Динамика числа пассажиров на станции Фролищи (до корректировки)



Рисунок 5.35 – Динамика числа пассажиров на станции Фролищи (с корректировкой)

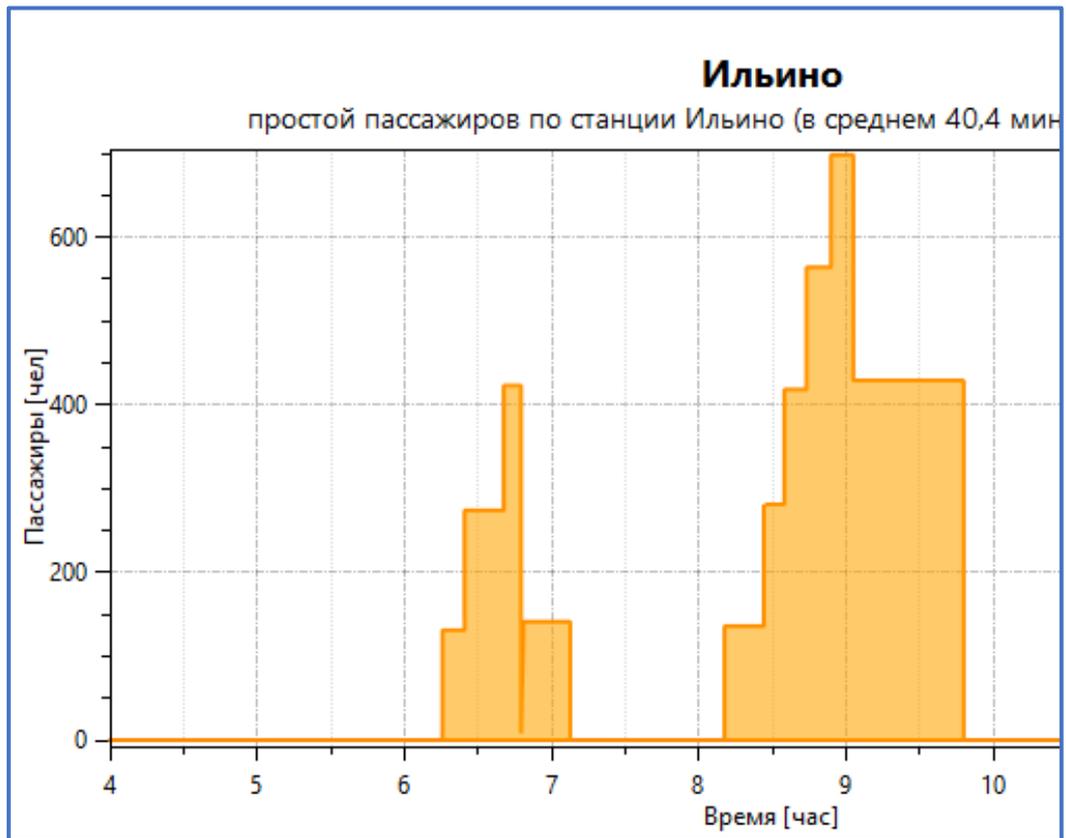


Рисунок 5.36 – Динамика числа пассажиров на станции Ильино (до корректировки)



Рисунок 5.37 – Динамика числа пассажиров на станции Ильино (с корректировкой)



Рисунок 5.38 – Динамика числа пассажиров на станции Дзержинск (до корректировки)

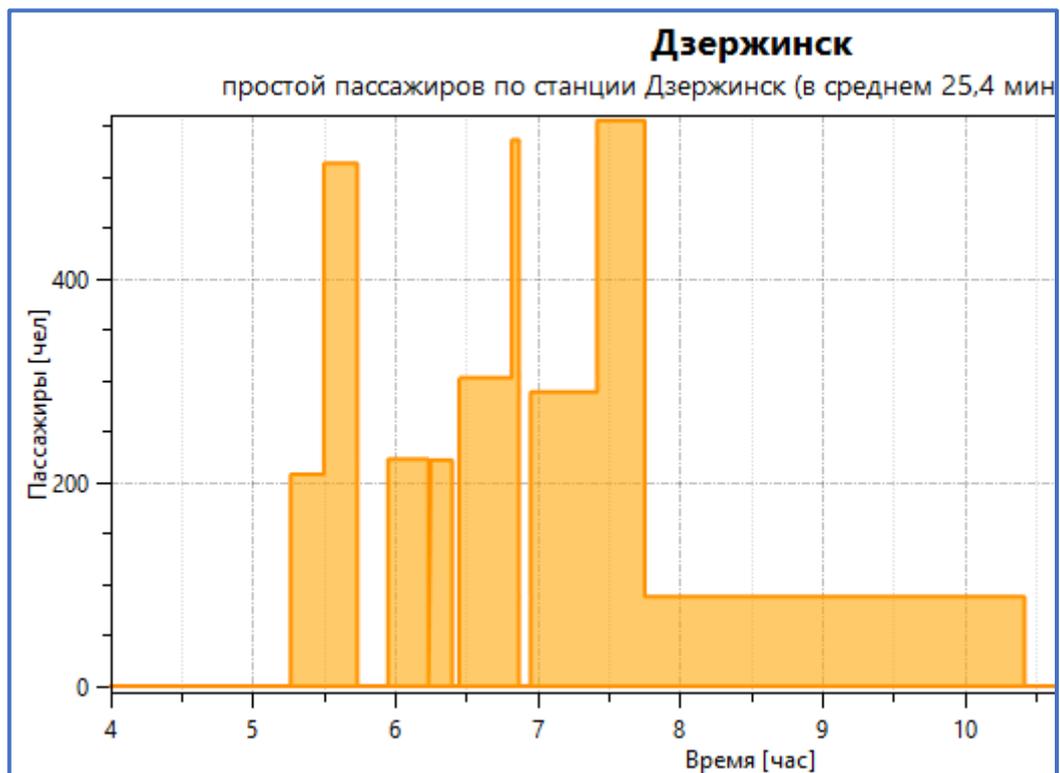


Рисунок 5.39 – Динамика числа пассажиров на станции Дзержинск (с корректировкой)

Таким образом, при организованном потоке простои пассажиров и на станциях отправления, и на головной станции сокращаются. Причем сокращение ожидания отправления пассажирами наблюдается на всех станциях, но в различной степени. На станции Нижний Новгород простои сократились почти в 2 раза. На станциях Дзержинск и Заволжье ожидание также сократилось практически в 2 раза. На станции Заволжье – в 4 раза. На станциях участка Урень – Нижний Новгород, за исключением станции Толоконцево (сокращение ожидания в 3 раза) сокращение есть но сравнительно небольшое. Это объясняется вариантом организации пассажиропотока, выбранным для данного эксперимента. В рассматриваемом варианте данный участок не имеет приоритета по сравнению с остальными, а поскольку время поездки между станциями, расположенными на нем, сравнительно большое, то и простои, и корректировки пассажиров возникают достаточно масштабные.

Практически отсутствие снижения времени простоев пассажиров на станции Фролищи объясняется сравнительно небольшим пассажиропотоком (204 человека за расчетный период) и тем, что данная станция примыкает к основному направлению при том, что время поездки до станции примыкания Ильино составляет 59 минут. Все это приводит к невозможности снижения размеров корректировок в расчетный период. Конечно, в оптимизационной модели можно это изменить, задав высокий приоритет станции и всему направлению, включить запрет возникновения очередей – тогда и результаты имитационного моделирования будут другими. Однако на практике такое решение абсолютно невозможно. Пассажиропоток очень маленький, а такие приоритетные условия его освоения приведут к изменениям в работе всего транспортного комплекса агломерации с пассажиропотоками на несколько порядков, превышающими пассажиропоток, отправляющийся со станции Фролищи.

Такие результаты еще раз подтверждают результативность организации пассажиропотока и правильность выбранных методов, позволяющих достичь разумного совершенствования работы транспорта по обеспечению внутриагломерационных перемещений населения.

Выводы к главе 5

1. Результаты расчетов на оптимизационной модели организации пассажиропотока проверены с помощью имитационной модели ИМЕТРА. В оптимизационной модели решается математическая задача с использованием вполне определенного аппарата. Поэтому возникают разного рода ограничения. В частности, не отражено движение электропоездов и временной такт выбран в 20 минут. Имитационная модель свободна от этих ограничений.

2. В модели отражено движение поездов по существующему графику движения, временной такт выбран 1 минута. Пассажиропоток задавался со случайным разбросом.

3. Расчеты проводились в двух вариантах – с неорганизованным потоком и с организованным по одному из вариантов оптимизационной модели. Во втором случае средние значения входного пассажиропотока задавались как в оптимизационной модели, так и добавлялся случайный разброс.

4. Результаты показали сокращение при организованном потоке простоя пассажиров и на станциях отправления, и на конечной станции. Из-за отличия моделей результаты не совпали полностью, но по средним значениям были близки.

6. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НИТОК ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ СОСТАВАМИ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ

6.1. Содержательная постановка задачи

Организация пригородных пассажирских перевозок заключается в последовательном решении ряда сложных задач, начиная от анализа и подготовки исходных данных для расчетов и заканчивая реализацией процессов на практике (рисунок 6.1).



Рисунок 6.1 – Этапы исследований и задачи, решаемые в сфере пригородных пассажирских перевозок с учетом организации пассажиропотока

Итак, в целом задача оптимизации пригородных пассажирских перевозок на основе организации пассажиропотока решается последовательно в несколько этапов:

1. Подготовка исходных данных.

2. Организация однородного пассажиропотока с целью определения согласованных ритмов отправления пассажиров со станций участков и прибытия на станцию назначения, обеспечивающих консенсус между интересами пассажира и инфраструктурными возможностями транспорта.

3. Организация многоструйного (неоднородного) пассажиропотока, обеспечивающая повышение клиентоориентированности транспортного обслуживания с помощью учета интересов отдельных сегментов пассажиропотока, в том числе по времени прибытия на станцию назначения.

4. Определение необходимых размеров движения транспортных средств (пригородных поездов и автотранспорта).

5. Разработка графика движения, в том числе совместное использование оптимизационных и имитационной моделей для моделирования процесса.

6. Разработка графика оборота подвижного состава и определение необходимого количества транспортных средств каждого вида транспорта.

Организация пассажиропотока является принципиально новым подходом к решению задач пригородных перевозок. Разработанные в диссертационном исследовании методологии позволяют более рационально использовать ресурсы транспорта для обеспечения перевозочного процесса. При этом под основными ресурсами понимаются инфраструктура и подвижной состав. Задачи организации пассажиропотока учитывают имеющиеся инфраструктурные ограничения, что позволяет рационализировать использование пропускных способностей участков, станций и отдельных элементов пассажирской инфраструктуры и пассажирских обустройств. Ограничения по вместимости и наличию пригородных поездов и автобусов учитываются весьма формально при задании пропускных способностей участков. Предполагается, что конкретный тип подвижного состава и размеры движения точно будут определены после организации пассажиропотока с учетом максимального сохранения найденного консенсуса между интересами пассажиров и возможностями транспорта.

Преобразовать организованный пассажиропоток в пригородные поезда, то есть определить необходимые для графика размеры движения, можно с

использованием известных методик, например представленных в работе Пазойского Ю.О. [191]. Если речь идет о перевозке с участием пригородных поездов и автобусов, то можно использовать методику, предложенную в исследовании [113]. Поскольку в качестве исходных данных будет использоваться уже организованный пассажиропоток, то статичность данных методик будет сглажена.

Но остается еще одна немаловажная задача, требующая решения для эффективной организации пригородных пассажирских перевозок. Эта задача сформулирована и поставлена в работе [131] и звучит так: обеспечить нитки графика движения составами пригородных поездов с наилучшим использованием самих составов.

В качестве аппарата оптимизации используется динамическая транспортная задача [97, 98] с соответствующей трансформацией.

Модель работает следующим образом. По нитке графика движения пригородных поездов должна следовать фиктивная единица потока k потоковая точка x . Однако она может следовать только вместе с составом пригородного поезда y , это обеспечивается соответствующим ограничением. Если состава нет, то задержка потоковой точки рассматривается как смещение нитки графика. Составы находятся на отстое на заданных станциях. Необходимо обеспечить составами все нитки графика движения пригородных поездов. Критерием является минимум суммарных затрат на обеспечение ниток графика движения пригородных поездов подвижным составом, то есть на организацию перевозок пассажиров в агломерации железнодорожным транспортом. Учитываются затраты на использование составов, на их резервные пробеги, а также потери от корректировки графика движения.

Оптимизационная модель должна позволять решать различные практические задачи при организации движения пригородных поездов, то есть иметь возможность нахождения решения при разных вариантах:

- при заданном числе составов и разрешении на сдвиг ниток графика;
- то же, но при запрещении сдвига;

- при свободном привлечении составов из заданного резерва и различных стоимостных параметрах и др.

6.2. Оптимизационная модель

Обозначим сектор входа станции индексом i , сектор выхода – индексом j . Известны длины S участков между станциями: предшествующий станции участок обозначим mi , следующий после станции участок – jn .

Основные уравнения.

Баланс потоковых точек в секторе входа станции, динамика числа потоковых точек в секторе входа станции для потока k :

$$x_{ii}^k(t_p) = x_{ii}^k(t_{p-1}) - x_{ij}^k(t_p) - \omega_i^k(t_p) + x_{mi}^k(t_p - \tau_{mi}), \quad (6.1)$$

где $x_{ii}^k(t_{p-1})$ – задержка потоковой точки в секторе входа станции;

$x_{ij}^k(t_p)$ – число потоковых точек, переведенных из сектора входа i в сектор выхода j станции;

$\omega_i^k(t_p)$ – фиксатор фактического прибытия поезда в сектор входа (также используется для расчета продолжительности задержки поезда);

$x_{mi}^k(t_p - \tau_{mi})$ – количество потоковых точек, поступающих с предыдущего участка mi ;

τ_{mi} – выраженная в тактах продолжительность движения пригородного поезда по участку mi .

Баланс с учетом динамики потоковых точек в секторе выхода станции для потока k :

$$x_{jj}^k(t_p) = x_{jj}^k(t_{p-1}) + \omega_j^k(t_p) + x_{ij}^k(t_p - \tau_{ij}) - x_{jn}^k(t_p), \quad (6.2)$$

где $x_{jj}^k(t_{p-1})$ – единичная задержка потоковой точки;

$\omega_j^k(t_p)$ – фиксатор появления потоковой точки (потоковая точка + состав);

$x_{ij}^k(t_p - \tau_{ij})$ – число потоковых точек, переданных из сектора входа станции в сектор выхода;

τ_{ij} – выраженная в тактах продолжительность движения пригородного поезда из сектора входа в сектор выхода станции;

$x_{jn}^k(t_p)$ – поток пригородных поездов на участке jn .

Отображение задержки потоковой точки относительно графика движения пригородных поездов с учетом динамики числа опаздывающих потоковых точек для потока k :

$$\Delta x_i^k(t_p) = \Delta x_i^k(t_{p-1}) + q_i^k(t_p) - \omega_i^k(t_p), \quad (6.3)$$

где $\Delta x_i^k(t_{p-1})$ – динамика числа задерживаемых потоковых точек (>0) означает, что нитка опаздывает на 1 такт, (0) – что задержек нет;

$q_i^k(t_p)$ – фиксатор времени прибытия пригородного поезда по расписанию.

Добавляет единицу (+1) к переменной $\Delta x_i^k(t_p)$;

$\omega_i^k(t_p)$ – фиксатор факта прибытия пригородного поезда.

Отображение задержки перехода потоковой точки в сектор выхода станции. Динамика числа потоковых точек, ожидающих состав на такте t_p для потока k . Если нет состава или нет возможности появления потоковой точки на станции из-за ее вместимости, то ожидающие потоковые точки отображаются переменной $\Delta x_j^k(t_p)$.

$$\Delta x_j^k(t_p) = \Delta x_j^k(t_{p-1}) + q_j^k(t_p) - \omega_j^k(t_p), \quad (6.4)$$

где $\Delta x_j^k(t_{p-1})$ – число потоковых точек, ожидающих состав;

$q_j^k(t_p)$ – фиксатор времени появления потоковой точки по расписанию.

Прибавляет (+1) к значению $\Delta x_j^k(t_p)$;

$\omega_j^k(t_p)$ – фиксатор времени появления потоковой точки отнимает (-1) от значения $\Delta x_j^k(t_p)$, также используется в формуле баланса потоковых точек в секторе выхода станции $x_{jj}^k(t_p)$.

Динамика прохождения потоковой точкой станции с задержкой представлена на рисунке 6.2.

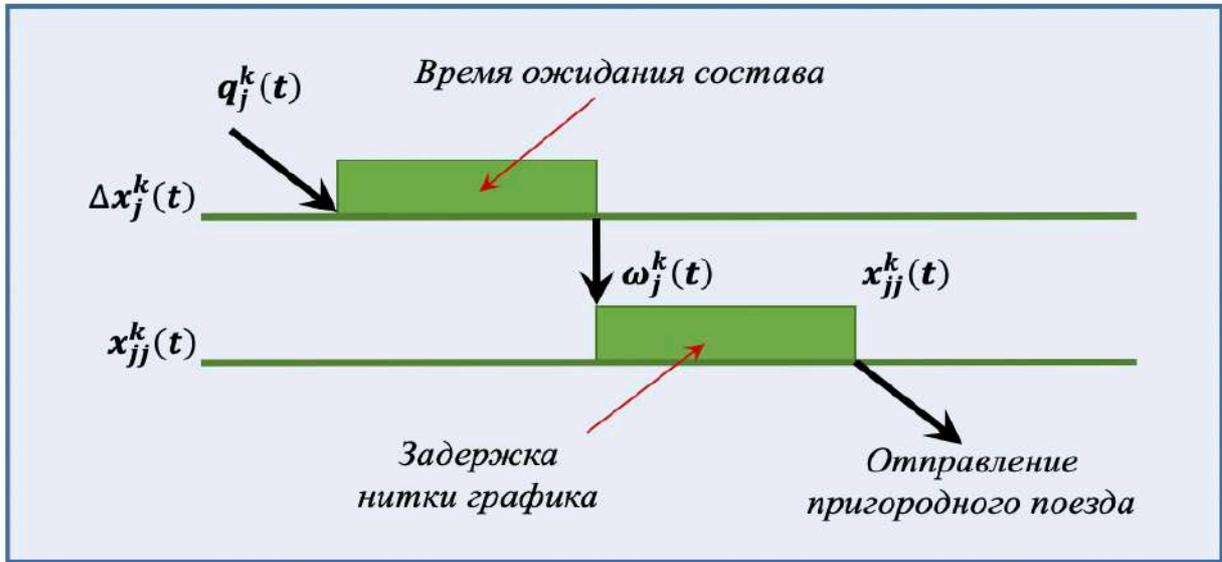


Рисунок 6.2 – Прохождение станции единицей потока

Баланс составов в секторе входа. Динамика числа составов в секторе входа станции: поскольку направление движения состава пригородного поезда может измениться, в формуле присутствуют переменные примыкающих участков:

$$y_{ii}(t_p) = y_{ii}(t_{p-1}) - y_{ij}(t_p) + \sum_m y_{mi}(t_p - \tau_{mi}), \quad (6.5)$$

где $y_{ii}(t_{p-1})$ – остаток составов, переданных из сектора входа в сектор выхода станции;

$\sum_m y_{mi}(t_p - \tau_{mi})$ – число составов, прибывших с примыкающих участков;

τ_{mi} – время прохождения составом участка mi в тактах;

Баланс составов в секторе выхода станции. Динамика числа составов: состав может менять направление движения.

$$y_{jj}(t_p) = y_{jj}(t_{p-1}) - y_{ij}(t_p - \tau_{ij}) + \sum_n y_{jn}(t_p) + z_j(t_p), \quad (6.6)$$

где $y_{jj}(t_{p-1})$ – остаток составов в секторе выхода станции;

$y_{ij}(t_p - \tau_{ij})$ – число составов, переданных из сектора входа в сектор выхода станции;

τ_{ij} – время передачи состава из сектора входа в сектор выхода станции;

$\sum_n y_{jn}(t_p)$ – число составов, отправленных на примыкающие участки;

$z_j(t_p)$ – фиксатор подачи составов в сектор выхода станции из резерва.

Дополнительные ограничения:

– ограничение по вместимости станции (для всех потоков):

$$\sum_k x_{ii}^k(t_p) + \sum_k x_{jj}^k(t_p) \leq d, \quad (6.7)$$

где d – вместимость станции.

– ограничение по вместимости станции по нечетному направлению:

$$\sum_k x_{ii}^k(t_p) + \sum_k x_{jj}^k(t_p) \leq d_n, \quad k \in K_n, \quad (6.8)$$

где K_n – поток нечетного направления движения;

d_n – вместимость станции по нечетному направлению;

– ограничение по вместимости станции по четному направлению:

$$\sum_k x_{ii}^k(t_p) + \sum_k x_{jj}^k(t_p) \leq d_q, \quad k \in K_q, \quad (6.9)$$

где K_q – поток четного направления движения;

d_q – вместимость станции по четному направлению.

Общая вместимость станции всегда меньше, либо равна сумме вместимости в четном и нечетном направлении $d \leq d_n + d_q$. Пути на станции могут использоваться, как только в четном или нечетном, так и в обоих направлениях.

Формула ограничения, не допускающая перемещения единицы потока по станции без состава:

$$y_{ij}(t_p) \geq \sum_k x_{ij}^k(t_p). \quad (6.10)$$

Ограничение резерва составов на станции:

$$\sum_p z_j(t_p) \leq Z, \quad (6.11)$$

где Z – максимальное число составов, которое может быть привлечено из резерва.

Балансные уравнения участка (рисунок 6.3):

- ограничение, не допускающее перемещение единицы потока по участку без состава:

$$\sum_k x_{mi}^k(t_p) \leq y_{mi}(t_p), \quad (6.12)$$

- ограничение по пропускной способности участка:

$$y_{mi}(t_p) \leq d_{mi}, \quad (6.13)$$

где d_{mi} – пропускная способность участка.

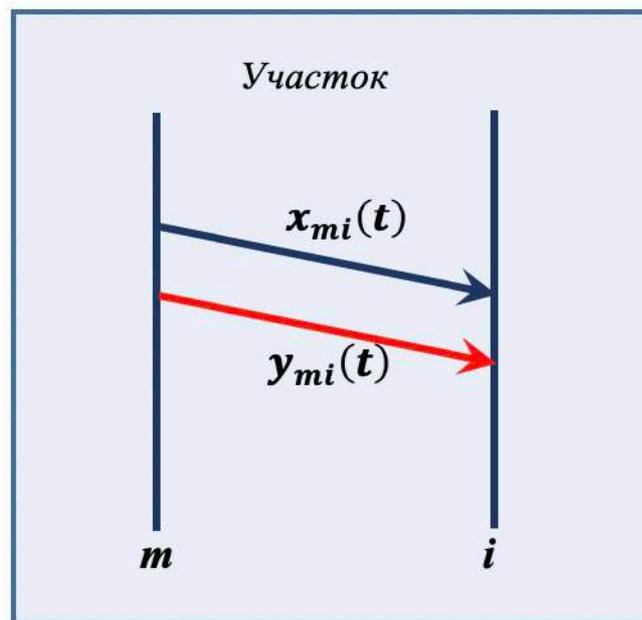


Рисунок 6.3 – Невозможность прохождения единицы потока без состава

Схема процесса движения единиц потока и составов показана на рисунке 6.4.

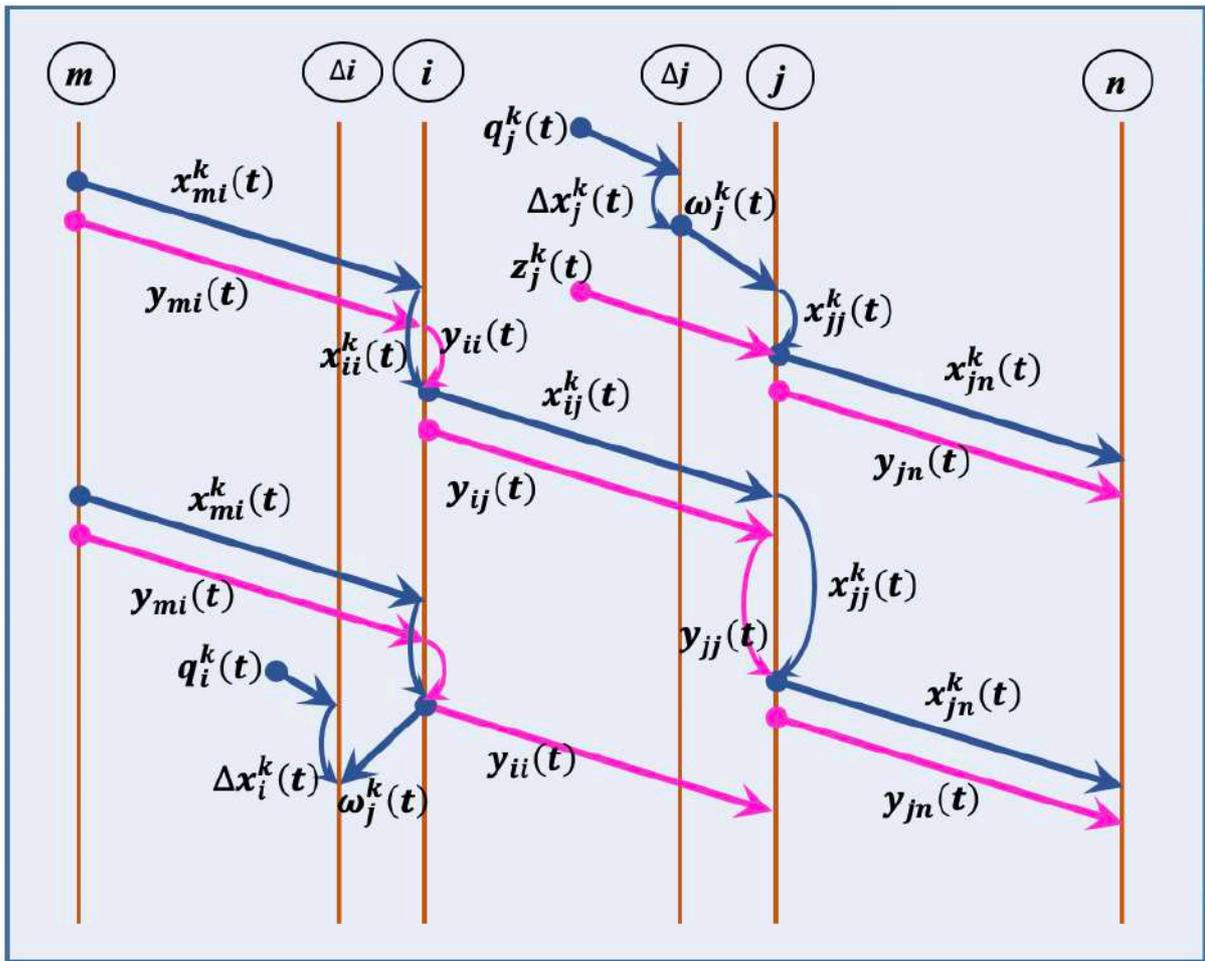


Рисунок 6.4 – Прохождение единиц потока и составов через станции и участки

Критерий оптимизации:

$$\begin{aligned}
 & C_l \cdot \sum_p t_p \cdot \sum_j \sum_p z_j(t_p) + M \cdot \sum_i \sum_p y_{ii}(t_p) + M_n \cdot \sum_i \sum_k \Delta x_i^k(T-1) + \\
 & + C_h \cdot \sum_i \sum_k \sum_p x_{ii}^k(t_p) + C_h \cdot \sum_j \sum_k \sum_p x_{jj}^k(t_p) + \\
 & + (C_h + 1) \cdot \sum_j \sum_k \sum_p \Delta x_j^k(t_p) + C_d \cdot \sum_i \sum_k \sum_p \Delta x_i^k(t_p) + \\
 & + C_{lr} \cdot \left(\sum_m \sum_i \sum_p S_{mi} \cdot \left(y_{mi}(t_p) - \sum_k x_{mi}^k(t_p) \right) \right) \rightarrow \min, \quad (6.14)
 \end{aligned}$$

где C_l – стоимость одного составо-пакета,

M – большая величина (для запрета нахождения состава в секторе входа),

M_n – стоимость штрафа за непроведенную нитку графика (большое число),

T – последний расчетный такт,

C_h – стоимость одного потоко-такта,

C_d – стоимость одного такта задержки (опоздания прибытия) потоковой точки,

S_{mi} – длина участка в километрах,

C_{lr} – стоимость составо-километра резервного пробега,

$t = t_0, t_1, t_2, \dots, t_p, \dots, T$.

Содержательный смысл слагаемых функционала:

$c_l \cdot \sum_p t_p \cdot \sum_j \sum_p z_j(t_p)$ – подсчет общей стоимости использования всех привлеченных составов. Для подсчета вычисляется общее количество составов, присылаемых из резерва $z_j(t_p)$ и затем умножается на стоимость использования одного состава за все моменты времени t_p ;

$M \cdot \sum_i \sum_p y_{ii}(t_p)$ – большая стоимость нахождения состава в секторе входа станции. Слагаемое «заставляет» состав быстрее переходить в сектор выхода;

$M_n \cdot \sum_i \sum_k \Delta x_i^k(T-1)$ – введение большого штрафа за неиспользованную нитку графика движения. Если поезд не смог прибыть на станцию до конца расчетного периода T , то в функционал добавляется штраф M_n ;

$C_h \cdot \sum_i \sum_k \sum_p x_{ii}^k(t_p)$ – общая стоимость задержки потоковых точек в секторе входа. За каждый такт задержки в функционал добавляется штраф C_h ;

$C_h \cdot \sum_j \sum_k \sum_p x_{jj}^k(t_p)$ – общая стоимость задержки потоковой точки в секторе выхода. За каждый такт задержки в функционал добавляется штраф C_h ;

$(C_h + 1) \cdot \sum_j \sum_k \sum_p \Delta x_j^k(t_p)$ – общая стоимость ожидания состава. При подсчете используется коэффициент $(C_h + 1)$. Коэффициент всегда на единицу больше, чем коэффициент задержки отправления потоковой точки. Это сделано для

того, чтобы состав как можно быстрее переходил из переменной $\Delta x_i^k(t_p)$ в сектор выхода станции $x_{jj}^k(t_p)$;

$C_d \cdot \sum_i \sum_k \sum_p \Delta x_i^k(t_p)$ – общая стоимость времени задержки потоковой точки.

За каждый такт задержки в функционал добавляется штраф C_d ;

$C_{lr} \cdot \left(\sum_m \sum_i \sum_p S_{mi} \cdot \left(y_{mi}(t_p) - \sum_k x_{mi}^k(t_p) \right) \right)$ – общая стоимость резервного

пробега состава по участку. Выражение в скобках предназначено для определения количества перемещений составов пригородных поездов по участку без потоковой точки.

6.3. Расчеты по оптимизации оборота составов на примере пригородного пассажирского комплекса железнодорожного транспорта в Нижегородской агломерации

В общем случае оптимизация заключается в поиске разумного компромисса. Конечно, надо стремиться к наилучшему использованию составов. Однако часто расписание составлено весьма неудобно для их оборота и лучше бы его подправить. В разумных пределах, чтобы это не отразилось заметным образом на удобстве пассажиров. Разработанный метод оптимального обеспечения составами графика движения пригородных поездов на основе динамической транспортной задачи позволяет управлять этим процессом за счет стоимостных параметров и ограничений. Программная реализация разработанного метода выполнена в «Системе оптимального управления оборотом поездных локомотивов «Лабиринт».

В качестве расчетного выбрано направление Урень - Нижний Новгород.

Вариант 1.

Приоритет отдается более полному использованию составов.

Здесь не задается определенное число составов. Они привлекаются по мере надобности с одной из разрешенных станций. Кстати, попутно получается рекомендуемое размещение составов по окончании интенсивного периода.

В расчете получилось требуемое число – 8 составов. Выполним анализ результатов.

Полезная занятость составов довольно высокая – более 61 % (рисунок 6.5). Пересылка состава резервом с одной станции на другую запрещена.

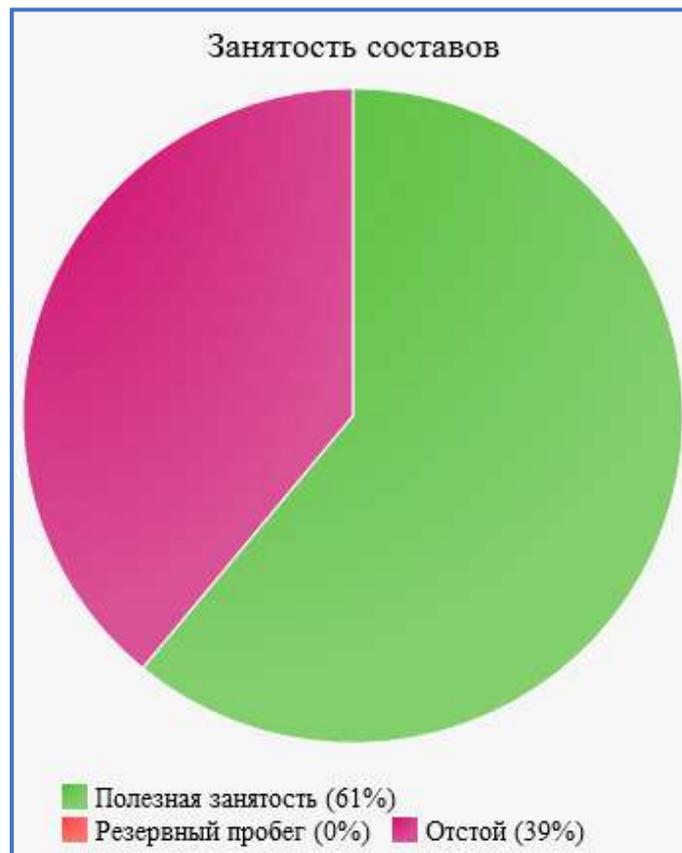


Рисунок 6.5 – Характер использования составов

Модель показывает, сколько ниток графика обеспечил тот или иной состав (рисунок 6.6).

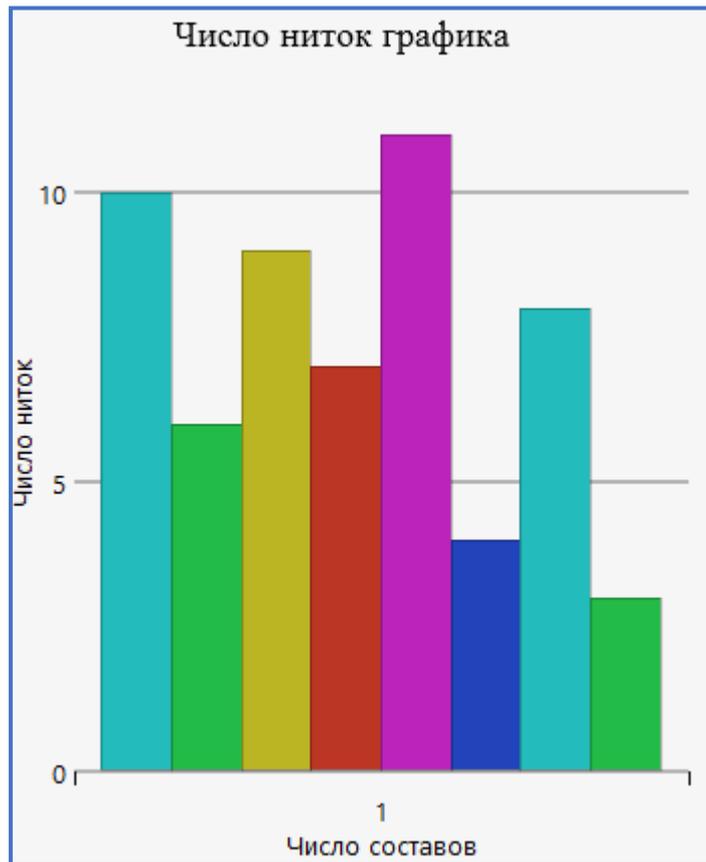


Рисунок 6.6 – Работа составов по обеспечению ниток графика

Можно оценить производительность составов, то есть число пройденных километров за сутки (рисунок 6.7), а также соотношение производительности и занятости (рисунок 6.8).

При этом в данном случае под производительностью понимается количество километров, которое проехал каждый состав с пассажирами. Подразумевается, что при организованном пассажиропотоке нитки графика проложены таким образом, что каждая из них обеспечена пассажиропотоком, соответствующим вместимости состава.

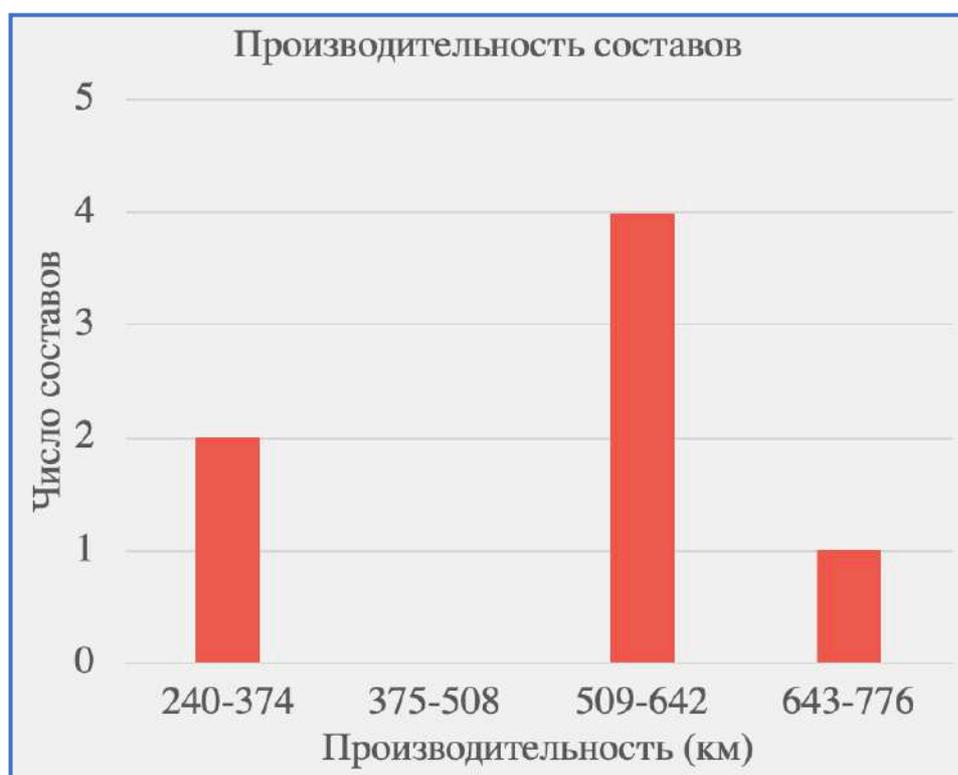


Рисунок 6.7 – Распределение составов по уровню производительности

Число составов: 8

Состав	Произв-ть (км)	Полная занятость	Отстой	Число нипок
4929	776	14:48	04:40	10
4921	628	11:44	07:04	6
4937	560	10:48	08:00	9
4925	729	13:28	04:40	7
4925	584	11:12	06:24	11
4955	256	04:40	12:48	4
4956	637	11:52	05:28	8
4902	240	04:32	03:52	3

Рисунок 6.8 – Соотношение производительности и занятости составов

На рисунке 6.8 видно, что чем больше производительность и занятость состава, тем меньше его непроизводительный простой. Прямой взаимосвязи между производительностью состава и числом обслуживаемых ниток графика не прослеживается, например, состав 4929 с производительностью 776 км обслуживает 10 ниток, а состав 4925 с производительностью 584 км – 11 ниток. Это связано с тем, что на рассматриваемом участке слишком большая разница между протяженностью ниток графика – зонные станции находятся на различном удалении от головной. Модель также выдает наиболее выгодное привлечение составов по станциям (рисунок 6.9).

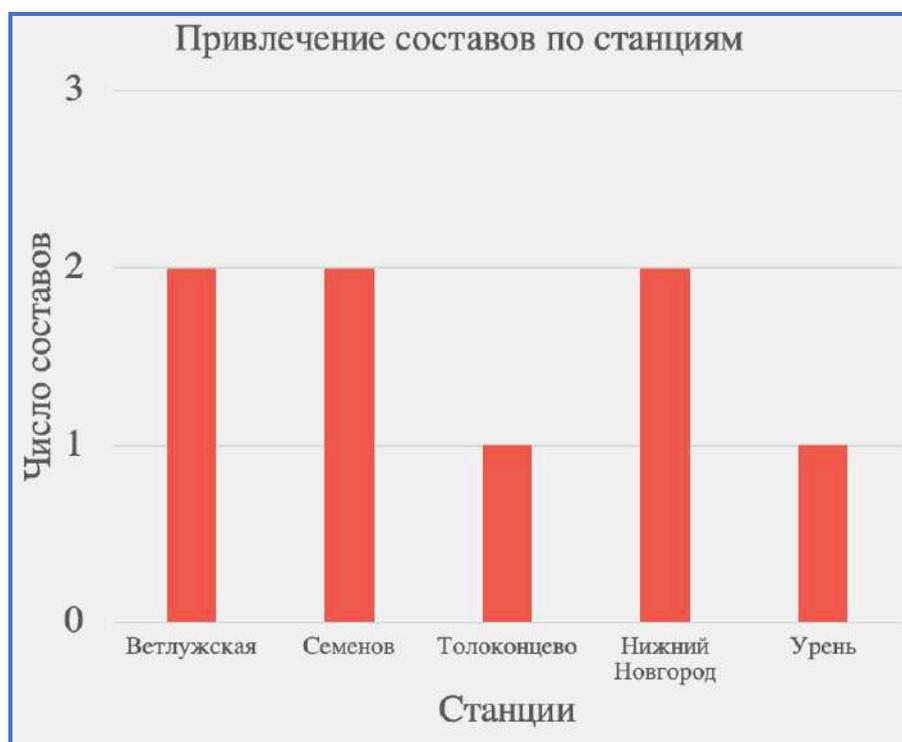


Рисунок 6.9 – Выбор станций для привлечения составов

Представленное на рисунке 6.9 размещение составов является наиболее рациональным на начало расчетного периода. С помощью модели можно увидеть динамику нахождения свободных составов на каждой станции участка в течение расчетного периода (рисунок 6.10).

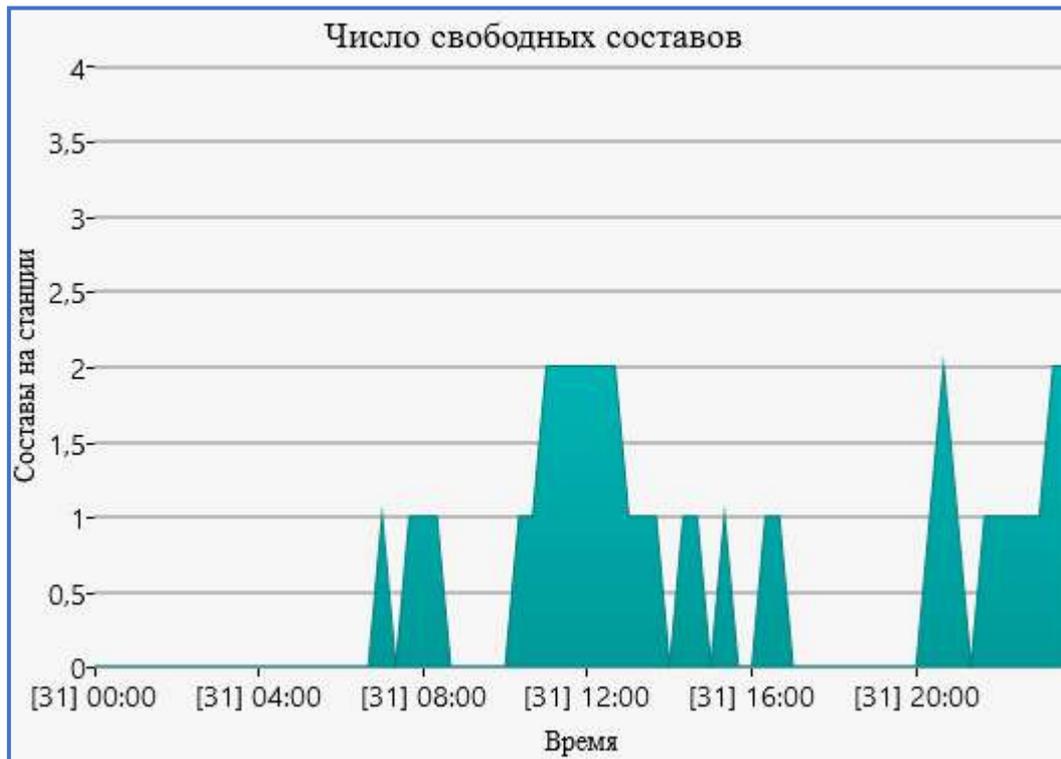


Рисунок 6.10 – Наличие свободных составов на ст. Нижний Новгород

Модель выдает исполненный график движения пригородных поездов (рисунок 6.11).

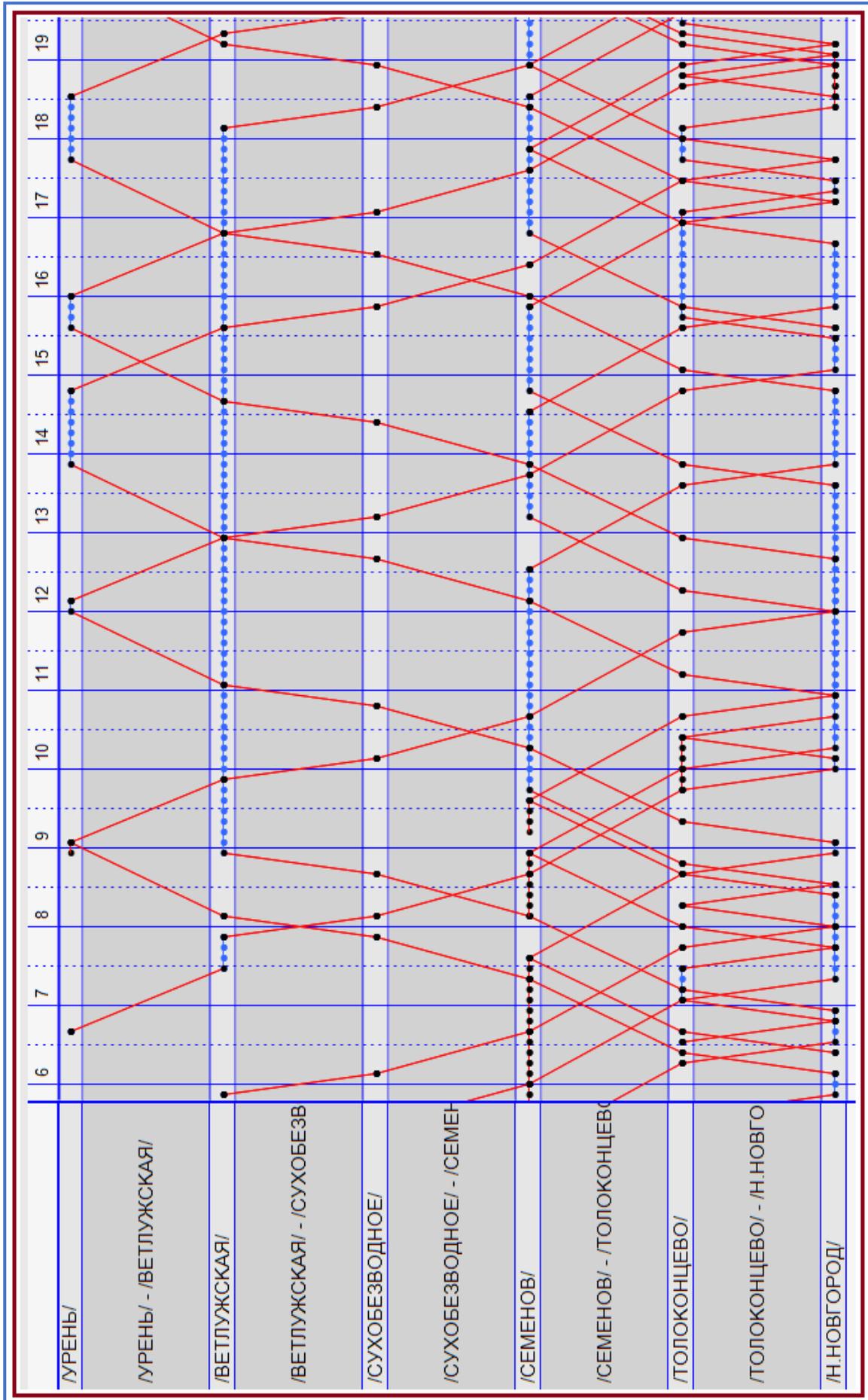


Рисунок 6.11 – Исполненный график движения пригородных поездов

Можно увидеть график работы каждого отдельного состава (рисунок 6.12).

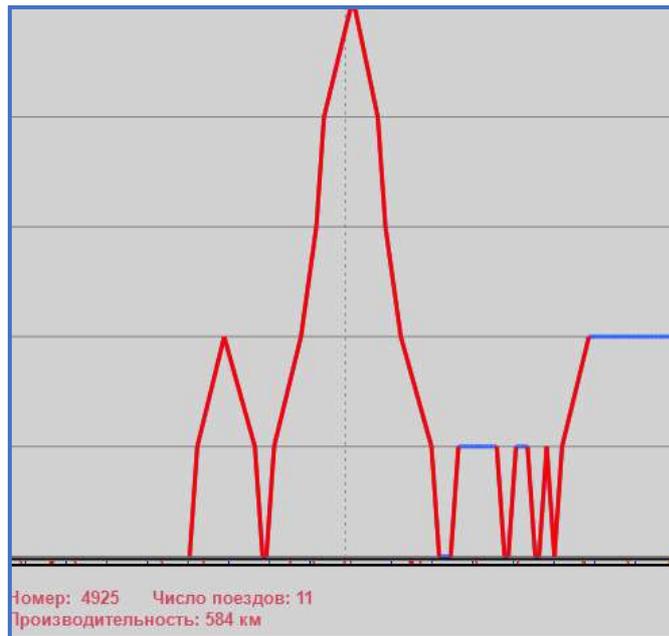


Рисунок 6.12 – График работы одного состава

Однако возникли задержки из-за отсутствия состава на нитку графика, то есть возникает вынужденная корректировка графика движения (рисунок 6.13).

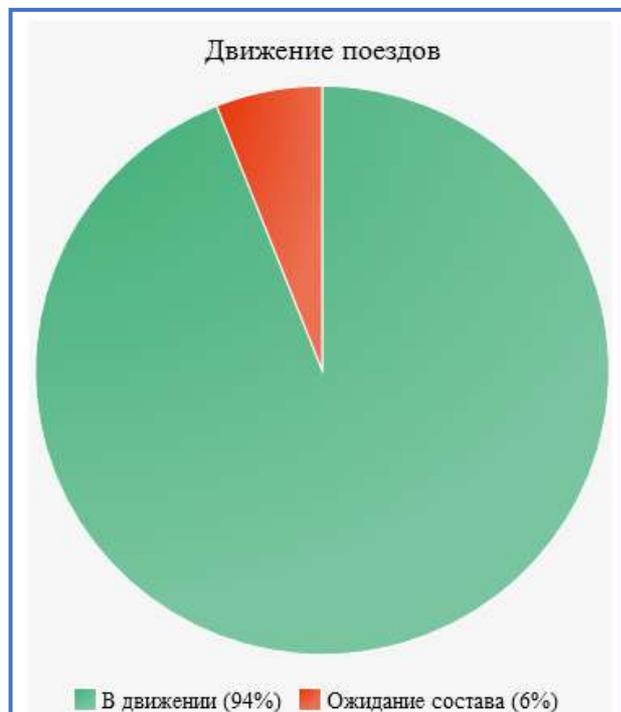


Рисунок 6.13 – Соотношение времени составов в движении и ожидании отправления на нитку графика

Но при таком варианте возникает слишком значительная корректировка (рисунок 6.14).

Поезд	Маршрут	Ожидание состава	Время отправления	Время прибытия
6505	СЕМЕНОВ - Н.НОВГОРОД	+02:00	07:36	08:56
6511	СЕМЕНОВ - Н.НОВГОРОД	+00:48	08:56	10:16
6205	ТОЛОКОНЦЕВО - Н.НОВГОРОД	+00:40	10:24	10:40
6538	Н.НОВГОРОД - ВЕТЛУЖСКАЯ	+00:32	18:56	20:56
6517	СЕМЕНОВ - Н.НОВГОРОД	+00:24	09:36	10:56
6542	Н.НОВГОРОД - СЕМЕНОВ	+00:24	19:04	20:16
6001	УРЕНЬ - Н.НОВГОРОД	+00:16	20:08	23:04
6540	ВЕТЛУЖСКАЯ - УРЕНЬ	+00:16	20:56	21:52
6209	ТОЛОКОНЦЕВО - Н.НОВГОРОД	+00:08	17:04	17:20
6519	УРЕНЬ - Н.НОВГОРОД	+00:08	09:04	12:00
6544	Н.НОВГОРОД - ВЕТЛУЖСКАЯ	+00:08	19:52	21:52
6520	Н.НОВГОРОД - УРЕНЬ	00:00	12:40	15:36
6523	СЕМЕНОВ - Н.НОВГОРОД	00:00	12:32	13:52
6524	Н.НОВГОРОД - СЕМЕНОВ	00:00	13:36	14:48

Рисунок 6.14 – Величина корректировки ниток графика

Ожидание состава более 20 минут (более одного такта) делает бессмысленным предварительную организацию пассажиропотока, поэтому такой вариант обеспечения графика движения составами пригородных поездов нельзя считать приемлемым.

Вариант 2.

Корректировка графика запрещена.

В соответствии с расчетом для этого варианта требуется 14 составов.

Задержки из-за отсутствия состава отсутствуют (рисунок 6.15).

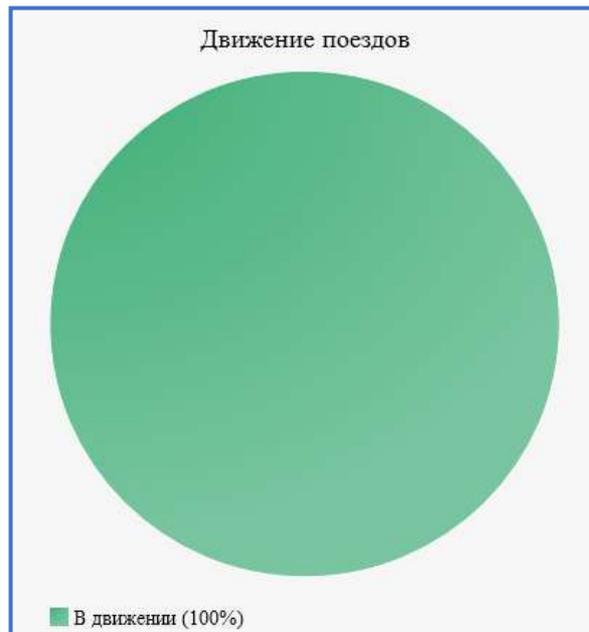


Рисунок 6.15 – Соотношение времени составов в движении и ожидании отправления на нитку графика

Однако полезная загрузка составов с 61 % резко уменьшилась до 39 % (рисунок 6.16). Это при том, что используется уже не 8, а 14 составов. То есть потребное количество составов увеличилось практически в два раза.

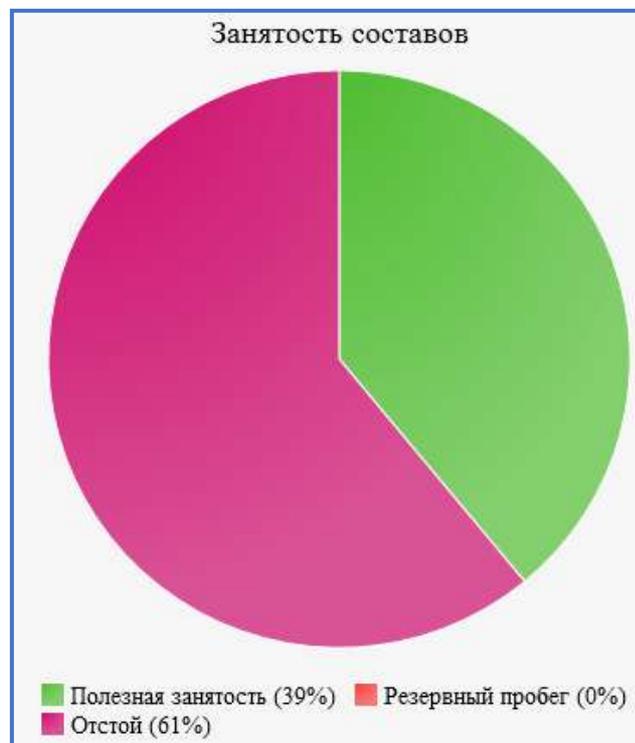


Рисунок 6.16 – Характер использования составов

Понижилась и производительность составов (рисунок 6.17, 6.18).



Рисунок 6.17 – Распределение 14 составов по производительности

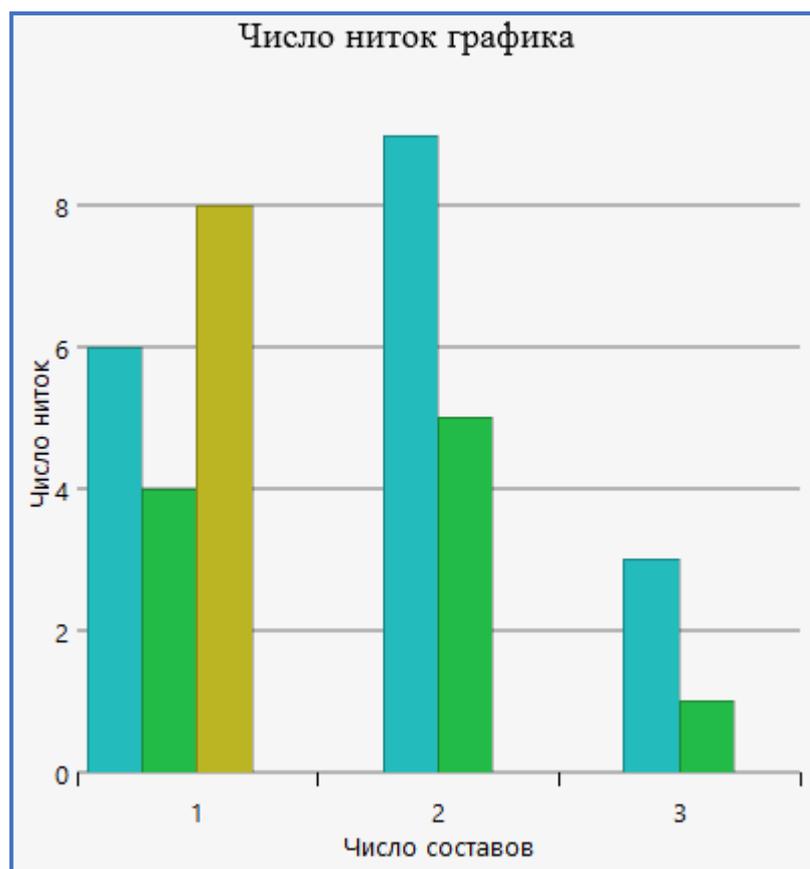


Рисунок 6.18 – Распределение составов по числу обеспеченных ниток

При такой ситуации естественно, что увеличились простои составов (рисунок 6.19).



Рисунок 6.19 – Вынужденные простои состава

Естественно, увеличилось и число ожидающих работы составов по станциям (рисунок 6.20).

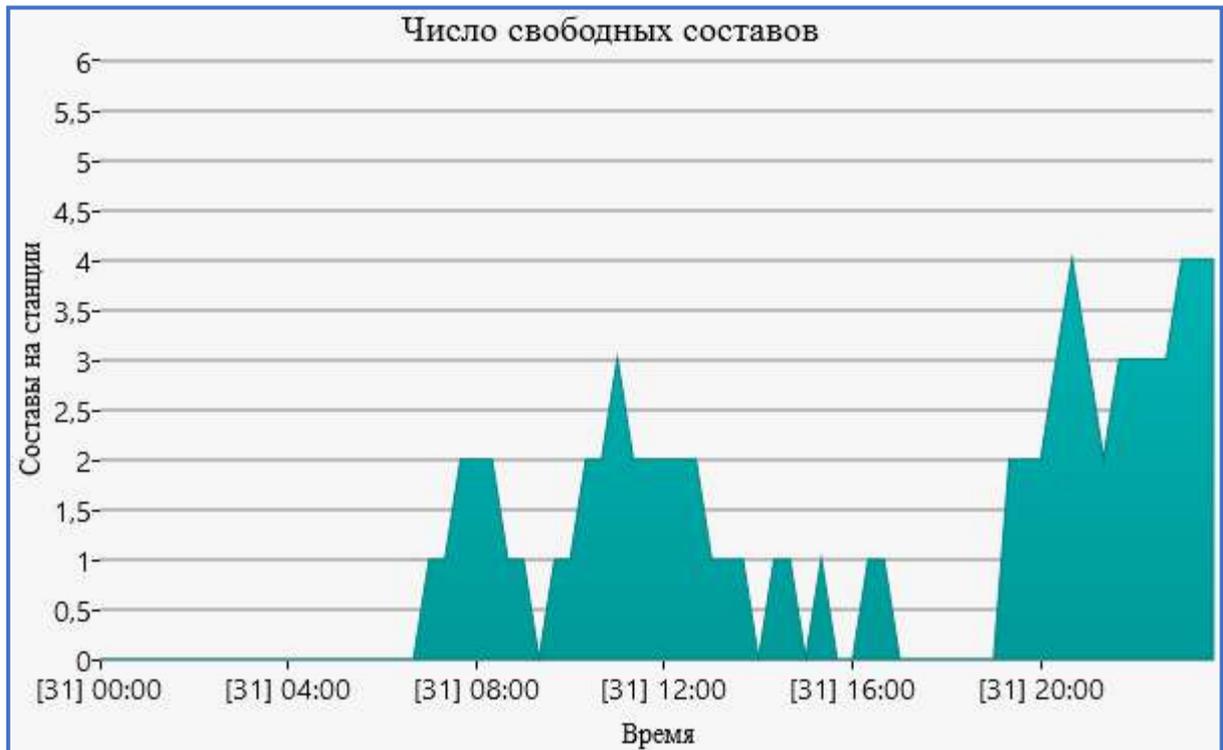


Рисунок 6.20 – Динамика числа свободных составов на ст. Нижний Новгород

Как можно увидеть, этот вариант тоже некоторая крайность. Конечно, полностью обеспечен график движения пригородных поездов. Однако резко упала

производительность составов. Попытаемся найти разумный компромисс – повысить уровень загрузки составов за счет допустимой корректировки ниток графика.

Вариант 3.

Согласование графика движения и оборота составов

Эксперименты проводились по следующей технологии. Увеличивалась стоимость ожидания состава и одновременно ограничивалось их число. Обобщенные результаты приведены на рисунках 6.21 и 6.22.

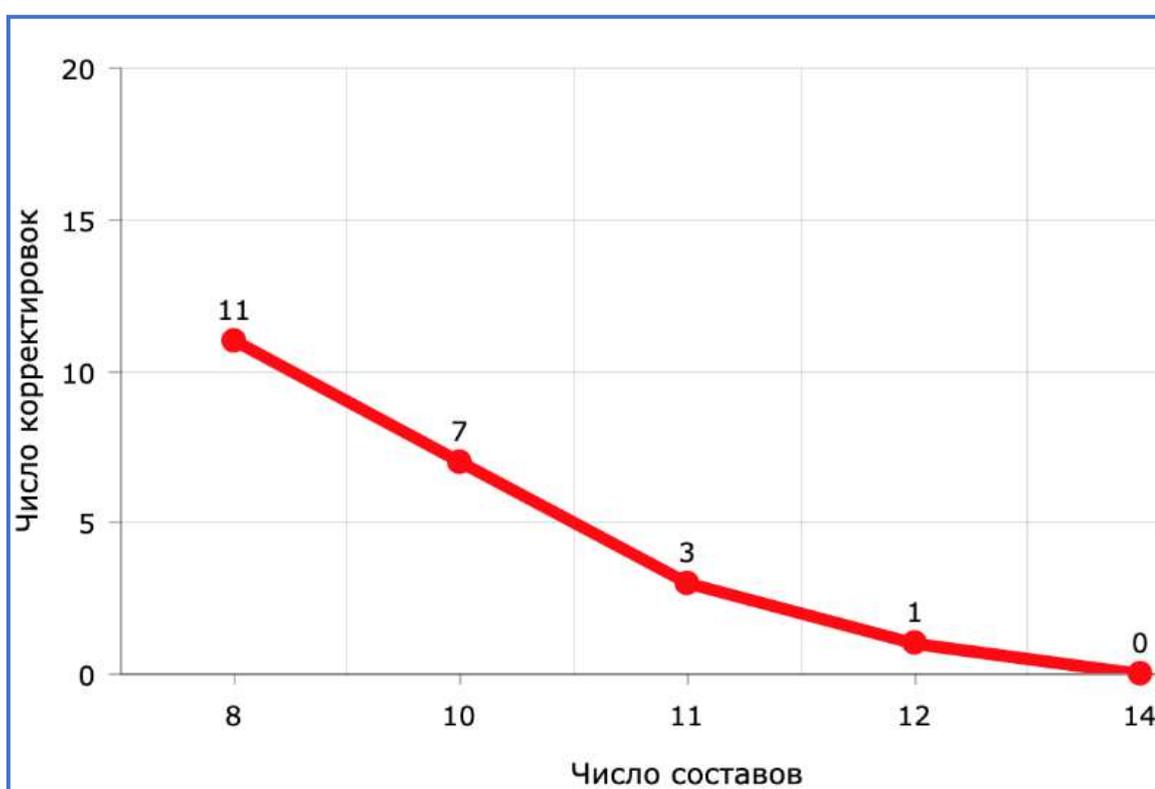


Рисунок 6.21 – Зависимость числа корректировок от количества составов

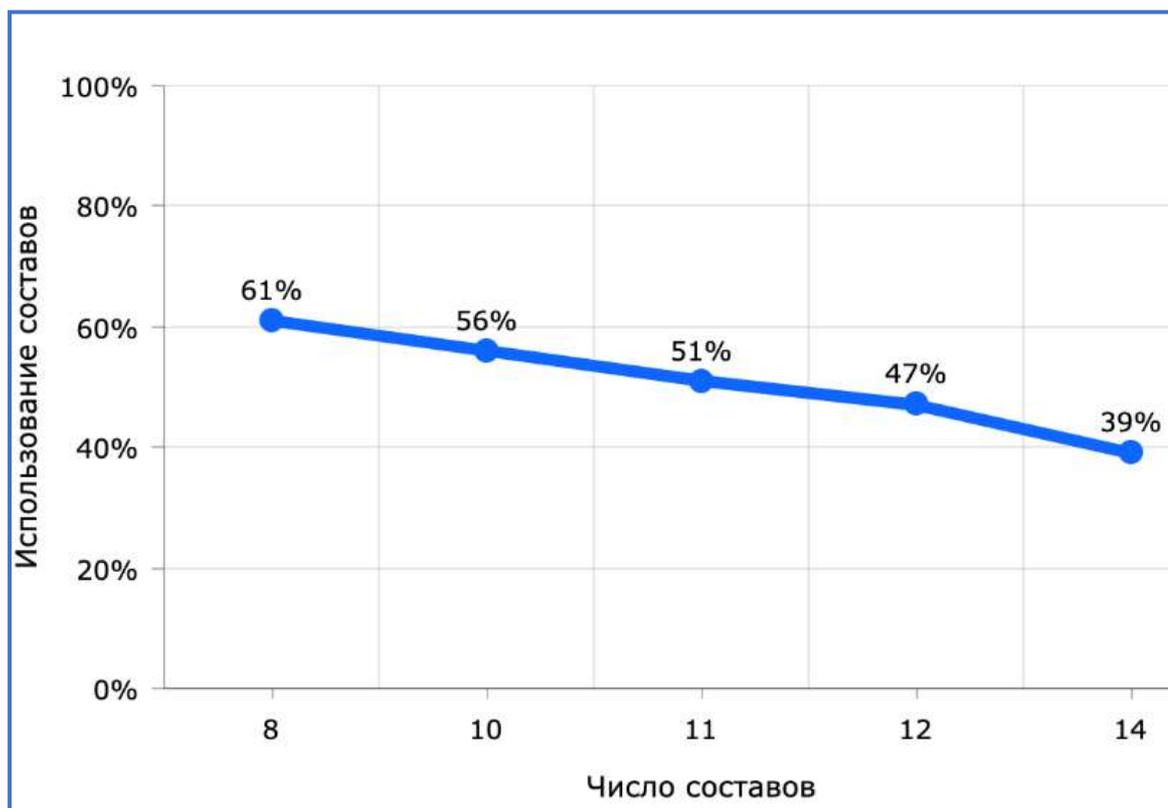


Рисунок 6.22 – Зависимость уровня загрузки составов от их числа

При 10 составах возникает 7 корректировок. Это много. При этом следует помнить, что в модели всегда получается оптимальный по заданному критерию результат. При 11 составах возникает только три сдвига ниток графика. Это, вроде бы немного, но надо оценить их величину.

Величина довольно значительная (рисунок 6.23). Это может вызвать возражение пассажиров и существенно снизит эффективность организации пассажиропотока.

Поезд	Маршрут	Ожидание состава	Время отправления	Время прибытия
6001	УРЕНЬ - Н.НОВГОРОД	+00:24	20:16	23:12
6542	Н.НОВГОРОД - СЕМЕНОВ	+00:24	19:04	20:16
6519	УРЕНЬ - Н.НОВГОРОД	+00:16	09:12	12:08
6516/6556	Н.НОВГОРОД - УРЕНЬ	00:00	10:56	13:52
6517	СЕМЕНОВ - Н.НОВГОРОД	00:00	09:12	10:32
6518	Н.НОВГОРОД - СЕМЕНОВ	00:00	12:00	13:12
6520	Н.НОВГОРОД - УРЕНЬ	00:00	12:40	15:36
6523	СЕМЕНОВ - Н.НОВГОРОД	00:00	12:32	13:52
6524	Н.НОВГОРОД - СЕМЕНОВ	00:00	13:36	14:48
6525	УРЕНЬ - Н.НОВГОРОД	00:00	12:08	15:04

Рисунок 6.23 – Корректировка ниток графика при 11 составах

При 12 составах появляется необходимость сдвига только одной нитки. По-видимому, этот вариант может быть рекомендован. Средняя загрузка составов составляет 47 %. Производительность в километрах в сутки приведена на рисунке 6.24.

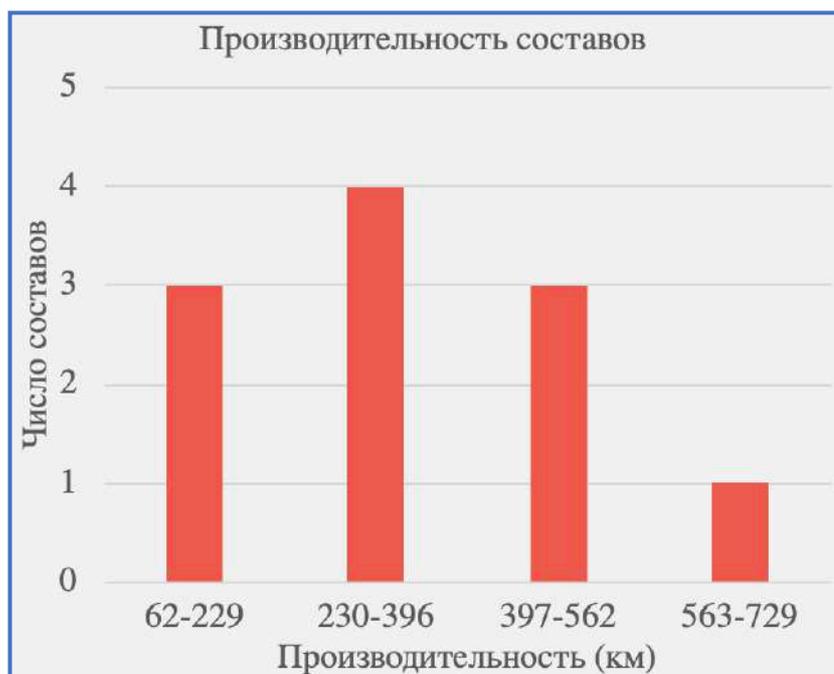


Рисунок 6.24 – Производительность 12 используемых составов

Загрузка составов по числу обеспеченных ниток колеблется (рисунок 6.25).

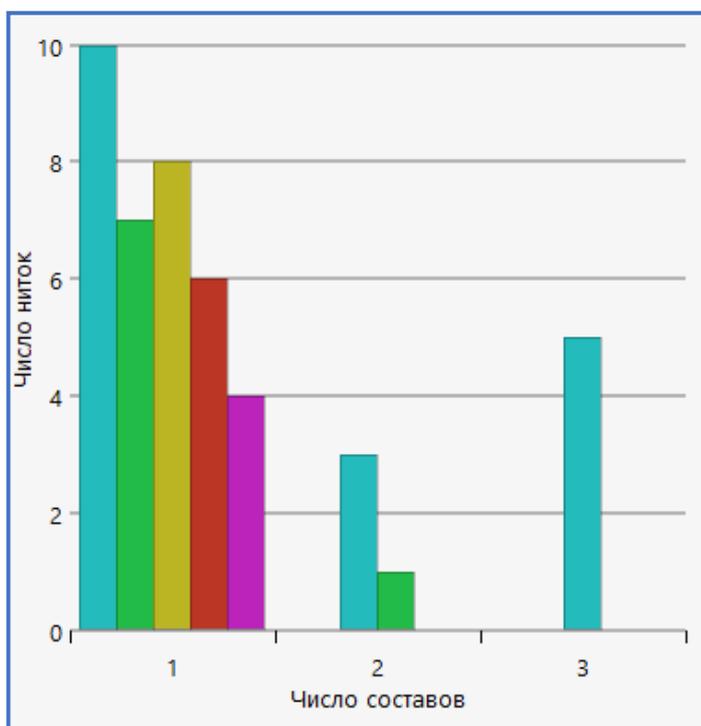


Рисунок 6.25 – Распределение составов по числу обеспеченных ниток графика

Оборот наиболее загруженных составов построен весьма рационально (рисунок 6.26).

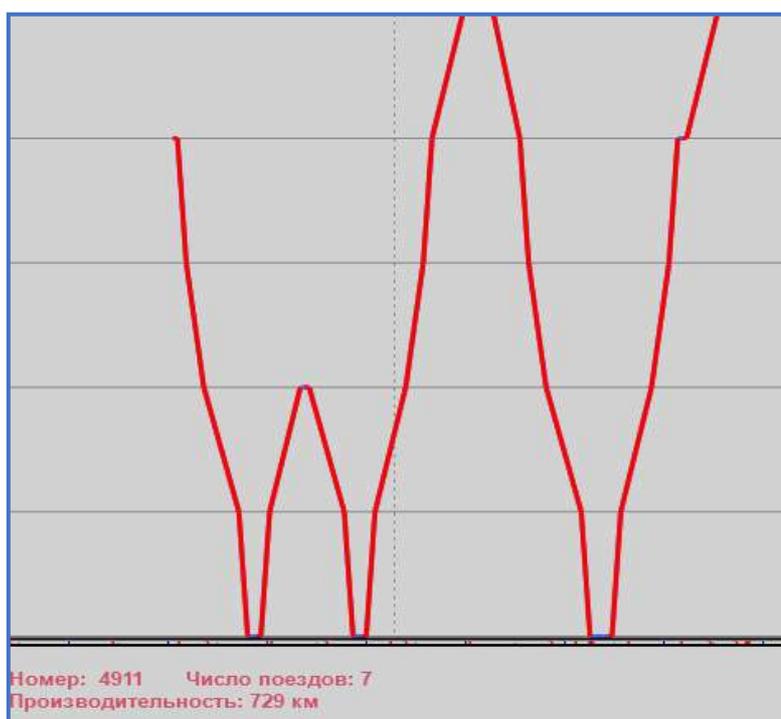


Рисунок 6.26 – График работы одного из составов

Если отстой составов может осуществляться лишь на некоторых заданных станциях, то может возникать резервный пробег. На выбранной линии таких станций три – Нижний Новгород, Толоконцево и Урень (рисунок 6.27).

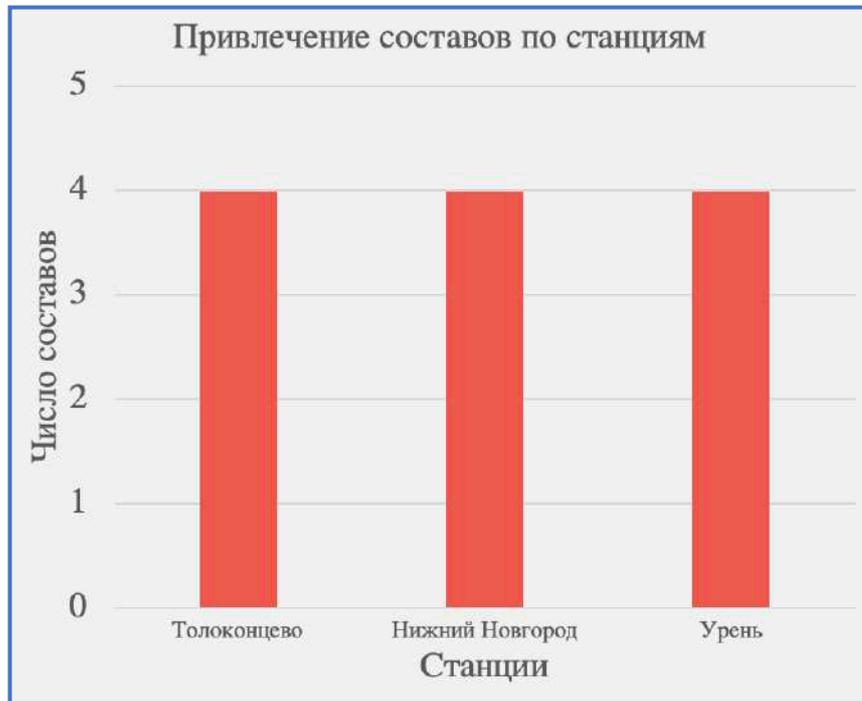


Рисунок 6.27 – Отстой составов на трех станциях

Результаты расчета практически не изменились, потребовалось также 12 составов, но небольшие резервные пробеги появились в начале суток (рисунок 6.28).

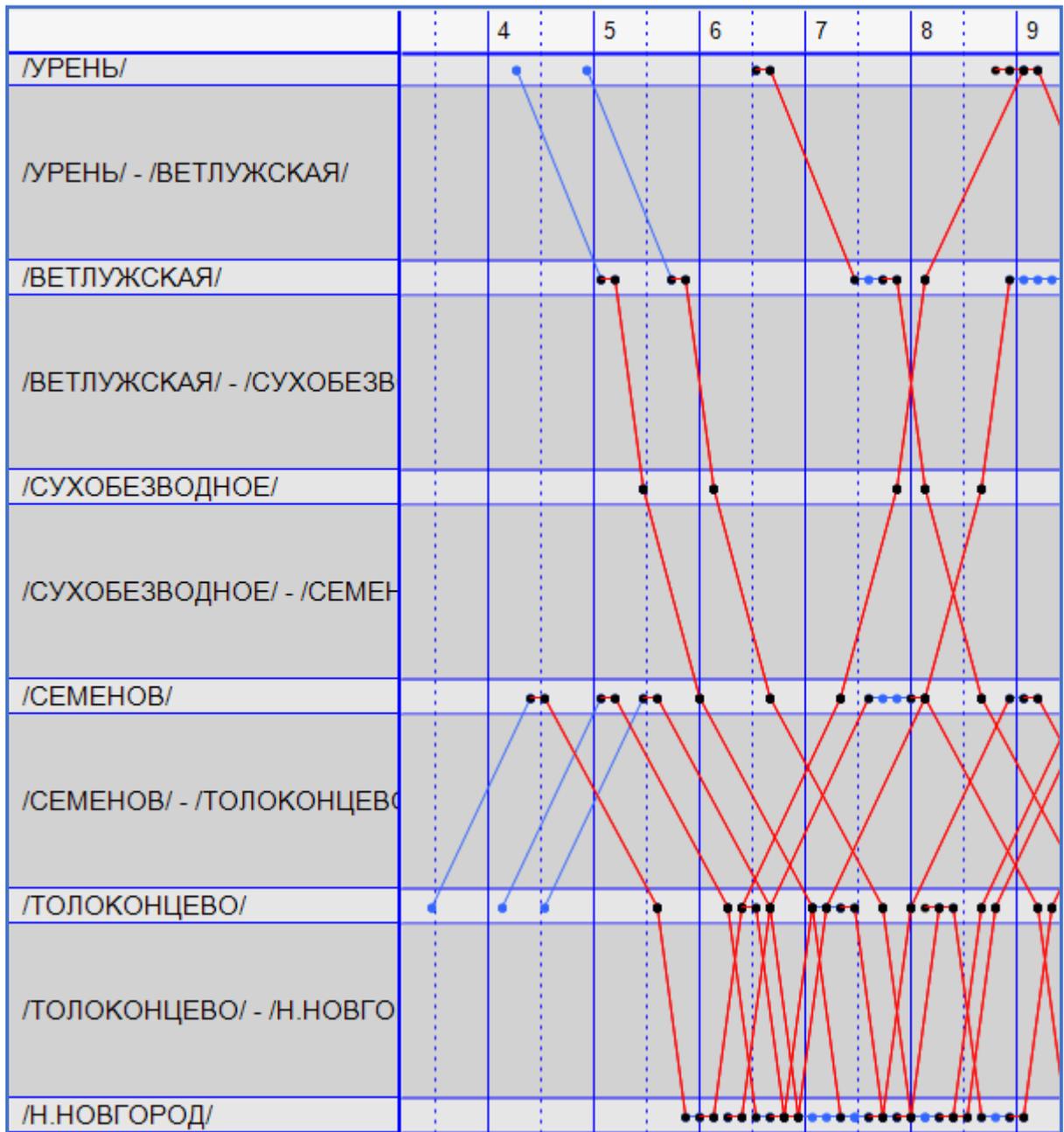


Рисунок 6.28 – Резервный пробег составов при ограниченном числе станций отстоя

Возникла небольшая корректировка только одной нитки.

Для выбранного объекта следует учитывать еще один фактор. К станции Нижний Новгород примыкают три направления. Временно свободные составы одного направления могут быть использованы на другом. Если построить модель всех направлений одновременно, то может быть и с 11 составами возникнет меньше корректировок. Объединенная модель строится по такой же технологии, поэтому она здесь не приведена.

Выводы к главе 6

1. Задача эффективной организации пригородного движения является многофакторной. Необходимо обеспечить заданные нитки графика составами и обеспечить их рациональное использование. Здесь возникает проблема преодоления многовариантности, так что необходимо использовать оптимизационные модели.

2. В качестве аппарата оптимизации выбрана динамическая транспортная задача с задержками. Однако потребовалась ее трансформация, так как здесь возникает два связанных потока.

3. Для фиксации в модели ниток графика введена единица фиктивного потока, названная потоковой точкой. Она должна следовать точно по нитке графика, но только вместе с составом пригородного поезда. Эта связь обеспечивается соответствующими ограничениями.

4. Построена модель для одной из линий в Нижегородской агломерации. Модель строит исполненный график движения пригородных поездов и выдает достаточно полный набор результатов. Задержка единицы фиктивного потока трактуется как сдвиг нитки графика.

5. Меняя стоимостные параметры использования составов, сдвига ниток графика, используя режимы при заданном или регулируемом числе составов можно получать разные компромиссные оптимумы. Разработанная технология может успешно использоваться в практических расчетах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации разработаны теоретические основы организации пассажиропотока и методологические решения по оптимизации пригородных пассажирских перевозок в динамике. В том числе:

1. Выполнен анализ исследований в области пригородных пассажирских перевозок, который показал, что ранее выполнялись работы по оптимизации перевозок стихийно складывающегося пассажиропотока. Это приводило к созданию не всегда оправданных резервов инфраструктуры и подвижного состава. Методы оптимизации были, как правило, статическими, то есть имели ограниченные возможности при отображении динамики процессов пригородных пассажирских перевозок. В диссертации впервые сформулирована проблема организации пригородного пассажиропотока, то есть сознательного преобразования стихийного пассажиропотока в организованный, в котором согласовываются ритмы отправления пассажиров со всех станций всех направлений с ритмами прибытия на станции назначения в зависимости от определенных критериев.

2. Выбран метод динамического согласования в качестве аппарата оптимизации для организации пассажиропотока. Данный метод позволяет отобразить процессы перевозок, подхода пассажиров к станциям отправления, ожидания на станциях отправления и назначения, ожидания пересадки на другой вид транспорта в динамике. Любые параметры можно менять в течение периода расчета.

3. Выбран транспортный комплекс Нижегородской агломерации для апробации разработанных методологий. Эта агломерация с населением свыше двух миллионов человек является одной из самых крупных в Российской Федерации, сформирована вокруг Нижнего Новгорода и является моноцентрической. Самыми крупными образующими агломерацию населенными пунктами являются Дзержинск, Бор и Кстово. В Нижегородской агломерации около 40 процентов предприятий и организаций являются головными в областях разработки и

производства вооружения и военной техники, авиастроения, судостроения, приборостроения. Пригородные перевозки в Нижегородской агломерации осуществляются, в основном, железнодорожным и автомобильным транспортом.

4. Разработана оптимизационная модель на основе однопродуктового метода динамического согласования для преобразования однородного пассажиропотока из исходного в более организованный. Разработана технология применения модели для поиска консенсуса между интересами пассажира и транспорта, позволяющая выбрать из множества формально оптимальных решений вариант, наиболее удовлетворяющий содержательно решению задачи организации пригородных пассажирских перевозок в городской агломерации.

5. Выстроен направленный итерационный процесс, позволяющий упорядочить последовательность выполнения экспериментов на модели с целью ускорения поиска рационального варианта среди формально оптимальных. Выявлено, что для нахождения рационального содержательного варианта организации пассажиропотока наиболее целесообразно при выполнении каждого нового расчета на модели изменять 2 параметра. Изменение 5 и более параметров дает труднопредсказуемый вариант. Проведены исчерпывающие расчеты на примере Нижегородской агломерации. Изменяя ограничения и стоимости (весовые коэффициенты), при организации пассажиропотока можно отдавать приоритеты отдельным станциям, направлениям, маршрутам железнодорожного или автомобильного транспорта. Пассажиропоток с повышенным приоритетом поддается наименьшей корректировке.

6. Разработана оптимизационная модель на основе многопродуктового метода динамического согласования для организации многоструйного пассажиропотока. Сформирована технология ее использования. Модель организации многоструйного пассажиропотока также отработана на примере транспортного комплекса Нижегородской агломерации. Данная модель позволяет в уже организованном однородном пассажиропотоке выделить несколько сегментов пассажиропотока и учесть их специфические требования к поездке. Модель позволяет задавать пересекающиеся или непересекающиеся периоды

желаемого прибытия на головную станцию пассажиров каждого сегмента. Также изменением ограничений и стоимостей (весовых коэффициентов) при расчете можно устанавливать приоритет определенных сегментов пассажиропотока на каждом направлении или станции.

7. Разработана имитационная модель рассматриваемого полигона Нижегородской агломерации с использованием имитационной системы ИМЕТРА, которая позволяет проводить широкий набор экспериментов для глубокой оценки результатов расчетов на оптимизационных моделях. Полученные с помощью оптимизационных моделей ритмы отправления организованного пассажиропотока были привязаны к графикам движения электропоездов. Эксперименты на имитационной модели показали корректность использования оптимизационных моделей. Расчеты показали, что ожидание пассажирами на станциях отправления и назначения при организованном пассажиропотоке снижается. Для Нижегородской агломерации организация пассажиропотока позволит снизить непроизводительное время ожидания пассажирами на станциях отправления в 1,5–4,5 раза в зависимости от выбранного с содержательной точки зрения оптимального варианта, а на головной станции почти в 2 раза.

8. Разработан новый метод расчета оптимального оборота составов электропоездов с помощью оптимизационной модели, основанной на динамической транспортной задаче. Метод позволяет не только найти оптимальный вариант, но и предоставляет материалы для его критической оценки. Предложено три варианта использования метода оптимизации обеспечения составами ниток графика движения пригородных поездов. Апробация произведена на примере пригородных железнодорожных перевозок в Нижегородской агломерации. Показано, что незначительный сдвиг одной или нескольких ниток графика движения пригородных поездов может позволить существенно сократить число составов в обороте. В рассматриваемом примере при использовании 8 составов сдвигается 11 ниток графика, при использовании 12 составов – 1 нитка, при использовании 14 составов корректировки не требуется. Таким образом, при использовании 12 составов можно обеспечить высокий уровень

клиентоориентированности графика движения при экономии средств на закупку и эксплуатацию двух составов пригородных поездов.

9. Результаты диссертационного исследования рекомендованы Центру по корпоративному управлению пригородным комплексом ОАО «РЖД» для использования пригородными пассажирскими компаниями при разработке комплексных планов транспортного обслуживания населения. Методология организации пригородного пассажиропотока принята к внедрению на полигоне деятельности АО «Волго-Вятская пригородная пассажирская компания» и использована при организации мультимодальных пассажирских перевозок в Нижегородской агломерации. Акты внедрения приведены в Приложении № 1 диссертации.

10. Перспективой дальнейшей разработки темы диссертации состоит в том, что разработанные методологии могут стать основой для новых научных исследований в области совершенствования пассажирских перевозок с учетом их динамики. Разработанные оптимизационные модели организации пригородного пассажиропотока требуют дальнейшего углубленного изучения для обеспечения эффективности практической реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азат Ахметшин: «Содружество» выходит на рынок автобусных перевозок» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gudok.ru/content/first_person/1456213/ (дата обращения 12.04.2019).
2. Акулов, М. П. Бизнес-модель пригородных пассажирских перевозок / М. П. Акулов // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 5. – С. 8-12.
3. Александров, А. Э. Адаптивная технология перевозок внутридорожных массовых грузов на базе метода динамического согласования : научное издание / А. Э. Александров, В. Ю. Пермикин // Развитие сырьев. базы пром. предприятий Урала: Межгос. науч.-техн. конф., [Магнитогорск], 16-20 мая 1995. - Магнитогорск, 1995. - С. 225-227
4. Александров, А. Э. Имитационные модели и их взаимодействие в автоматизированной сквозной технологии оперативного планирования поездообразования и поездной работы / А. Э. Александров, А. В. Сурин // Транспорт Урала. – 2012. – № 3(34). – С. 54-57.
5. Александров, А. Э. Использование имитационной системы ИСТРА для моделирования графика движения поездов / А. Э. Александров, А. В. Шипулин // Транспорт Урала. – 2011. – № 4(31). – С. 67-71.
6. Александров, А. Э. Использование имитационных моделей в оперативном планировании поездной работы / А. Э. Александров, А. В. Сурин, А. В. Шипулин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 4(60). – С. 65-72.
7. Александров, А. Э. Математическая модель в автоматизированной системе управления согласованной доставкой грузов / А. Э. Александров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2006. – № 11. – С. 37-39.
8. Александров, А. Э. Методика использования имитационных моделей поездообразования и продвижения поездов в оперативном планировании / А. Э.

Александров, А. В. Сурин // Транспорт Урала. – 2016. – № 4(51). – С. 66-70. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-4-66-70.

9. Александров, А. Э. Стохастическая постановка динамической транспортной задачи с задержками с учетом случайного разброса времени доставки и времени потребления / А. Э. Александров, Н. В. Якушев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2006. – № 12-13. – С. 5-14.

10. Алексей Белянкин: «Пригородный пассажирский транспорт активно адаптируется в городской среде» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gudok.ru/content/first_person/1438066/ (дата обращения 08.12.2018).

11. Анжелину, А. К. Развитие организационно-регуляторной модели бизнеса в сфере пригородных пассажирских перевозок / А. К. Анжелину, М. Ю. Елизарьев, Я. А. Поликарпов // Экономика железных дорог. – 2015. – № 12. – С. 22-33.

12. Апатцев, В. И. Определение оптимального интермодального маршрута перемещения пассажира / В. И. Апатцев, А. А. Бычкова // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 4. – С. 76-78.

13. Артынов, А. П. Автоматизация обработки информации о пригородных пассажиропотоках / А.П. Артынов, В.Н. Ембулаев // Железнодорожный транспорт. – 1985. – № 7. – С. 36-37.

14. Артынов, А. П. Пригородные пассажирские перевозки / А. П. Артынов, Н. У. Дмитриев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. – 161 с.

15. 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.

16. Баранов, Л. А. Беспилотная система управления движением поездов как составляющая цифровизации городского транспорта / Л. А. Баранов // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5. – № 4. – С. 441-449. – DOI 10.20295/2412-9186-2019-5-4-441-449.

17. Баранов, Л. А. Беспилотные транспортные средства городского железнодорожного транспорта: управление и обеспечение безопасности движения / Л. А. Баранов, С. Е. Иконников // Актуальные проблемы техносферной безопасности : Сборник научных статей национальной научно-практической конференции, Москва, 06–12 марта 2019 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2019. – С. 39-41.

18. Баранов, Л. А. Обеспечение безопасности движения поездов в беспилотных транспортных системах / Л. А. Баранов // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019 : Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019, Москва, 17–20 июня 2019 года / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. – С. 1995-1999. – DOI 10.25728/vspu.2019.1995.

19. Белозеров, В. Л. Государственная тарифная политика при организации перевозок пассажиров железнодорожным транспортом в пригородном сообщении / В. Л. Белозеров, Г. М. Грошев // Современные проблемы управления экономикой транспортного комплекса России: конкурентоспособность, инновации и экономический суверенитет : Международная научно-практическая конференция, посвящается 85-летию института экономики и финансов МИИТа, Москва, 28–29 мая 2015 года / Московский государственный университет путей сообщения, Институт экономики и финансов. – Москва: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2015. – С. 26-28.

20. Белоусова, Л. А. Пригородные железнодорожные перевозки во внутригородском сообщении / Л. А. Белоусова, В. С. Бачмага // Научный аспект. – 2013. – № 3. – С. 123-124.

21. Березин, В. Г. Пригородные железнодорожные перевозки в России: Ключевые проблемы и пути их решения / В. Г. Березин, К. С. Жигарев // Проблемы стратегического развития межстрановой интеграции национальных инновационных систем Союзного государства : Сборник научных трудов международной научно-практической конференции российских и зарубежных

университетов и РЭУ им. Г.В. Плеханова при участии представителей государственных и муниципальных органов власти, Москва, 11 ноября 2016 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью Издательский Дом "Третьяковъ", 2016. – С. 52-54.

22. Бессолицын, А. С. Современная пассажирская логистика на примере пригородных перевозок / А. С. Бессолицын, К. Е. Ковалев // *Russian Journal of Logistics & Transport Management*. – 2019. – Т. 4. – № 1. – С. 33-46.

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

24. Бещева, Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях / Н. И. Бещева – Москва : Транспорт, 1965. – С. 218-221.

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

26. 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.

27. Бородин, А. Ф. Автоматизированная система организации вагонопотоков: принципы построения и функционирования / А. Ф. Бородин // *Автоматика, связь, информатика*. – 2002. – № 6. – С. 24-28.

28. Бородин, А. Ф. Адаптивное управление вагонопотоками / А. Ф. Бородин // *Железнодорожный транспорт*. – 2005. – № 1. – С. 33-37.

29. Бородин, А. Ф. Информационно-управляющие системы в едином сетевом технологическом процессе железнодорожных грузовых перевозок / А. Ф. Бородин // *Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД*. – 2012. – № 4. – С. 8-15.

30. Буранкова, М. А. Проблемы организации и финансирования перевозки льготных категорий граждан на железнодорожном транспорте пригородного

сообщения как важной социальной услуги / М. А. Буранкова // Актуальные вопросы современной экономики. – 2018. – № 6. – С. 110-118.

31. 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.

32. Ваксман, С. А. Информационные технологии в управлении городским общественным пассажирским транспортом (задачи, опыт, проблемы) : монография / С. А. Ваксман ; С. А. Ваксман, Н. М. Герасимов, И. А. Слепухина ; под ред. С. А. Ваксмана. – Екатеринбург : Изд-во АМБ, 2012. – 257 с. – ISBN 978-5-8057-0807-8.

33. Вакуленко, С. П. Голубев П.В. Особенности организации пригородных перевозок в крупных узлах / С. П. Вакуленко, П. В. Голубев // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы третьей научно-практической конференции – М.: МИИТ, 2000 – С. III-2.

34. Вакуленко, С. П. Комплексный подход к развитию железнодорожной инфраструктуры в крупных агломерациях на примере г. Москвы / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Д. Ю. Роменский // 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. 187-189.

35. Вакуленко, С. П. Маркетинг и планирование в сфере пригородных пассажирских перевозок / С. П. Вакуленко, С. А. Калинин // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2005. – № 11. – С. 17-19.

36. Вакуленко, С. П. Мультимодальные пассажирские перевозки в условиях развития скоростного железнодорожного транспорта / С. П. Вакуленко, А. К. Головнич // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV международной научно-практической конференции: в 2-х частях, Гомель, 11–12 октября 2018 года / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога,

Белорусский государственный университет транспорта; Под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2018. – С. 276-277.

37. 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.

38. 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.

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

40. Вакуленко, С. П. Особенности моделирования пассажиропотоков в пригородном сообщении / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова // Концепции фундаментальных и прикладных научных исследований : сборник статей международной научно-практической конференции: в 4 частях, Казань, 20 февраля 2017 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна", 2017. – С. 9-12.

41. Вакуленко, С. П. Планировочная структура транспортно-пересадочных узлов / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10. – № 5(43). – С. 100-104.

42. Вакуленко, С. П. Прогнозирование пассажиропотоков - важнейший инструмент эффективной организации пассажирских перевозок в пригородно-городской зоне крупного транспортного узла / С. П. Вакуленко, Е. Б. Куликова, О. Н. Мадяр // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 1. – С. 8-15.

43. Вакуленко, С. П. Расчет размеров движения пригородных поездов при организации маятникового движения в крупных железнодорожных узлах / С.П. Вакуленко // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2006. – № 9. – С. 11-13.

44. Вакуленко, С. П. Стохастическая модель расчета зонных размеров движения пригородных поездов / С.П. Вакуленко // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2003. – № 11. – С. 7-10.

45. Вакуленко, С. П. Транспортно-пересадочные узлы - основа мультимодальных пассажирских перевозок / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2019 : Материалы двенадцатой международной конференции Научное электронное издание, Москва, 01–03 октября 2019 года / Под общей ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. – С. 662-665. – DOI 10.25728/mlsd.2019.1.0662.

46. Вакуленко, С. П. Транспортно-пересадочные узлы: организация пассажиропотоков : Учебное пособие для студентов специальности «Эксплуатация железных дорог», направлений бакалавриата «Технология транспортных процессов», «Менеджмент», направления магистратуры «Наземные транспортно-технологические комплексы» / С. П. Вакуленко, В. В. Доенин, Н. Ю. Евреенова ; Российский университет транспорта (МИИТ), Институт управления и информационных технологий, Кафедра «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы». – Москва : Российский университет транспорта, 2017. – 115 с.

47. Вакуленко, С. П. Трансферная модель эффективного обслуживания пригородных пассажиропотоков железнодорожным транспортом / С. П. Вакуленко // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2012. – № 11. – С. 7-8.

48. Васильев, А. Г. Повышение эффективности пригородных и международных пассажирских перевозок на базе АСУ : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Васильев Александр Геннадьевич. – Екатеринбург, 2012. – 149 с.

49. Васин, Д. А. О проблемах государственного регулирования тарифов на услуги субъектов естественных монополий в сфере перевозок пассажиров

железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении (на примере Тульской области) / Д. А. Васин, С. В. Городничев // Вестник Тульского филиала Финуниверситета. – 2016. – № 1. – С. 119-122.

50. Верховых, Г. В. Приоритеты в сфере пригородных перевозок / Г. В. Верховых // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 2. – С. 29-32.

51. 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.

52. Власюк, Т. А. Основные тенденции и особенности пригородных перевозок на железнодорожном транспорте в крупнейших агломерациях Европы в конце XIX-XXвв / Т. А. Власюк // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году науки: в 2 частях, Гомель, 23–24 ноября 2017 года. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2017. – С. 126-129.

53. 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.

54. Волкова, Е. М. Комплексная оценка рынка пригородных пассажирских перевозок / Е. М. Волкова // Экономика железных дорог. – 2016. – № 9. – С. 75-84.

55. Волкова, Е. М. Особенности стратегического управления пригородными пассажирскими перевозками / Е. М. Волкова, Я. Н. Сикорская // Логистический аудит транспорта и цепей поставок : Материалы II международной научно-практической конференции, Тюмень, 26 апреля 2019 года / Отв. редактор С. А. Эртман. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2019. – С. 167-173.

56. Волкова, Е. М. Скорость и мультимодальность, как факторы роста результативности региональных рынков пригородных пассажирских перевозок / Е. М. Волкова, М. А. Лякина, И. Л. Сакович // Развитие экономической науки на транспорте: скорость как экономическая категория : Сборник докладов III Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06 июня 2014 года / Под общей редакцией Н. А. Журавлевой. – Санкт-Петербург: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2015. – С. 79-84.

57. Волкова, Е. М. Формирование системы взаимодействия железнодорожной компании с субъектами рынка пригородных пассажирских перевозок : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Волкова Елена Михайловна. – Санкт-Петербург, 2013. – 24 с.

58. Гарбузова, В. В. Область эффективного применения автобусного и железнодорожного пригородного транспорта на участках с небольшим пассажиропотоком / В. В. Гарбузова, В. А. Подоба // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012. – Т. 3. – С. 48-56.

59. Гарбузова, В. В. Повышение эффективности работы железнодорожных пригородных пассажирских перевозок / В. В. Гарбузова // Власть и управление на Востоке России. – 2011. – № 2(55). – С. 190-196.

60. Гарбузова, В. В. Пригородные железнодорожные перевозки на участках с небольшим пассажиропотоком / В. В. Гарбузова // Власть и управление на Востоке России. – 2012. – № 2(59). – С. 47-54.

61. Гарбузова, В. В. Эффективность рельсовых автобусов на участках с небольшим пассажиропотоком / В. В. Гарбузова // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012. – Т. 3. – С. 44-48.

62. Гирич, А. О. Бизнес-модель пригородных пассажирских перевозок / А. О. Гирич // Корпоративное управление экономической и финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте : Сборник трудов по результатам III Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Москва, 12–

13 декабря 2018 года / Под общей редакцией Л.В. Шкуриной. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2019. – С. 75-79.

63. Голубев, П. В. Выбор параметров пассажирских устройств при организации пригородно-городских перевозок в узле : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Голубев Пётр Владимирович. – Москва, 2005. – 223 с.

64. Голубев, П. В. Особенности взаимодействия железнодорожного и городских видов транспорта в крупных транспортных узлах / П. В. Голубев // Транспорт: наука, техника управление. Научный информационный сборник. – 2004. – № 11. – С. 18-20.

65. Голубев, П. В. Экономическая эффективность и условия формирования станций стыкования железной дороги и метрополитена в крупных транспортных узлах / П. В. Голубев // Транспорт: наука, техника управление. Научный информационный сборник. – 2005. – № 1. – С. 38-41.

66. Григорова, Т. М. Имитационное моделирование систем управления пригородными перевозками пассажиров / Т. М. Григорова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 4-2(9-2). – С. 285-286. – DOI 10.12737/5166.

67. Дементьев, А. П. Проблемы взаимодействия участников регионального рынка пригородных пассажирских перевозок / А. П. Дементьев, О. С. Иванов, Ю. М. Буинцева // Вопросы новой экономики. – 2019. – № 1(49). – С. 80-87.

68. Демин, А. Г. Разработка имитационной модели пригородных пассажирских перевозок в центральном федеральном округе / А. Г. Демин // Имитационное моделирование. Теория и практика : восьмая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности, Санкт-Петербург, 18–20 октября 2017 года. – Санкт-Петербург: НП "НОИМ", 2017. – С. 360-365.

69. Доенин, В. В. Динамическая логистика транспортных процессов / В. В. Доенин ; Ин-т проблем транспорта РАН. – Москва : Компания Спутник+, 2010. – 245 с. – ISBN 978-5-9973-0569-7.

70. Доенин, В. В. Интеллектуальные транспортные потоки / В. В. Доенин ; Ин-т проблем трансп. РАН. – Москва : Компания Спутник+, 2007. – 305 с. – ISBN 978-5-364-00680-6.
71. Доенин, В. В. Логико-разностные модели транспортных процессов / В. В. Доенин ; Ин-т проблем трансп. РАН. – Москва : Компания Спутник+, 2008. – 275 с. – ISBN 978-5-364-00943-2.
72. Доенин, В. В. Моделирование транспортных процессов и систем. / В. В. Доенин ; Ин-т проблем трансп. РАН. – Москва : Компания Спутник+, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-9973-2260-1.
73. Евреенова, Н. Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта : специальность 05.22.00 "Транспорт" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Евреенова Надежда Юрьевна. – Москва, 2015. – 197 с.
74. Евреенова, Н. Ю. Применение имитационного моделирования при управлении работой транспортно-пересадочного узла / Н. Ю. Евреенова // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 2. – С. 8-12.
75. Егорова, И. Н. Организация пригородных перевозок в городе Ростов-на-Дону / И. Н. Егорова, О. Н. Мелешко // Наука, образование, общество: актуальные вопросы и перспективы развития : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 3 частях, Москва, 30 мая 2015 года / ООО "АР-Консалт". – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "АР-Консалт", 2015. – С. 27-28.
76. Егорова, И. Н. Основные задачи транспортного обслуживания населения Ростовской области в части пригородных перевозок / И. Н. Егорова // Альманах мировой науки. – 2016. – № 10-1(13). – С. 65-66.
77. Егорова, И. Н. Применение интермодальных транспортных систем в пригородных перевозках / И. Н. Егорова, О. Н. Мелешко // Наука и образование в XXI веке : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 3 частях, Москва, 30 июня 2015 года / ООО "АР-

Консалт". – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "АР-Консалт", 2015. – С. 36-38.

78. Егорова, И. Н. Состояние и перспективы развития пригородных перевозок на примере ОАО "Северо-Кавказская пригородная пассажирская компания" / И. Н. Егорова, О. Н. Мелешко, О. И. Мелешко // Актуальные проблемы развития науки и образования : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: В 7 частях, Москва, 05 мая 2014 года / ООО "Ар-Консалт". – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "АР-Консалт", 2014. – С. 17-20.

79. Елизарьев, М. Ю. Принципы региональной транспортной политики в области пригородных пассажирских перевозок / М. Ю. Елизарьев // Экономика железных дорог. – 2015. – № 11. – С. 42-49.

80. Елизарьева, А. А. Проектный подход к организации пригородных перевозок / А. А. Елизарьева // Экономика железных дорог. – 2017. – № 5. – С. 49-56.

81. Еременко, А. А. Оценка эффективности проектных решений по совершенствованию систем пригородных железнодорожных перевозок в транспортных узлах крупных городов / А. А. Еременко // Экономика железных дорог. – 2015. – № 9. – С. 58-62.

82. Ерофеев, А. А. Концепция интеллектуального управления перевозочным процессом и этапность ее реализации / А. А. Ерофеев, А. Ф. Бородин // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы X Международной научно-практической конференции, Гомель, 26–27 ноября 2020 года / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога, Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта". – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2020. – С. 16-20.

83. Железные дороги мира // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zdmira.com/news/predstavlena-strategiya-razvitiya-zheleznodorozhnogo-transporta-dlya-budapeshtskoj-aglomeratsii> (дата обращения 23.04.2021).

84. Замышляев, А. М. Автоматизация процессов комплексного управления техническим содержанием инфраструктуры железнодорожного транспорта : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Замышляев Алексей Михайлович. – Москва, 2013. – 45 с.

85. Замышляев, А. М. Информационное управление в транспортной сфере / А. М. Замышляев // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – Т. 1. – № 4(4). – С. 11-24.

86. Замышляев, А. М. Эволюция цифрового моделирования / А. М. Замышляев // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – Т. 1. – № 1(1). – С. 82-91.

87. Ильин, И. П. Актуальные вопросы тарифного регулирования пригородных перевозок / И. П. Ильин // Трибуна ученого. – 2020. – № 10. – С. 344-365.

88. Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта. – Москва : УМЦЖДТ, 2013. – 263 с. – ISBN 978-5-89035-620-8.

89. Исаков, Т. А. Автоматизация регулирования пассажиропотока при проведении крупномасштабных культурно-массовых мероприятий : // специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Исаков Тимур Анвярович – Москва, 2019. – 162 с.

90. 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 научно-практической конференции. – Москва : Арт-Бизнес-Центр, 2016. – С. 140-145.

91. Калюжный, Н. А. Проблемы оптимизации пригородных пассажирских железнодорожных перевозок крупной агломерации (на примере Санкт-Петербурга) / Н. А. Калюжный // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 1(54). – С. 132-135.

92. Кейванова, Е. В. Особенности развития социально-ориентированной логистической системы пригородных пассажирских перевозок / Е. В. Кейванова // Новая парадигма социально-гуманитарного знания : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. В 6-ти частях, Белгород, 29 декабря 2017 года / Под общей редакцией Е.П. Ткачевой. – Белгород: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство перспективных научных исследований", 2018. – С. 49-53.

93. Киселев, А. Н. Интермодальные системы в пригородных пассажирских перевозках / А. Н. Киселев, Е. В. Копылова // Железнодорожный транспорт. – 2003. – № 10. – С. 65-67.

94. Кислицын, И. А. Сокращение трудовых и материальных затрат транспортного предприятия путём повышения эффективности организации работы пригородных пассажирских железнодорожных перевозок / И. А. Кислицын // Наука и образование сегодня. – 2017. – № 6(17). – С. 50-52.

95. Кобылицкий, А. Н. Формирование рынка транспортных услуг Дальневосточного федерального округа в сфере пригородных железнодорожных перевозок : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Кобылицкий Андрей Николаевич. – Хабаровск, 2012. – 23 с.

96. 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 социально-экономический институт, 2014. – С. 60-72.

97. Козлов, П. А. Динамическая транспортная задача с задержками / П. А. Козлов, С. П. Миловидов, С. Л. Блюмин // Автоматика и телемеханика. 1984. № 25. С. 158-161.

98. Козлов, П. А. Динамическая транспортная задача с задержками в сетевой постановке / П. А. Козлов, С. П. Миловидов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1982. № 1. С. 211-212.

99. Козлов, П. А. Имитационная экспертиза - необходимая процедура в составе транспортного проекта / П. А. Козлов, А. Э. Александров // Железнодорожный транспорт. – 2010. – № 3. – С. 52-53.

100. Козлов, П. А. Исследование проектов развития железнодорожных станций и полигонов с помощью имитационного моделирования / П. А. Козлов, О. В. Осокин, В. С. Колокольников // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 6. – С. 12-16.

101. Козлов, П. А. Оптимизация структуры транспортных потоков в динамике при приоритете / П. А. Козлов, С. П. Миловидов // Сб. науч. тр. «Экономика и математические методы». 1982. Т. XVIII. № 3. С. – 521-531.

102. Козлов, П. А. О системах и системности на транспорте / П. А. Козлов // Транспорт Урала. – 2016. – № 2(49). – С. 3-8. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-2-3-8.

103. Козлов, П. А. Применение имитационного моделирования для исследования проектов развития железнодорожных станций и линий / П. А. Козлов, О. В. Осокин, В. С. Колокольников // Транспорт и логистика: инновационная инфраструктура, интеллектуальные и ресурсосберегающие технологии, экономика и управление : Сборник научных трудов II международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 07–08 февраля 2018 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2018. – С. 219-227.

104. Козлов, П. А. Проблема организации единой транспортной системы / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. С. Колокольников // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2018. – Т. 14. – № 3. – С. 748-755. – DOI 10.25559/SITITO.14.201803.748-755.
105. Козлов, П. А. Системные исследования - новый подход / П. А. Козлов // Наука и техника транспорта. – 2014. – № 1. – С. 46-50.
106. Козлов, П. А. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. И. Сорокин // Транспорт Урала. – 2016. – № 3(50). – С. 3-8. – DOI 10.20291/1815-9400-2016-3-3-8.
107. Козлов, П. А. Современные методы расчета систем железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. Ю. Пермикин // Механика и трибология транспортных систем (МехТрибоТранс-2016) : Сборник докладов Международной научной конференции. В 2-х томах, Ростов-на-Дону, 08–10 ноября 2016 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2016. – С. 30-36.
108. Козлов, П. А. Согласованная оптимизация составных технологических процессов / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, В. С. Колокольников // Транспорт Урала. – 2018. – № 1(56). – С. 3-6. – DOI 10.20291/1815-9400-2018-1-3-6.
109. Козлов, П. А. Теоретические аспекты взаимодействия потока и элементов структуры в транспортных системах / П. А. Козлов, В. С. Колокольников // Транспорт Урала. – 2019. – № 4(63). – С. 3-7. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-3-7.
110. Колин, А. В. Проблемы интеграции пассажирских перевозок в дальнем и пригородном сообщении / А. В. Колин, Д. Ю. Роменский // Транспортные системы: тенденции развития : Сборник трудов международной научно-практической конференции, Москва, 26–27 сентября 2016 года / Под общей редакцией Б.А. Лёвина. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2016. – С. 113-115.

111. Концепция развития мультимодальных пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта (утверждена ОАО «РЖД» 06.12.2016 г. № 717).

112. Концепция развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 мая 2014 г. № 857-р) [Электронный ресурс]. // КонсультантПлюс. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=163361> (дата обращения 20.04.2016).

113. Копылова, Е. В. Организация работы интермодальных транспортных систем для обслуживания пригородных пассажиропотоков в периоды предоставления "окон" : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Копылова Екатерина Витальевна. – Москва, 2006. – 253 с.

114. Копылова, Е.В. Адаптация метода организации пассажиропотоков для крупных агломераций / Е.В. Копылова // Наука и техника транспорта. – 2021. – №2. – С. 81–86.

115. Копылова, Е.В. Алгоритм назначения остановок поездов дальнего следования в пригородных зонах крупных железнодорожных узлов / Е.В. Копылова, О.Н. Мадяр // Транспортное дело России. – 2017. – №2. – С. 114-117.

116. Копылова, Е.В. Влияние на работу действующих пересадочных узлов Московского метрополитена введения Третьего Пересадочного контура (ТПК) / Е.В. Копылова, Е.Б. Куликова, А.И. Жербина // Материалы международной научно-практической конференции. МГУПС (МИИТ) «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом». – М.: ВИНТИ, 2015. – С. 74–75.

117. Копылова, Е.В. Вокзальный комплекс в современных условиях / Е.В. Копылова // Железнодорожный транспорт. – 2019. – №4. – С. 37-42.

118. Копылова, Е.В. Динамические методы организации пригородных пассажирских перевозок / Е.В. Копылова // Транспорт: наука, техника управление. Научный информационный сборник. – 2021. – №3. – С. 37-40.

119. Копылова, Е.В. Динамическое согласование в системе «Производство-транспорт-потребление» / Е.В. Копылова, П.А. Козлов, Н.А. Тушин // Транспорт Урала. – 2018. – №4 (59). – С. 3-6.

120. Копылова, Е.В. Значение транспорта для развития городских агломераций / Е.В. Копылова // Сборник докладов II-ой международной научно-практической конференции «Устойчивое развитие территорий». – М.: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Москва), 2019. – С. 199-201.

121. Копылова, Е.В. Классификация и принципы формирования ТПУ на базе железнодорожного транспорта / Е.В. Копылова, Е.Б. Куликова // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Транспортные системы: тенденции развития». – М.: ВИНТИ, 2016. – С. 171–176.

122. Копылова, Е.В. Логистика – перспективное направление развития пассажирских перевозок / Копылова Е.В., Куликова Е.Б. // Железнодорожный транспорт. – 2010. – №3. – С. 61-64.

123. Копылова, Е.В. Логистика пассажирских перевозок: особенности и основные понятия / Е.В. Копылова, С.П. Вакуленко // Мир транспорта. – 2015. – №3. – С. 32-36.

124. Копылова, Е.В. Логистика пригородных пассажирских перевозок / С.П. Вакуленко, Е.В. Копылова, Е.Б. Куликова // Мир транспорта. – 2012. – № 6. – С. 102-109.

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

126. Копылова, Е.В. Методические основы формирования комплексного плана транспортного обслуживания населения субъектом Российской Федерации

(в части пригородных перевозок) / Е.В. Копылова, С.П. Вакуленко, А.Ю. Белянкин // Вектор транспорта (альманах). – 2015. – №3. – С. 53–57.

127. Копылова, Е.В. Методические подходы к оценке влияния требований пассажиров к качеству транспортного обслуживания на технологию работы железнодорожного транспорта / Е.В. Копылова, М.А. Туманов // Транспортное дело России. – 2018. – №4. – С. 178–181.

128. Копылова, Е.В. Научные подходы к обеспечению качества обслуживания пассажиров при организации мультимодальных пассажирских перевозок / Е.В. Копылова, С.П. Вакуленко // Железнодорожный транспорт. – 2018. – №6. – С. 21-27.

129. Копылова, Е.В. Нормирование технологических операций: обеспечение безопасности и клиентоориентированности / Е.В. Копылова, М.А. Туманов // Материалы XVIII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МГУПС (МИИТ), 2017. – С. 204–205.

130. Копылова, Е.В. Об имитационном моделировании и имитационных системах / Е.В. Копылова, П.А. Козлов, В.С. Колокольников // Транспорт Урала. – 2019. – №1. – С. 3-6.

131. Копылова, Е.В. Оптимизация оборота составов по обеспечению ниток графика пригородного движения / Е.В. Копылова, П.А. Козлов // Наука и техника транспорта. – 2020. – №2. – С. 68–73.

132. Копылова, Е.В. Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе методологии организации неоднородного (многоструйного) пассажиропотока / Е.В. Копылова // Труды международной научно-практической конференции «Федор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России». – М.: РУТ (МИИТ), 2021. – С. 302–307.

133. Копылова, Е.В. Оценка целесообразности формирования логистических систем обслуживания пассажиров / Е.В. Копылова, С.П. Вакуленко, А.Ю. Белянкин // Мир транспорта. – 2015. – №2. – С. 122-128.

134. Копылова, Е.В. Пассажиропотоки городских агломераций / Е.В. Копылова // Транспорт: наука, техника управление. Научный информационный сборник. – 2021. – №5. – С. 50–57.
135. Копылова, Е.В. Принципы организации мультимодальных пассажирских перевозок с участием железнодорожного транспорта / Е.В. Копылова, С.П. Вакуленко // Соискатель – приложение к журналу Мир транспорта. – 2015. – №2. – С. 56-59.
136. Копылова, Е.В. Принципы формирования маршрутов и категорирование пассажирских поездов / Е.В. Копылова, О.Н. Мазуркина // Мир транспорта. – 2013. – № 2. – С. 130-133.
137. Копылова, Е.В. Проблема организации пригородного пассажиропотока / Е.В. Копылова, П.А. Козлов, О.В. Осокин // Транспорт Урала. – 2019. – №4. – С. 28-32.
138. Копылова, Е.В. Современный вокзальный комплекс как неотъемлемый элемент пассажирской транспортной системы / Е.В. Копылова // Транспортное дело России. – 2018. – №4. – С. 113-117.
139. Копылова, Е.В. Технология организации пригородного пассажиропотока / Е.В. Копылова, П.А. Козлов, О.В. Осокин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – №3. – С. 109-117.
140. Копылова, Е.В. Формирование принципов клиентоориентированного транспортного обслуживания пассажиров в пригородном сообщении / Е.В. Копылова // Материалы международной научно-практической конференции. МГУПС (МИИТ) «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом». – М.: ВИНТИ, 2015. – С. 76–77.
141. Котенко, А. Г. Мультимодальные перевозки как механизм повышения конкурентоспособности железнодорожных пассажирских перевозок / А. Г. Котенко, О. П. Кизляк, Т. А. Малахова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы IX Международной научно-практической конференции, Гомель, 28–29

ноября 2019 года / Под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2019. – С. 138-140.

142. Котенко, А. Г. Управление эксплуатационной работой объектов городского магистрального транспорта в рамках концепции киберфизических систем / А. Г. Котенко // Информатизация и связь. – 2020. – № 5. – С. 51-58. – DOI 10.34219/2078-8320-2020-11-5-51-58.

143. Кочнев, Ф. П. Оптимальные параметры пригородных пассажирских перевозок / Ф. П. Кочнев – Москва : Транспорт, 1975. – 304 С.

144. Кочнев, Ф. П. Основы рациональной организации и резервы пассажирского движения / Ф. П. Кочнев – Москва : Трансжелдориздат, 1955. - 132 С.

145. Кочнев, Ф. П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте : Учебник для вузов ж.-д. трансп. - 6-е изд., перераб. и доп. Ф. П. Кочнев – Москва : Транспорт, 1980. - 496 с.

146. Кочнев, Ф. П. Пассажирские перевозки на железных дорогах : Учебник для вузова [М-ва путей сообщения] / Ф. П. Кочнев - 2-е изд., перераб. – Москва : Трансжелдориздат, 1952. - 328 С.

147. Ксенофонтова, Т. Ю. К вопросу повышения эффективности предпринимательской деятельности в сфере пригородных железнодорожных перевозок / Т. Ю. Ксенофонтова, Н. С. Шабанов, А. А. Ефимов // Экономика и финансы в технологическом развитии России : материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Бориса Николаевича Христенко, Челябинск, 27–29 мая 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Южно-Уральский государственный университет Высшая школа экономики и управления. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – С. 398-403.

148. Кудров, Р. С. Актуальные вопросы обеспечения безубыточности финансирования пригородных пассажирских перевозок / Р. С. Кудров // Экономика железных дорог. – 2013. – № 4. – С. 50-57.

149. 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.

150. Куликов, Е. О. Пути решения проблем пассажирских пригородных перевозок при помощи мультимодальной транспортной системы / Е. О. Куликов, Ю. Е. Жужгова // Бюллетень науки и практики. – 2020. – Т. 6. – № 11. – С. 312-318. – DOI 10.33619/2414-2948/60/39.

151. Купитман, Ю. О. Проблемы математического моделирования процесса пригородных пассажирских перевозок / Ю. О. Купитман // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2019. – Т. 1. – С. 314-319.

152. Курбатова, А. В. Организационно-экономические аспекты совершенствования пригородных железнодорожных перевозок / А. В. Курбатова, Д. А. Плотникова // Вестник университета. – 2019. – № 4. – С. 67-74. – DOI 10.26425/1816-4277-2019-4-67-74.

153. 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.

154. Куренков, П. В. Финансово-экономическое решение проблемы пригородных перевозок / П. В. Куренков, С. П. Вакуленко // Экономика железных дорог. – 2012. – № 12. – С. 96.

155. Лебедева, О. А. Математические модели оценки матрицы корреспонденций на основе данных детектора "вход - выход" подвижного состава городского пассажирского транспорта / О. А. Лебедева // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 2(61). – С. 66-68.

156. Лебедева, О. А. Основные показатели оценки точности измерений пассажиропотока с применением детекторов входа - выхода / О. А. Лебедева, А. Ю.

Михайлов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – № 8(67). – С. 115-118.

157. Лебедева, О. А. Пассажиропотоки и методы их изучения / О. А. Лебедева, М. Н. Крипак // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2011. – Т. 1. – С. 29-029.

158. Лебедева, О. А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования : специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лебедева Ольга Анатольевна. – Иркутск, 2014. – 20 с.

159. Левадная, Н. В. Влияние пригородного железнодорожного транспорта на транспортную систему городов (на примере Санкт-Петербурга) : 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 / Левадная Наталья Викторовна. – Санкт-Петербург, 2005. – 242 с.

160. Ледницкая, Е. Г. Проблемы обеспечения безубыточности пригородных пассажирских перевозок в регионе / Е. Г. Ледницкая // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 26. – С. 52-54.

161. Леонова, О. Г. Методический подход к формированию эффективных тарифов на железнодорожные перевозки пригородными пассажирскими компаниями / О. Г. Леонова, Г. М. Курошева // Транспортное дело России. – 2017. – № 5. – С. 69-72.

162. Леонова, О. Г. Модель эффективного ценообразования для пригородной пассажирской железнодорожной компании / О. Г. Леонова // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2015. – № 7. – С. 40-43.

163. Леонова, О. Г. Обоснование перехода к рыночным методам ценообразования для пригородных пассажирских компаний на перевозки железнодорожным транспортом в условиях реформирования отрасли / О. Г.

Леонова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3(55). – С. 73-78.

164. Леонова, О. Г. Управление тарифами на перевозки пассажиров железнодорожным транспортом на уровне пригородной пассажирской компании : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Леонова Ольга Геннадьевна. – Санкт-Петербург, 2015. – 22 с.

165. Леонова, О. Г. Формирование железнодорожных тарифов на пригородные пассажирские перевозки / О. Г. Леонова // Мир транспорта. – 2016. – Т. 14. – № 4(65). – С. 116-123.

166. Лещев, М. В. Формирование экономического механизма взаимодействия участников пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Лещев Михаил Владимирович. – Москва, 2015. – 22 с.

167. Логистика: общественный пассажирский транспорт : Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальностям направления подгот. дипломированных специалистов - Орг. перевозок и упр. на трансп. / [Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э., Геррами В.Д. и др.]; Под ред. Л.Б. Миротина; Моск. автомоб.-дорож. ин-т (Гос. техн. ун-т). – Москва : Экзамен, 2003. – 222 с. – ISBN 5-94692-482-6.

168. 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.

169. Лунина, Т. А. Организация и финансирование пригородных железнодорожных пассажирских перевозок в России и Германии / Т. А. Лунина, Ю. М. Буинцева, О. С. Иванов // Инновации в жизнь. – 2020. – № 1(32). – С. 24-32.

170. Лякина, М. А. Скорость и мультимодальность как факторы роста результативности рынка пригородных пассажирских перевозок / М. А. Лякина // Развитие экономической науки на транспорте: скорость как экономическая категория, Санкт-Петербург, 06–07 июня 2014 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014. – С. 55-56.

171. Макаренко, В. А. Применение единого тарифа в пригородных железнодорожных перевозках / В. А. Макаренко // Россия в современном мире: экономические, правовые и социальные аспекты развития : материалы научной конференции аспирантов СПбГЭУ, Санкт-Петербург, 25 апреля 2017 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2017. – С. 93-94.

172. Мاستилин, А. Е. Имитационное моделирование пригородных железнодорожных пассажирских перевозок в среде anylogic (на примере Новосибирской области) / А. Е. Мастилин, Н. И. Агуленко // Политранспортные системы : Материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки Россия - ЕС "Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке", Новосибирск, 20–21 ноября 2014 года. – Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения, 2015. – С. 43-46.

173. Медведь, О. А. Анализ структуры пригородных пассажиропотоков в Санкт-Петербургском железнодорожном узле / О. А. Медведь // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 1(26). – С. 7-18.

174. Медведь, О. А. Назначение пригородных поездов в соответствии с целевой структурой пассажиропотока : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Медведь Оксана Анатольевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 16 с.

175. Медведь, О. А. Оценка перспективных пассажиропотоков с учетом требований к качеству обслуживания / О. А. Медведь, А. П. Бадецкий //

Интеллектуальные системы на транспорте : Материалы IV международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 03–04 апреля 2014 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2014. – С. 472-477.

176. Медведь, О. А. Применение поездов целевого назначения как способ совершенствования организации пригородного движения / О. А. Медведь // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – № 2(38). – С. 50-56.

177. Медведь, О. А. Технологические решения по организации пригородных перевозок / О. А. Медведь, А. А. Грачев, И. Н. Шутов // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 6. – С. 45-50.

178. Михальченко, А. А. Повышение эффективности использования ресурсов при выполнении пассажирских пригородных перевозок на неэлектрифицированных линиях железных дорог / А. А. Михальченко, В. Н. Тумилович // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2006. – № 1-2(12-13). – С. 118-122.

179. Московец, А. В. Специфика многокритериального синтеза логистических систем пригородных пассажирских перевозок в регионе / А. В. Московец, О. В. Муленко // Транспорт-2007 : труды Всероссийской научно-практической конференции: в 2 частях, Ростов-на-Дону, 01–31 мая 2016 года / Ответственный редактор А.Н. Гуда; МПС РФ, Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Российский национальный комитет по трибологии, Ростовский государственный университет путей сообщения. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2007. – С. 33-35.

180. Московский транспортный узел: перспективы развития / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Д. Ю. Роменский [и др.] ; Российский университет транспорта (МИИТ). – Москва : ВИНТИ РАН, 2017. – 96 с. – ISBN 978-5-902928-68-3.

181. 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. – Санкт-Петербург, 2008. – 16 с.

182. 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.

183. Мультимодальные перевозки открывают для пригородных компаний новые направления развития бизнеса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gudok.ru/content/passengertrans/1456215/> (дата обращения 20.04.2020)

184. Некоторые аспекты повышения экономической эффективности пригородных перевозок / В. Я. Негрей, М. Н. Луговцов, В. А. Подкопаев, В. М. Кривцова // Проблемы безопасности на транспорте : Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, Гомель, 13–15 июня 2002 года / Под редакцией В.И. Сенько. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта, 2002. – С. 317-318.

185. Некрасов, Д. К. Функциональные аспекты обеспечения безубыточности пригородных перевозок / Д. К. Некрасов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2007. – № 19. – С. 32-36.

186. Нерубаева, А. В. Проблемы финансирования пригородных железнодорожных перевозок / А. В. Нерубаева // Наука. Технологии. инновации : Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, Новосибирск, 02–06 декабря 2014 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2014. – С. 203-206.

187. Николаева, Я. О. Расширение конкурентных преимуществ железнодорожных пригородных перевозок / Я. О. Николаева, М. С. Сазонова // Инфраструктура и эксплуатация наземного транспорта : материалы международной студенческой научно-практической конференции: в 2 частях, Нижний Новгород, 10 апреля 2019 года / Филиал Самарского государственного университета путей сообщения в г. Нижнем Новгороде. – Нижний Новгород:

Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "21 век", 2019. – С. 212-216.

188. Об использовании моделей оптимального управления транспортными потоками / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин, О. В. Осокин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1(41). – С. 60-69. – DOI 10.20291/2079-0392-2019-1-60-69.

189. 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. – ISBN 978-5-89035-816-5.

190. Оценка состояния транспортной системы городов Полоцка и Новополоцка / Д. В. Капский, В. П. Иванов, А. К. Головнич [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 11. – С. 98-102.

191. Пазойский, Ю. О. Автоматизация разработки графика оборота пригородных составов : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пазойский Юрий Ошарович. М.: МИИТ, 1977. – 181 с.

192. Пазойский, Ю. О. Оптимизация параметров системы освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Пазойский Юрий Ошарович. – Москва, 2000. – 339 с.

193. 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. – ISBN 978-5-89035-913-1.

194. 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.

195. 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 (Типограф.Акад.Наук). – 88 с.

196. Панк, Р. В. Совершенствование управления пригородными перевозками (на примере Новосибирского железнодорожного узла) : специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Панк Римма Вячеславовна. – Новосибирск, 2005. – 221 с.

197. Парамонов, В. Б. Методы государственного регулирования пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом в Нижегородской области / В. Б. Парамонов // Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций : материалы Международной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 22 ноября 2016 года / Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2016. – С. 280-283.

198. Петрихин, И. О. Проблемы и перспективы развития пригородных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / И. О. Петрихин // Экономика и управление: теория, методология, практика : труды III международной научно-технической конференции, Самара, 14–15 апреля 2011 года. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2011. – С. 208-212.

199. Петрова, К. Д. Реформирование рынка пригородных пассажирских перевозок / К. Д. Петрова // Развитие экономической науки на транспорте: создание методологической основы для развития компетенций цифровизации транспортных систем : Сборник научных статей VI Международной научно-практической

конференции, Санкт-Петербург, 26 апреля 2018 года. – Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2018. – С. 275-281.

200. Плахотич, С. А. Проблемы и пути решения регулирования пригородных железнодорожных пассажирских перевозок в городских агломерациях / С. А. Плахотич // Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог : Материалы Международной научно-технической конференции, посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, 17 ноября 2016 года / Ответственный за выпуск С.В. Бушуев. – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 1068-1075.

201. Плотникова, Д. А. Роль Московского Центрального кольца в городских и пригородных пассажирских перевозках / Д. А. Плотникова // Актуальные проблемы управления - 2016 : Материалы 21-й Международной научно-практической конференции, Москва, 23–24 ноября 2016 года. – Москва: Государственный университет управления, 2016. – С. 66-68.

202. Постников, В. П. Разработка экономико-математического метода формирования тарифов пригородных пассажирских перевозок / В. П. Постников // Инновационный транспорт - 2016: специализация железных дорог : Материалы Международной научно-технической конференции, посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения, Екатеринбург, 17 ноября 2016 года / Ответственный за выпуск С.В. Бушуев. – Екатеринбург: Уральский государственный университет путей сообщения, 2017. – С. 1076-1083.

203. Постников, В. П. Совершенствование подхода тарифного регулирования пригородных железнодорожных перевозок / В. П. Постников // Экономический анализ: теория и практика. – 2015. – № 37(436). – С. 36-49.

204. Постников, В. П. Совершенствование подхода тарифного регулирования пригородных железнодорожных перевозок / В. П. Постников // Международный бухгалтерский учет. – 2016. – № 13(403). – С. 21-37.

205. Постников, В. П. Устойчивое развитие региона при эффективной организации рынка пригородных перевозок / В. П. Постников // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 12-2(77). – С. 1142-1145.

206. Правдин, Н. В. Прогнозирование пассажирских потоков: Учебное пособие // Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Гомель. 1978. – 57 с.

207. 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.

208. Проблема тарифного регулирования пригородных пассажирских перевозок / А. И. Тимофеев, П. И. Гуленко, О. А. Лукин [и др.] // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТрансПромЭк 2020) : труды Международной научно-практической конференции, Воронеж, 09–11 ноября 2020 года / Ростовский государственный университет путей сообщения. – Воронеж: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" в г. Воронеж, 2020. – С. 104-107.

209. 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 научно-практической конференции, Гомель, 12–15 июня 2000 года / Под редакцией В.Я. Негрея. – Гомель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2000. – С. 131-132.

210. Проскурякова, Е. А. Развитие конкуренции в сфере пригородных пассажирских перевозок / Е. А. Проскурякова // Экономика железных дорог. – 2014. – № 11. – С. 11-17.

211. Проскурякова, Е. А. Развитие рынка пригородных пассажирских железнодорожных перевозок: ориентация на клиента / Е. А. Проскурякова // Развитие экономической науки на транспорте : Сборник тезисов I Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 08–09 июня 2012 года. –

Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2012. – С. 73.

212. Развитие городского транспорта в городах Полоцке и Новополоцке / Д. В. Капский, А. К. Головнич, Т. В. Вигерина [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2020. – № 11. – С. 85-97.

213. Рассказова, О. М. Особенности методов ценообразования на пригородные железнодорожные перевозки / О. М. Рассказова // Развитие экономической науки на транспорте: проблема оптимизации бизнеса : сборник научных статей V Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–14 октября 2016 года / Под редакцией Н.А. Журавлевой; ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I». – Санкт-Петербург: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2016. – С. 384-392.

214. Родина, Д. Р. Особенности маркетинга пригородных железнодорожных перевозок / Д. Р. Родина // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 5(23). – С. 675-677.

215. 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.

216. Савчук, В. Б. Организация и финансирование пригородных железнодорожных пассажирских перевозок / В. Б. Савчук, И. В. Терешко, Д. Д. Чернов // Транспорт Российской Федерации. – 2016. – № 2-3(63-64). – С. 14-19.

217. Савчук, В. Б. Проблемы финансирования пригородных пассажирских перевозок в России / В. Б. Савчук, Л. Н. Рузавин // Транспорт Российской Федерации. – 2014. – № 4(53). – С. 8-10.

218. Сай, В. М. Этапы создания маршрута "Городская электричка" / В. М. Сай, Д. А. Бруснянин // Экономика железных дорог. – 2014. – № 12. – С. 68-78.

219. Сакович, И. Л. Оценка механизма формирования экономически обоснованных затрат по пригородным пассажирским перевозкам / И. Л. Сакович // Бюллетень результатов научных исследований. – 2016. – № 2(19). – С. 17-28.

220. 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.

221. Самсонов, С. В. Современное состояние пригородных пассажирских перевозок на железных дорогах России / С. В. Самсонов // Вестник транспорта. – 2017. – № 3. – С. 33-36.

222. Самуилов, В. М. Развитие ускоренных пригородных пассажирских перевозок с применением инновационного подвижного состава "Ласточка" / В. М. Самуилов, С. В. Кириленко, Т. А. Каргапольцева // Инновационный транспорт. – 2019. – № 2(32). – С. 16-22. – DOI 10.20291/2311-164X-2019-2-16-22.

223. Санков, В. Г. Пассажирские и сопутствующие им потоки на пригородных перевозках: штрихи к теории потоков в логистике / В. Г. Санков, С. А. Морозов // Логистические системы в глобальной экономике. – 2017. – № 7. – С. 284-287.

224. Санков, В. Г. Перевозка и контрольно-кассовое обслуживание пассажиров пригородных электропоездов: логистический аспект / В. Г. Санков, С. А. Морозов. – Саратов : Общество с ограниченной ответственностью Издательство «КУБиК», 2017. – 164 с.

225. Сафронов, А. В. Экономическая оценка потерь времени пассажиров в пригородных перевозках / А. В. Сафронов // Экономика железных дорог. – 2020. – № 4. – С. 60-70.

226. Сидоренко, В. Г. Автоматизация синтеза планового графика движения поездов метрополитена / В. Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. – 2004. – № 2. – С. 48-57.

227. 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. 19-25.

228. Сидоренко, В. Г. Построение планового графика движения для метрополитена / В. Г. Сидоренко, А. И. Сафронов // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9. – № 3(36). – С. 98-105.

229. 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.

230. Сильченков, И. А. Пригородный железнодорожный транспорт: организация перевозок и тарифная политика / И. А. Сильченков // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 6(37). – С. 46-49.

231. Скалов, К. Ю. Взаимодействие городского и пригородного железнодорожного транспорта / К.Ю. Скалов, А.П. Михеев. Ин-т комплексных трансп. проблем при Госплане СССР. - Москва : Транспорт, 1972, 215 с.

232. Соболев, Д. Ю. Развитие конкуренции в сфере пригородных пассажирских железнодорожных перевозок: проблемы и перспективы / Д. Ю. Соболев // Инфраструктурные отрасли экономики: проблемы и перспективы развития. – 2016. – № 16. – С. 116-120.

233. Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния : материалы XVIII международной (двадцать первой Екатеринбургской) научно-практической конференции, Екатеринбург, 16–17 июня 2012 года. – Екатеринбург: АМБ, 2012. – 406 с. – ISBN 978-5-8057-0812-2.

234. Стадник, Т. И. Логистическая организация пригородных перевозок / Т. И. Стадник // Евразийский научный журнал. – 2017. – № 3. – С. 171-172.

235. Старков, Ю. В. Анализ конкурентоспособности пригородных пассажирских перевозок (на примере Пермского края) / Ю. В. Старков, Т. М. Сигитов // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 8-1(61). – С. 332-337.

236. Степанова, Е. С. Железнодорожные перевозки пассажиров в пригородном сообщении: новые подходы к определению тарифов, проблемы и пути решения / Е. С. Степанова, Н. Б. Попова // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2018. – Т. 24. – № 2. – С. 130-137. – DOI 10.21209/2227-9245-2018-24-2-130-137.

237. Степанова, Е. С. Тарифное регулирование пригородных железнодорожных перевозок: новые подходы и пути решения / Е. С. Степанова, Н. Б. Попова // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2019. – Т. 25. – № 4. – С. 116-124. – DOI 10.21209/2227-9245-2019-25-4-116-124.

238. Степанова, Е. С. Функциональные аспекты обеспечения безубыточности пригородных перевозок / Е. С. Степанова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2015. – № 1(45). – С. 160-164.

239. Телегин, А. И. Метод формирования возможных типовых транспортно-логистических схем перевозки пассажира на внутригородских и пригородных маршрутах для определения времени поездки / А. И. Телегин, Н. В. Гончарова, А. В. Юлова // Научные проблемы водного транспорта. – 2020. – № 63(63). – С. 148-159. – DOI 10.37890/jwt.vi63.85.

240. Теплухина, О. Г. Пути снижения затрат на пригородные железнодорожные перевозки : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Теплухина Ольга Геннадиевна. – Москва, 2004. – 23 с.

241. 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.

242. Ткаченко, А. М. Организация внутригородских перевозок пригородным железнодорожным транспортом / А. М. Ткаченко // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2014. – Т. 1. – С. 78-81.

243. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р. Министерство транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/documents/3/1009> (дата обращения 08.04.2019).

244. Трегубов, В. Н. Функциональное обеспечение синхронизации в логистических системах общественного пассажирского транспорта : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : диссертация на соискание ученой степени доктора экономических наук / Трегубов Владимир Николаевич. – Санкт-Петербург, 2011. – 334 с.

245. Фёдоров, Л. С. Транспортная логистика : учебное пособие / Л. С. Фёдоров, В. А. Персианов, И. Б. Мухаметдинов ; под общ. ред. Л. С. Фёдорова. - 3-е изд., стер. – Москва : КноРус, 2016. – 309 с. : ил., табл. - (Бакалавриат).; ISBN 978-5-406-04197-0

246. Филичев, Г. А. Анализ действующей системы субсидирования пригородных железнодорожных перевозок в субъектах Российской Федерации / Г. А. Филичев // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2019. – Т. 9. – № 11-1. – С. 381-388. – DOI 10.34670/AR.2020.93.11.040.

247. Цибулка, Я. Качество пассажирских перевозок в городах / Ян Цибулка; Пер. с чеш. И. В. Шварца; [Предисл. А. Я. Шипилова, Г. А. Новикова]. – М. : Транспорт, 1987. - 239 с.

248. Чередников, И. К. Логистика перевозки пригородных пассажиров / И. К. Чередников, Р. В. Панк // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов. В 9-ти частях, Новосибирск, 02–06 декабря 2019 года / Под редакцией А.В. Гадюкиной. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – С. 837-841.

249. Черемин, Г. Д. Проведение социальной политики государства в области пригородных пассажирских перевозок (на примере железнодорожного транспорта) / Г. Д. Черемин // Экономические стратегии. – 2012. – Т. 14. – № 5(103). – С. 100-105.

250. Чубарова, И. А. Улучшение организации пригородных перевозок на участке Транссибирской магистрали / И. А. Чубарова // Транссиб: на острие реформ : материалы международной научно-практической конференции, Чита, 06–07 октября 2016 года / Иркутский государственный университет путей сообщений; Забайкальский институт железнодорожного транспорта. – Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Иркутский университет путей сообщения", 2016. – С. 254-257.

251. Шиповская, Н. И. Разработка экономического механизма взаимоотношений между участниками перевозок пассажиров в пригородном сообщении : специальность 08.00.06 : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Шиповская Наталья Ивановна. – Москва, 1999. – 175 с.

252. Шкурина, Л. В. Повышение эффективности реализации пригородных перевозок на железнодорожном транспорте / Л. В. Шкурина // Развитие экономической науки на транспорте: экономическая основа будущего транспортных систем : Сборник научных статей VII международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 19 декабря 2019 года / Под ред. Н.А. Журавлевой. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Институт независимых социально-экономических исследований - оценка", 2019. – С. 908-911.

253. Шкурина, Л. В. Проблемы оценки экономико-технологического потенциала транспортной компании при реализации перевозок пассажиров в пригородном сообщении / Л. В. Шкурина, Е. А. Маскаева, Е. Н. Сертакова // Наука и техника транспорта. – 2015. – № 4. – С. 62-64.

254. Шманев, Т. М. Формирование тарифов на услуги инфраструктуры железнодорожного транспорта ОАО "РЖД" в сфере пригородных пассажирских перевозок / Т. М. Шманев, Е. К. Шмарина // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 2(43). – С. 128-134.

255. Шмидт, А. О. Подходы к разработке методики организации модульного движения электропоездов с учетом размеров пассажиропотока / А. О. Шмидт // Транспорт Урала. – 2019. – № 4(63). – С. 91-96. – DOI 10.20291/1815-9400-2019-4-91-96.

256. Шнейдер М.А. Организационно-экономический механизм управления пригородными железнодорожными перевозками // диссертация ... канд. экон. наук 08.00.05 Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. Санкт-Петербург, 2013

257. Шнейдер, М. А. Клиентоориентированность в сегменте пригородных пассажирских перевозок / М. А. Шнейдер // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9. – С. 35-39.

258. Шнейдер, М. А. Механизм взаимодействия субъектов рынка пригородных железнодорожных перевозок / М. А. Шнейдер // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 2. – С. 179-185.

259. Шнейдер, М. А. Организационно-экономический механизм управления пригородными железнодорожными перевозками : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Шнейдер Максим Александрович. – Санкт-Петербург, 2013. – 180 с.

260. Шнейдер, М. А. Рынок пригородных железнодорожных перевозок: управление и экономика / М. А. Шнейдер, Е. А. Проскуракова. – Санкт-Петербург : НП-Принт, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-905942-17-4.

261. Шнейдер, М. А. Экономика новой структуры управления пригородными железнодорожными перевозками / М. А. Шнейдер // Экономика железных дорог. – 2012. – № 11. – С. 20.

262. Щеников, В. Н. О проблеме безубыточности пригородных перевозок / В. Н. Щеников // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2009. – № 1. – С. 135-139.

263. Щукин, В. В. Актуальные вопросы ценообразования на пригородные перевозки в рамках взаимоотношений субъектов РФ и компаний-перевозчиков / В. В. Щукин, Я. В. Подоплелова // Транспортные системы: тенденции развития : Сборник трудов международной научно-практической конференции, Москва, 26–27 сентября 2016 года / Под общей редакцией Б.А. Лёвина. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2016. – С. 130-133.

264. Щукин, В. В. Принципы ценообразования на услуги ОАО "РЖД" пригородным пассажирским компаниям / В. В. Щукин, Я. В. Подоплелова // Экономика железных дорог. – 2016. – № 7. – С. 32-37.

265. Щукин, В. В. Характеристика действующего механизма функционирования пригородного пассажирского комплекса / В. В. Щукин // Экономика железных дорог. – 2015. – № 11. – С. 34-41.

266. Щукин, В. В. Экономическое обоснование системы субсидирования железнодорожных пригородных перевозок : специальность 08.00.05 "Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук / Щукин Владимир Вячеславович. – Москва, 2015. – 22 с.



ОАО «РЖД»
ЦЕНТР ПО КОРПОРАТИВНОМУ
УПРАВЛЕНИЮ ПРИГОРОДНЫМ
КОМПЛЕКСОМ

Новая Басманная ул. 2,
г. Москва, 107174,
Тел.: (499) 260-30-26
Факс: (499) 260-39-79,
www.rzd.ru

«09» 04.2021г. № 368/480110

АКТ

об использовании результатов диссертационного исследования
на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.22.08 – Управление процессами перевозок, выполненного
Копыловой Екатериной Витальевной
на тему «Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе
организации пассажиропотока»

Результаты диссертационного исследования Копыловой Е.В. проанализированы специалистами Центра по корпоративному управлению пригородным комплексом ОАО «РЖД». Разработанные в диссертации методологии оптимальной организации пригородного пассажиропотока на основе метода динамического согласования и технология оптимального обеспечения подвижным составом графика движения пригородных поездов на основе динамической транспортной задачи представляют серьезную практическую значимость для совершенствования работы пригородного пассажирского комплекса железнодорожного транспорта. Данные методологии рекомендованы для использования пригородными пассажирскими компаниями при разработке комплексных планов транспортного обслуживания населения в субъектах Российской Федерации в части пригородных пассажирских перевозок на средне- и долгосрочную перспективу, а также при ведении текущей деятельности по транспортному обслуживанию населения.

Заместитель начальника Центра



Р.В. Лисневский



Акционерное общество
«ВОЛГО-ВЯТСКАЯ ПРИГОРОДНАЯ
ПАССАЖИРСКАЯ КОМПАНИЯ»
(АО «ВВПК»)

603950, г. Нижний Новгород, Московское
шоссе, д. 6а, ГСП-659 тел. 272-50-44

16.04.2021 факс: 272-50-77

№

559

на № _____ от _____

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертации Копыловой Екатерины Витальевны
«Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе организации
пассажиропотока»

Методология организации пригородного пассажиропотока на основе метода динамического согласования, разработанная Копыловой Е.В. в диссертационном исследовании «Оптимизация пригородных пассажирских перевозок на основе организации пассажиропотока», принята к внедрению на полигоне деятельности АО «Волго-Вятская пригородная пассажирская компания».

Полученные в диссертационном исследовании результаты использованы при организации пригородных пассажирских перевозок, в том числе мультимодальных пассажирских перевозок с привлечением автомобильного транспорта, в Нижегородской агломерации.

Генеральный директор

А.Г. Кузнецов

