

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный университет путей сообщения»

На правах рукописи

Леонова Светлана Александровна

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ**

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

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Железнов Дмитрий Валерианович

Самара – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С НАЛИЧИЕМ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ.....	12
1.1 Краткий анализ состояния и перспективы развития транспортных систем мегаполисов и транспортно-пересадочных узлов.....	12
1.2 Зарубежный опыт по развитию ТПУ.....	25
1.3 Отечественный опыт формирования и функционирования ТПУ.....	29
1.4 Создание транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара с целью повышения качества транспортного обслуживания населения	33
Выводы по главе.....	41
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА.....	44
2.1 Исследование известных методик в области формирования, развития и функционирования ТПУ	45
2.2 Определение количества транспортно-пересадочных узлов на территории города	47
2.3 Критерий среднего времени поездки пассажиров в системе городского общественного транспорта для определения мест размещения транспортно-пересадочных узлов	59
Выводы по главе.....	63
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ.....	66
3.1 Системный анализ процессов на городском пассажирском транспорте.....	66

3.2 Модель оптимального выбора системы ТПУ в виде задачи математического программирования.....	71
3.3 Определение эффективных пересадочных узлов на основе анализа маршрутов городского общественного транспорта.....	77
3.4. Разработка математической модели и метода оптимального выбора системы ТПУ на основе эффективных пересадочных узлов.....	80
3.5 Многокритериальный анализ вариантов системы транспортно-пересадочных узлов.....	91
Выводы по главе.....	95
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ТПУ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА САМАРА.....	96
4.1 Теоретические аспекты методики выбора мест расположения ТПУ.....	96
4.2 Выбор маршрутов передвижения пассажиров в системе городского общественного транспорта и определение эффективных пересадочных узлов.....	99
4.3 Определение количества и мест размещения ТПУ городского округа Самара.....	108
4.4 Эффективность формирования и функционирования системы транспортно-пересадочных узлов городского округа Самара	121
4.5 Перспективы дальнейших исследований по теме диссертации.....	123
Выводы по главе.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	125
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А – Суммарные суточные пассажиропотоки прибытия и отправления по каждому району городского округа Самара.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Сеть городского общественного транспорта Самары с размещением остановок и с учетом районирования города.....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Рейтинг эффективных пересадочных узлов по величине пассажиропотока.....	156
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Примерная стоимость строительства ТПУ Аврора....	164

ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Решение задачи оптимального выбора мест размещения ТПУ на основе математической модели при ограниченных денежных средствах с помощью пакета прикладных программ.....	167
ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Инструкция по использованию программы ParetoSet.....	169
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Выбор ТПУ с помощью программы PARETOSet.....	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последнее время проблемы развития транспортных систем городов приобретают все большее значение. В первую очередь, это связано с ростом городов и агломераций, непрекращающимся процессом урбанизации, повышением уровня автомобилизации населения, загруженностью улично-дорожной сети, несанкционированными парковками. Затраты времени на передвижение превышают нормативные значения, что снижает производительность труда работающего населения.

Вопросы обеспечения транспортной доступности, повышения качества транспортных услуг для населения, увеличения роли городского общественного транспорта, сокращения среднего времени поездки (что возможно за счет создания системы транспортно-пересадочных узлов) отмечены как одни из наиболее важных в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года.

Необходимость создания транспортно-пересадочных узлов обусловлена возможностью повышения эффективности организации пассажиропотоков в системе городского общественного транспорта и улучшения качества обслуживания населения.

Строительство пересадочных узлов должно быть целесообразным и экономически оправданным. Оптимальный выбор мест расположения транспортно-пересадочных узлов позволит повысить спрос на городской общественный транспорт, сократить время поездки, обеспечить комфортную, быструю и безопасную пересадку, а также дополнительное обслуживание пассажиров.

Транспортно-пересадочный узел (ТПУ) – это ключевой элемент системы городского общественного транспорта, обеспечивающий перераспределение пассажиропотоков по направлениям движения и между видами транспорта. В

связи с постоянно расширяющимися границами городов становится сложно пассажирам воспользоваться беспересадочными маршрутами для осуществления поездки. Причем поездка через ТПУ может оказаться быстрее и комфортнее, чем поездка прямым маршрутом. Поэтому вопросу создания транспортно-пересадочных узлов следует уделить особое внимание, поскольку система ТПУ является частью всей городской транспортной системы и от того, где будут расположены и как будут функционировать транспортно-пересадочные узлы, зависит качество предоставляемых транспортных услуг, эффективность организации пассажиропотоков, состояние городской транспортной системы в целом. Этим подтверждается актуальность темы диссертационной работы.

Степень разработанности темы исследования. В рамках диссертационной работы выполнен анализ отечественных и зарубежных источников, посвященных вопросам развития городских транспортных систем и ТПУ.

Городские процессы, способствующие росту и развитию мегаполисов, рассматривались Ю.Л. Пивоваровым, А.В. Коротаевым и Е.Ю. Прокофьевой.

Вопросы формирования и развития городских транспортных систем были изучены М.Р. Якимовым, В.В. Зотовым, Ю.К. Поносовым, И.Н. Пугачевым, С.В. Федоровым, А.А. Сорокиным.

В отдельную группу научных трудов можно выделить работы Н.А. Ковалевой, П.В. Голубева, С.М. Резера, Н.В. Левадной, К.М. Епишкиной, В.Н. Шумилова, П.В. Самарцева, В.И. Терзи, А.П. Артынова, А.А. Бычковой, Г.П. Петракова, Ю.О. Пазойского, В.Г. Шубко, С.П. Вакуленко, Ф.П. Кочнева, В.А. Персианова, В.Г. Галабурды, В.Н. Голоскокова, Р.Л. Бранзия, в которых отмечена особая роль железнодорожного транспорта в организации городских и пригородных перевозок.

Особенности развития и проектирования современной транспортной системы мегаполисов, ее инфраструктуры изучены В.А. Шемякиной, Д.Ю. Ломакиной, Го Юнцзюнь, Ань Дун, Ха Дуи Ань, М.А. Маташовой, Б.П. Усановым, Е.А. Солнцевым, Ю.С. Калашниковой, М.С. Фишельсоном.

Особое значение имеют научные труды, связанные с формированием и развитием транспортно-пересадочного узла как важного ключевого элемента городской транспортной инфраструктуры. Это работы Н.Н. Кучеренко, Е.А. Рейцена, Д.Н. Власова, Н.Ю. Еврееновой, Е.П. Левковской, В.А. Щуровой, А.А. Хомицкой, М.А. Пиира, И.В. Белинской, А.Ю. Михайлова, М.А. Журавской, М. Яп, Д.С. Шишова, М.А. Дорофеевой, А.А. Шагимуратовой, Н.А. Калюжного.

Вопросы строительства и проектирования транспортных узлов рассматривались З.В. Азаренковой, Г.Е. Голубевым, И.М. Смоляром, Г.Ю. Смыковской, О.Ш. Тер-Восканяном, Н.В. Данилиной.

Особое внимание уделено изучению пассажирских потоков (в том числе и в ТПУ) в работах Н.В. Правдина, В.Я. Негрея, В.В. Доенина, Д. Хелбинга, В.В. Холщевникова, Д. Харни, В.С. Гвоздякова.

Однако во всех этих научных исследованиях не полностью раскрыты вопросы, связанные с выбором количества и мест формирования пересадочных узлов с точки зрения сокращения среднего времени поездки по городу и величины пассажиропотока, что является определяющей характеристикой ТПУ.

Цель исследования: разработка методики определения оптимального количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов.

Задачи исследования:

1. Выполнен анализ отечественных и зарубежных научных трудов в области формирования и функционирования городских транспортных систем с наличием ТПУ.

2. Разработана оптимизационная математическая модель для решения задачи выбора мест расположения ТПУ по критерию среднего времени поездки при ограничениях. Введено понятие «эффективного пересадочного узла». Предложен метод оптимального выбора системы ТПУ на основе эффективных пересадочных узлов.

3. Разработана методика определения количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе предложенной оптимизационной математической модели.

4. Разработана методика определения количества транспортно-пересадочных узлов в зависимости от площади города и зоны влияния каждого ТПУ без определения места размещения узла. Установлены зависимости числа пересадочных узлов от среднего по городу коэффициента пользования транспортом, развития городской транспортной сети и коэффициента пересадочности.

5. Выполнена реализация методики определения количества и мест размещения ТПУ на примере городского округа Самара. Получена зависимость сокращения среднего времени поездки по городу от числа транспортно-пересадочных узлов.

Объект исследования: городская транспортная система с наличием ТПУ.

Предмет исследования: процессы функционирования объектов городской транспортной системы с наличием ТПУ, закономерности распределения пассажиропотоков.

Научная новизна результатов исследования состоит в следующем:

1. Разработана оптимизационная математическая модель для решения задачи выбора мест расположения ТПУ по критерию среднего времени поездки при ограничениях и метод оптимального выбора системы ТПУ на основе эффективных пересадочных узлов.

2. Разработана методика определения оптимального количества и мест размещения ТПУ на основе предложенной оптимизационной математической модели.

3. Получила дальнейшее развитие методика определения количества ТПУ (без определения мест их размещения) в зависимости от площади города и зоны влияния пересадочных узлов за счет ввода дополнительных параметров (средний по городу коэффициент пользования транспортом, плотность городской транспортной сети, численность населения города, коэффициент пересадочности). Установлены зависимости числа транспортно-пересадочных узлов от среднего по городу коэффициента пользования транспортом, плотности городской транспортной сети и коэффициента пересадочности.

4. На основании разработанной методики сформирована система ТПУ городского округа Самара; получена зависимость сокращения среднего времени поездки по городу от числа транспортно-пересадочных узлов.

Теоретическая значимость работы состоит в разработке методических основ размещения ТПУ в системе городского пассажирского транспорта.

Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности использования полученных научных результатов в программах и проектах развития городских транспортных систем. Результаты диссертационного исследования могут стать основой разработки основных требований к формированию системы транспортно-пересадочных узлов на городской транспортной сети.

Методы исследования, использованные в диссертации: системный анализ, графоаналитический метод, количественные методы моделирования процессов перевозок, метод математической статистики, математическое программирование, метод оптимизации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оптимизационная математическая модель для решения задачи выбора мест расположения ТПУ по критерию среднего времени поездки при ограничениях и метод оптимального выбора системы ТПУ на основе эффективных пересадочных узлов.

2. Методика определения оптимального количества и мест размещения ТПУ на основе предложенной оптимизационной математической модели.

3. Методика определения количества транспортно-пересадочных узлов с учетом площади города и зоны влияния каждого узла; зависимость числа ТПУ от среднего по городу коэффициента пользования транспортом, плотности городской транспортной сети и коэффициента пересадочности.

4. Результаты реализации разработанной методики на примере городского округа Самара; зависимость сокращения среднего времени поездки по городу от числа транспортно-пересадочных узлов.

Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждена строгостью применяемых методов математического моделирования, методов оптимизации; реализацией разработанной методики выбора мест размещения ТПУ на примере городского округа Самара с использованием реальных значений величины пассажиропотоков; обобщением отечественного и мирового опыта развития городских транспортных систем с наличием транспортно-пересадочных узлов.

Апробация результатов работы.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, представлены и обсуждены на международных и российских научно-практических конференциях:

– 16 декабря 2015 г. принято участие в VII Международной молодежной научно-практической конференции «Научные исследования и разработки молодых ученых» (г. Новосибирск).

– 22 апреля 2016 г. принято участие в Международной научно-практической конференции «Транспортно-логистическая интеграция Забайкальского края в условиях российско-Китайско-Монгольского трансграничья» (г. Чита).

– 19 – 21 октября 2016 г. принято участие в IX Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (г. Самара).

– 25 ноября 2016 г. принято участие в VI Всероссийской научно-практической конференции «Железнодорожный транспорт: наука, техника, образование» (г. Самара – Рузаевка).

– 19 – 20 октября 2017 г. принято участие в X Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (г. Самара).

– 30 мая 2018 г. принято участие в I Международной научно-практической конференции «Наука и образование: достижения и перспективы» (г. Самара – г. Саратов).

– 11 – 12 октября 2018 г. принято участие в IV-й Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов» (г. Гомель).

– 25 – 26 октября 2018 г. принято участие в XI Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» (г. Самара).

– 1 – 2 февраля 2019 г. принято участие в III Международной научно-практической конференции «Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике» (г. Ростов-на-Дону).

– 24 апреля 2019 г. принято участие в V международной научно-практической конференции «Технологии, материалы, транспорт и логистика: перспективы развития – TMTL'19» (г. Луганск).

– 30 мая 2019 г. принято участие во II Международной научно-практической конференции «Самара Цифровая» (г. Самара).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 14 научных работ, из них 4 работы входят в список реферируемых изданий ВАК РФ по специальности (2 из них без соавторства).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит введение, 4 главы, заключение, список литературы, 7 приложений. Основной текст диссертации написан на 146 страницах, который включает 39 формул, 9 таблиц, 30 рисунков. Библиографический список литературы состоит из 181 наименования.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ С НАЛИЧИЕМ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ

1.1 Краткий анализ состояния и перспективы развития транспортных систем мегаполисов и транспортно-пересадочных узлов

В последнее время проблемы развития транспортных систем городов приобретают все большее значение. В первую очередь, это связано с ростом городов и агломераций, непрекращающимся процессом урбанизации населения.

Выполнен ряд научных исследований в области развития и функционирования транспортных систем мегаполисов, которые условно можно разделить на 7 групп.

К первой группе можно отнести научные труды Ю.Л. Пивоварова [94], А.В. Коротаева [57] и Е.Ю. Прокофьевой [105], в которых выполнен анализ городских процессов, способствующих росту и развитию мегаполисов.

Для решения вопросов, связанных с усовершенствованием городских транспортных систем, необходимо иметь представление об урбанизации, причинах возникновения и этапах развития крупных городов и мегаполисов мира.

Ю.Л. Пивоваров [94] рассмотрел и проанализировал городские процессы и итоги урбанизации России за последние сто лет. Выделил этапы, основные проблемы и особенности урбанизации в СССР и России. В работе не отмечены особенности современного и перспективного развития мегаполисов и городских агломераций.

А.В. Коротаев [57] изучил динамику развития городов мира, рост численности населения. Выполнил анализ литературных источников в сфере развития государств, городов и общества.

Требуется дальнейшее изучение вопроса формирования и совершенствования городской транспортной инфраструктуры, развития системы общественного транспорта.

В работах Е.Ю. Прокофьевой [105] выделены актуальные проблемы современных урбанистических процессов в Подмосковье, даны рекомендации по проектированию и формированию загородных поселений.

Важно в дальнейшем рассмотреть вопрос развития и проектирования систем городского транспорта для связи пригородных поселений с основными общественными центрами.

Как следствие урбанизации и роста мегаполисов возникают экологические проблемы, связанные с постоянным увеличением количества личного автомобильного транспорта. Эта проблема также выходит на первый план и требует решения.

Вторая группа научных работ охватывает вопросы формирования и развития городских транспортных систем. Она включает работы М.Р. Якимова [146–148], В.В. Зотова [50], Ю.К. Поносова [98, 99], И.Н. Пугачева [106], С.В. Федорова [128], А.А. Сорокина [119], а также российские и зарубежные патенты на изобретения и полезные модели [4, 5, 32, 129, 58, 59, 82, 111, 177, 179].

М.Р. Якимовым [146–148] разработана методология создания современной, надежной, устойчивой городской транспортной системы, принципы ее управления.

В.В. Зотов [50] изучил каждый элемент транспортного комплекса с учетом его специфических особенностей. Разработал необходимые рекомендации по развитию транспортных систем крупных городов на основе функционально-специализированного подхода. Впервые рассмотрел специальный транспорт как важный составляющий элемент транспортно-логистической системы, способы управления им.

Важно больше внимания уделить понятию транспортно-пересадочного узла как элемента современной эффективной транспортной системы.

В трудах Ю.К. Поносова [98, 99] рассмотрены методические основы

формирования, управления и функционирования городских транспортных систем. Автором проведен структурный анализ транспортной системы, разработаны математические методы управления всеми ее составляющими в современных условиях. При этом ученым не приведены наглядные примеры применения предлагаемых математических методов (на примере транспортной системы определенного города, агломерации).

И.Н. Пугачев [106] усовершенствовал теоретико-методические основы функционирования городских транспортных систем. Получил новые данные о закономерностях развития автотранспортных систем городов, предложил способы управления транспортными потоками с наименьшими затратами.

Также необходимо рассмотреть вариант внедрения в городскую дорожную сеть альтернативных видов транспорта. Возможно использование результатов исследований и предлагаемых научных концепций для дальнейшего развития городских транспортных систем.

Работа С.В. Федорова [128] посвящена совершенствованию методов проектирования транспортных сетей в городах с населением от 250 тысяч до 1 миллиона человек.

Важным является исследование вопросов проектирования маршрутных систем мегаполисов и городских агломераций с населением более 1 миллиона жителей.

А.А. Сорокин [119] изучил вопросы моделирования и оценки состояния городской транспортной системы. Определил влияние затрат времени передвижения по городу на производительность труда работающего населения.

В российских и зарубежных патентах на изобретения и полезные модели [4, 5, 32, 129, 58, 59, 82, 111, 177, 179] описаны возможные варианты проектов транспортных комплексов и городских систем общественного транспорта.

Изобретения Ю.В. Алексеева [4, 5] и Б.В. Гусева [32] относятся к способам создания транспортного комплекса мегаполиса, регулирования и разгрузки транспортных потоков. Техническая задача, решаемая посредством предлагаемых проектов транспортных систем, состоит в оптимизации пассажиропотоков на

улицах мегаполиса, улучшении экологии за счет уменьшения количества транспортных заторов.

С целью повышения удобства обслуживания транспортом населения Москвы, а также для улучшения экологии необходимо внедрить в транспортную систему дополнительные железнодорожные городские маршруты, альтернативные виды городского транспорта.

Технический результат, обеспечиваемый изобретением А.В. Федосеева [129], состоит в обеспечении регулирования транспортных потоков города с наименьшими затратами в условиях тесной городской застройки и наличия большой транспортной загруженности магистралей с одновременным выполнением работ по ремонту и реконструкции.

А.А. Короткий [58, 59] разработал транспортный мультимодальный комплекс по обслуживанию пассажиров различными видами транспорта, предназначенный для оптимизации пассажирских потоков в сложной урбанизированной среде. Частным случаем использования предлагаемого комплекса является его интеграция в городскую транспортную систему города Сочи.

А.Л. Садовский [111] предлагает использовать в крупном городе беспересадочную модульную транспортную систему.

Ж. Тиан [177], Я. Вен [179] рассматривают возможность совершенствования системы наземного городского транспорта за счет модернизации железнодорожных узлов и их элементов.

Изобретение Ю.М. Лужкова [82] относится к транспортным комплексам крупных городов, охватывающим подземный и наземный виды пассажирского транспорта. Автор предлагает повысить эффективность транспортного комплекса мегаполиса за счет внедрения монорельсовой транспортной системы.

Важно при строительстве новых сооружений в составе транспортного комплекса города рассмотреть возможность строительства ТПУ, как обязательного элемента транспортной системы современного мегаполиса с целью улучшения качества обслуживания пассажиров.

Все вышеперечисленные полезные модели и изобретения не решают общей проблемы загруженности городских дорог. Необходим комплексный подход к урегулированию данных вопросов в области городских транспортных систем.

В третью группу научных трудов можно выделить работы Н.А. Ковалевой [55], П.В. Голубева [30], С.М. Резера [107], Н.В. Левадной [64], К.М. Епишкиной [41], В.Н. Шумилова [143], П.В. Самарцева [112], В.И. Терзи [123], А.П. Артынова [6, 7], А.А. Бычковой [13], Г.П. Петракова [93], Ю.О. Пазойского [89, 90], В.Г. Шубко [142], С.П. Вакуленко [14, 15], Ф.П. Кочнева [61], В.А. Персианова [91, 92], В.Г. Галабурды [22], В.Н. Голоскокова [26, 27], Р.Л. Бранзия [9], в которых отмечена особая роль железнодорожного транспорта в организации городских и пригородных перевозок.

Н.А. Ковалева [55] уделила особое внимание загруженности транспортных систем крупных городов и агломераций в «часы-пик». Автор отмечает увеличение роли внутригородских железнодорожных перевозок пассажиров. Внедрение в транспортную систему городского электропоезда повысит скорость доставки пассажиров и позволит уменьшить загруженность других видов городского транспорта в «пиковые» часы.

Н.А. Ковалева предлагает обеспечить устойчивость функционирования городской транспортной системы с помощью совершенствования маршрутной сети.

Требует рассмотрения вопрос создания ТПУ в местах пересечения различных видов городского транспорта с учетом всех необходимых параметров, которые влияют на эффективную и согласованную работу элементов транспортной системы.

В работах П.В. Голубева [30], С.М. Резера [107] выделены особенности организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте, оптимизации размеров движения пригородно-городских перевозок. Исследуются железнодорожные узлы в местах пересечения пригородно-городских и городских перевозок, при этом перевозки осуществляются железнодорожным транспортом и метрополитеном.

Учитывая современное состояние городских транспортных систем, важным является изучение транспортных узлов как точек пересечения маршрутов железнодорожного, автомобильного, трамвайного, троллейбусного транспорта и метрополитена.

В работах Н.В. Левадной [64] разработана методика анализа транспортной системы города с учетом влияния на нее пригородного железнодорожного транспорта. Определена зависимость распределения пассажиров пригородного железнодорожного транспорта от времени поездки.

Требуются дальнейшие исследования в области снижения загруженности городских транспортных систем, создания ТПУ как системы элементов, обеспечивающей быстрое перераспределение пассажиропотоков между различными видами транспорта.

В работах К.М. Епишкиной [41] также говорится об увеличении роли рельсового транспорта в общественных перевозках мегаполиса. Именно с этим видом транспорта В.Н. Шумилов [143] связывает представление об инновационном пути развития интегрированной транспортной системы города Новосибирска.

Кроме рассматриваемого городского железнодорожного транспорта, который имеет ряд преимуществ, необходимо уделить внимание другим видам общественного транспорта, увязать их в общую транспортную систему города с учетом изменения пассажиропотоков на всех видах транспорта.

П.В. Самарцевым [112] разработаны методы организации пассажирских перевозок в городах Дальнего Востока и Сибири. Отмечена возможность применения пригородных электропоездов как городского вида транспорта, что позволит повысить качество обслуживания и снизить время нахождения в пути пассажиров, уменьшить число пересадок.

Автором не уделено должного внимания вопросу организации пересадки пассажиров с пригородных электропоездов на другие виды транспорта, то есть процессу организации пассажиропотоков в пересадочных узлах.

В работах В.И. Терзи [123], А.П. Артынова [6, 7] усовершенствованы методы расчета размеров движения, а также схем обращения пригородных поездов в транспортном узле. Это дает возможность пассажиру в пределах города осуществлять беспересадочный проезд. Можно в дальнейшем рассмотреть внедрение единых билетов на городские и пригородные маршруты для оптимизации пассажиропотоков, сокращения времени поездки и обеспечения удобства для пассажиров.

А.А. Бычковой [13] предложены методы оценки и управления уровнем сервиса на вокзалах. Исследованы возможные способы повышения качества обслуживания пассажиров на железнодорожных вокзалах.

Необходимо проработать вопросы взаимодействия железнодорожного транспорта с другими видами городского транспорта для повышения его привлекательности для пассажиров, обеспечения удобного и комфортного процесса перевозки. Для организации эффективного взаимодействия различных видов транспорта в городских транспортных системах можно использовать результаты научных исследований Г.П. Петракова [93].

В трудах Ю.О. Пазойского [89, 90], В.Г. Шубко [142], С.П. Вакуленко [14, 15] рассматривается широкий спектр вопросов, связанных с организацией интермодальных перевозок в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта, освоения пригородных пассажиропотоков в условиях мегаполиса. Приведены методики расчета размеров движения, описана работа интермодальных пересадочных комплексов.

В работах Ф.П. Кочнева [61] в полной мере исследованы вопросы организации пассажирских перевозок железнодорожным транспортом.

Важно исследовать вопросы формирования транспортных узлов в местах стыкования железнодорожного транспорта с другими видами пассажирского транспорта.

В работах В.А. Персианова [91, 92], В.Г. Галабурды [22], выделены особенности организации пассажирских перевозок, принципы управления

перевозочным процессом, раскрыта роль пассажирского транспорта в социально-экономическом развитии страны.

В.Н. Голоскоков [26, 27] представил концептуальные положения инновационной логистики управления железнодорожным транспортом, транспортно-логистическими центрами ОАО «РЖД».

Ученые в рамках своих работ не рассматривают необходимость проектирования транспортно-логистических центров с возможностью их дальнейшего расширения, преобразования в ТПУ для обеспечения оптимального распределения пассажиропотоков.

Вопросы организации интермодальных пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах освещены в работах Р.Л. Бранзия [9]. Транспортный узел автором не рассмотрен как целостная система транспортного комплекса, состоящая из множества взаимосвязанных элементов.

Таким образом, учитывая современное состояние городской транспортной инфраструктуры, необходимо акцентировать внимание на создании транспортно-пересадочных узлов в местах пересечения различных видов городского транспорта. Без ТПУ невозможно комфортное и быстрое перераспределение пассажиропотоков в крупных городах и агломерациях.

Четвертая группа научных трудов посвящена вопросам строительства и проектирования современной транспортной инфраструктуры мегаполисов. Это работы В.А. Шемякиной [139], Д.Ю. Ломакиной [80], Го Юнцзюнь [145], Ань Дун [38], Ха Дуи Ань [37], М.А. Маташовой [84], Б.П. Усанова [126], Е.А. Солнцева [118], Ю.С. Калашниковой [51], М.С. Фишельсона [130].

В.А. Шемякиной [139] проведен подробный анализ градостроительных структур и развития транспортной системы городов Великобритании, Д.Ю. Ломакиной [80] – Франции, Го Юнцзюнь [145] и Ань Дун [38] – Китая, Ха Дуи Ань [37] – Вьетнама.

Необходимо выполнить сравнение и анализ развития городских агломераций зарубежных стран и России, использовать зарубежный опыт для развития отечественных транспортных систем городов.

Созданию современной транспортной инфраструктуры городов Российской Федерации посвящены работы М.А. Маташовой [84] (на примере г. Хабаровска), Б.П. Усанова [126] (на примере Санкт-Петербургской агломерации), Е.А. Солнцева [118] (на примере транспортной инфраструктуры олимпийских объектов г. Сочи), Ю.С. Калашниковой [51] (на примере г. Волгограда).

М.С. Фишельсоном [130] уделено особое внимание вопросам рационального проектирования городских улиц, дорог и транспортной системы в целом.

При внедрении приведенных выше проектов требуется предусмотреть возможные изменения в них в связи с дальнейшим процессом урбанизации и развитием системы транспортно-пересадочных узлов.

Особое значение имеет пятая группа научных трудов, связанных с формированием и развитием транспортно-пересадочного узла как важного ключевого элемента городской транспортной инфраструктуры. Это работы Н.Н. Кучеренко [63], Е.А. Рейцена [108], Н.Ю. Еврееновой [39], Е.П. Левковской [65], В.А. Щуровой [144], А.А. Хомицкой [132, 133], М.А. Пиира [95-96], Д.Н. Власова [17-20], А.А. Шагимуратовой [136, 137], Н.А. Калюжного [52, 53], И.В. Белинской [8], Д.С. Шишова [140], М.А. Дорофеевой [36], А.Ю. Михайлова [85], М.А. Журавской [48, 49], М. Яп [181].

Н.Н. Кучеренко [63] и Е.А. Рейцен [108] перечислили функции логистической системы управления городским транспортом, дали определение ТПУ, отметили особенности изменения и развития пересадочных узлов города Киева. Е.А. Рейцен [108] рассмотрел особенности развития и изменения пересадочных узлов на примере Московской и Вокзальной площадей в городе Киеве в период с 1989 по 2004 гг.

Для формирования более полного и целостного представления о возможностях и перспективах развития пересадочных узлов следует рассмотреть период с 2004 по настоящее время.

Учеными выполнена классификация ТПУ, но она имеет не окончательную форму. Более полную классификацию пересадочных узлов, сформированных с участием железнодорожного транспорта, дала Н.Ю. Евреенова [39].

Н.Ю. Еврееновой [39] рассмотрена классификация ТПУ, выбраны параметры пересадочных узлов, формируемые с участием железнодорожного транспорта, с использованием логистических закономерностей моделирования пассажиропотоков. Однако в рамках своих научных работ автором недостаточно исследованы другие виды городского пассажирского транспорта в системе ТПУ.

Е.П. Левковской [65] выделены принципы организации транспортно-пересадочных узлов.

В работах В.А. Щуровой [144] рассматриваются транспортные, планировочные и архитектурно-дизайнерские задачи для формирования городской застройки. Особая роль отведена ТПУ. В дальнейшем следует обратить внимание на неравномерность и колебания пассажиропотоков в транспортных системах городов. Это является важным аспектом в решении всех вопросов, связанных с планированием и проектированием городских застроек, транспортных комплексов и непосредственно ТПУ.

А.А. Хомицкая [132, 133] отметила особенности формирования пересадочных узлов в центральных районах города и, как следствие, сокращение затрат времени на пересадку. Важно сформировать транспортно-пересадочные узлы не только в центральных районах города, но и на окраинах для совершенствования организации пригородных перевозок.

М.А. Пиир [95–96] представил возможные пути снижения затрат на перемещение пассажиров в крупных городах в условиях взаимодействия различных видов транспорта, выделил основные принципы формирования пересадочных узлов. Требуется дальнейших исследований вопрос создания системы транспортно-пересадочных узлов в современных городах и мегаполисах.

Большой вклад в исследование городских транспортных систем и ТПУ внес Д.Н. Власов [17–20]. Им разработаны научно-методологические основы развития систем ТПУ, обеспечивающих приоритетное развитие общественного городского

транспорта. Пересадочный узел изучается как самостоятельная и весомая часть городской транспортной инфраструктуры, как система взаимодействующих элементов.

А.А. Шагимуратова [136, 137] и Н.А. Калюжный [52, 53] предложили каждый свою методику оценки развития ТПУ с участием рельсового городского транспорта, изучили вопрос определения приоритетных транспортно-пересадочных узлов.

И.В. Белинской [8] предложены показатели технико-экономической оценки целесообразности строительства пересадочного узла в мегаполисе. Предлагаемые экономические расчеты могут быть использованы на предпроектных стадиях строительства ТПУ.

Д.С. Шишовым [140] и М.А. Дорофеевой [36] исследованы проблемы транспортной структуры города, выделены условия ее эффективного функционирования. Предложена модель мультимодального пересадочного транспортного узла, которая исключает главные недостатки имеющихся в мировом опыте узлов.

А.Ю. Михайлов [85] определил наиболее важные параметры для оценки качества обслуживания пассажиров в ТПУ.

В дополнение ко всему важным является дальнейшее изучение вопроса взаимодействия видов транспорта в узле, возможности развития ТПУ с точки зрения улучшения качества обслуживания населения и повышения транспортной доступности.

М.А. Журавской [48, 49] отмечено, что городские транспортные системы должны быть удобными для пользователей, что невозможно без транспортных узлов. Автором определены остановки общественного транспорта, наиболее подходящие для трансформации их в транспортно-пересадочные узлы по критерию величины пассажиропотока. Можно использовать полученные научные результаты для формирования системы ТПУ любого города.

К шестой группе научных трудов можно отнести работы З.В. Азаренковой [1, 2], Г.Е. Голубева [28–29], И.М. Смоляра [116], Г.Ю. Смыковской [117], О.Ш.

Тер-Восканяна [121], Н.В. Данилиной [33–34], в которых рассматриваются вопросы строительства и проектирования транспортных узлов.

З.В. Азаренковой [1–2] предложены варианты решений генеральных планов, представлены основные принципы проектирования ТПУ как важного объекта градостроительства. Учен зарубежный и отечественный опыт в вопросах реконструкции и строительства узлов. Предлагается применение рациональных планировочных и технических решений.

Следует отметить, что кроме всего прочего необходимо учесть логистический подход к созданию новых и реконструкции существующих ТПУ. Особого внимания заслуживают постоянно изменяющиеся во времени пассажиропотоки.

Г.Е. Голубевым [28–29] рассмотрены особенности проектирования, принципы размещения многоуровневых транспортных узлов. При этом необходимо дальнейшее изучение особенностей передвижения пассажиропотоков между уровнями ТПУ в условиях неравномерности.

И.М. Смоляр [116] изучил принципы градостроительного проектирования в современных условиях. Разобрал понятия жилой и производственной среды города. Изложил основные сведения по организации и технологии градостроительного проектирования, но недостаточно внимания уделил вопросам ТПУ как части архитектурной композиции города.

Г.Ю. Смыковская [117] и О.Ш. Тер-Восканян [121] рассматривают пересадочный узел как многофункциональный общественно-транспортный центр, имеющий экономическое, социальное, общественное значение. Важно учесть особенности современных городских транспортных систем при проектировании ТПУ.

Н.В. Данилиной [33–34] разработаны научно-методические основы проектирования «перехватывающих» стоянок в составе ТПУ. Определены требуемые емкости стоянок и выполнена оценка их влияния на транспортную ситуацию. Необходимо также исследовать другие элементы в системе ТПУ.

К седьмой группе научных работ можно отнести работы Н.В. Правдина [103, 104], В.Я. Негрея [86], В.В. Доенина [35], Д. Хелбинга [159], В.В. Холщевникова [131], Д. Харни [157], В.С. Гвоздякова [23, 24], в которых особое внимание уделяется изучению пассажирских потоков (в том числе и в ТПУ).

Н.В. Правдиным [103, 104], В.Я. Негреем [86] исследованы вопросы целесообразного использования различных видов пассажирского транспорта с учетом величины пассажиропотока. Отмечены основные сложности в выполнении расчетов пропускной способности основных элементов транспортных систем, в том числе и ТПУ.

В.В. Доенин [35] рассматривал моделирование пассажиропотоков в транспортных системах и ТПУ. При этом необходим дальнейший анализ процессов, возникающих в пересадочных узлах.

Исследованиями людских пешеходных потоков занимались Д. Хелбинг [159], В.В. Холщевников [131], Д. Харни [157].

Д. Хелбинг [159] рассмотрел особенности пешеходных потоков, развитие систем пешеходных маршрутов. Предложено соответствующее компьютерное моделирование, которое позволяет оптимизировать пешеходные объекты и системы.

В.В. Холщевниковым [131] представлены методики моделирования и расчета параметров людского потока. Современные методы и будущие направления пешеходного моделирования описаны Д. Харни [157].

В.С. Гвоздяковым [23, 24] изучены закономерности движения людских потоков в транспортно-коммуникационных сооружениях, в том числе и в системах ТПУ, исследованы вопросы координации работы транспорта в пересадочных узлах.

Авторами не рассмотрено применение компьютерного моделирования для разработки оптимизированных людских потоков в ТПУ, не выделены наиболее загруженные элементы.

Таким образом, в связи с урбанизацией населения, постоянным ростом городов-мегаполисов, повышением уровня автомобилизации населения требует

модернизации вся городская транспортная система. Проблема формирования и функционирования системы ТПУ является неотъемлемой частью общей проблемы совершенствования городских транспортных систем.

1.2 Зарубежный опыт по развитию ТПУ

Транспортно-пересадочный узел (ТПУ) – это ключевой элемент системы городского общественного транспорта, обеспечивающий перераспределение пассажиропотоков по направлениям движения и между видами транспорта.

Основная функция ТПУ транспортная, которая заключается в обеспечении рациональной организации транспортных потоков с быстрой, безопасной и комфортной пересадкой пассажиров с одного вида транспорта на другой. Прикладными функциями являются коммуникационная, экологическая, эстетическая, торговая, культурно-развлекательная, социально-экономическая [141].

К настоящему времени накоплен значительный зарубежный опыт в создании и развитии транспортно-пересадочных узлов.

ТПУ формируются в транспортных узлах с большими значениями пассажиропотока для совершенствования организации перевозочного процесса. Это центр социальной активности, который включает здания, сооружения, транспортные устройства и открытые пространства, где осуществляется распределение пассажиропотоков.

Многофункциональность ТПУ обеспечивается возможностью транспортного обслуживания пассажиров с предоставлением различных видов услуг и информации.

Основные системы ТПУ зарубежных стран мира рассмотрены и проанализированы Н.Ю. Еврееновой [39]. Это пересадочные узлы в Токио (Япония), Нью-Йорке и Кембридже (США), Брюсселе (Бельгия), Берлине (Германия), Сеуле (Южная Корея), Лондоне (Великобритания), Монреале (Канада), Dhoby Ghaut (Сингапур), Пекине (Китай), Страсбурге (Франция), которые отличаются особым развитием и включают все системы рельсового транспорта и городского наземного пассажирского транспорта.

В работе Н.Ю. Еврееновой [39] выделены транспортные узлы межрегионального значения, регионального и городского значения. В качестве примера ТПУ межрегионального значения выбран узел «Шинагава» в Токио, городского значения – «Одайбо». Также важно отметить транспортно-пересадочные узлы регионального значения. Примером такого интегрированного узла является ТПУ в Мацумото (Япония) [87]. Он включает в себя железнодорожный вокзал и автовокзал, является пунктом пересечения городских и региональных пассажиропотоков. На территории узла также находятся муниципальная парковка и крупный торговый комплекс. В Мацумото отмечается удобная система информирования и ориентации на территории ТПУ. Спроектированы пешеходные галереи для защиты пассажиров от атмосферных осадков и связи вокзала с остановочными пунктами городского общественного транспорта и стоянками такси [113]. Передовой опыт создания и функционирования ТПУ в Японии необходимо использовать в отечественном градостроительстве.

Особый интерес также представляют транспортные узлы Гонконга и Шанхая в Китае. ТПУ Хунцяо в городе Шанхае является одним из крупнейших многофункциональных пересадочных узлов. Помимо высокоскоростного железнодорожного сообщения, узел связан с международным аэропортом, 30-ю автобусными маршрутами и несколькими линиями метро. ТПУ рассчитан на 1 млн. 100 тысяч пассажиров в день. В настоящее время исследование поведения пассажиров в транспортном узле Хунцяо осуществляется с использованием данных мобильного телефона [164].

Составляющими элементами системы ТПУ городского значения в Пекине являются не только линии метрополитена, трамвая, автобусов, автомобилей, но и велосипедные дорожки и парковки. Это способствует увеличению привлекательности для жителей города экологически чистых и безопасных видов транспорта.

Все транспортно-пересадочные узлы Китая характеризуются своей эффективной работой и безупречно организованной транспортной системой. Главным в организации перевозок является логистический подход в обеспечении передвижения потоков. Особое внимание уделено привлечению внебюджетных средств для проектирования и строительства транспортных узлов.

ТПУ в Испании, как правило, размещаются под землей, а сверху создаются парки или городские площади. Например, узлы «Пласа де Кастилья» и «Чамартин» в Мадриде сделаны полностью подземными с целью рационального использования городской территории и вписывания его в историческую застройку. ТПУ «Чамартин» является точкой пересечения маршрутов городских и пригородных автобусов, линий метро, железнодорожных линий поездов дальнего следования и пригородных поездов. Что интересно, у этих проектов почти нет коммерческой составляющей.

К основным тенденциям развития и формирования ТПУ в Испании можно отнести размещение их под землей, и, как следствие этого, более значительные финансовые затраты в сравнении с наземными конструкциями и небольшие коммерческие площади. Транспортные узлы Мадрида являются неотъемлемой частью городской системы общественного транспорта и определяют качество предоставляемых транспортных услуг [153].

Подробный анализ организации городских и пригородно-городских пассажирских перевозок зарубежных городов выполнен Калюжным [52]. Автор отметил особую роль рельсового городского пассажирского транспорта в таких городах, как Берлин, Париж, Лондон, Хельсинки, Нью-Йорк, Чикаго, Лос-Анджелес, Пекин, Токио. В местах пересечения городского рельсового транспорта с другими видами общественного пассажирского транспорта

формируются современные, многофункциональные транспортно-пересадочные узлы.

В других городах также основой для создания ТПУ являются станции городских и пригородных железных дорог, станции метро [149, 150, 151, 156, 158, 168–169, 170, 171, 174, 176, 180].

Таким образом, характерными особенностями ТПУ зарубежных стран мира являются:

- интеграция в систему ТПУ скоростного железнодорожного транспорта, связь железнодорожных вокзалов и аэропортов города;

- ТПУ обеспечивают связь всех видов городского транспорта, являются основным связующим звеном местного, регионального, межрегионального и международного значения;

- городские ТПУ формируются в местах пересечения городского рельсового транспорта с другими видами общественного пассажирского транспорта;

- строительство транспортных узлов осуществляется с учетом вписывания их в архитектурно-планировочную структуру города, облагораживается территория вокруг ТПУ, создаются скверы, парки и другие места отдыха;

- в самом транспортно-пересадочном узле отмечается рациональная организация пассажиропотоков за счет проектирования нескольких уровней, что обеспечивает компактность размещения ТПУ в условиях ограниченной территории. Наличие в структуре транспортного узла велосипедных дорожек и парковок связано с популяризацией экологически чистых и безопасных видов транспорта. Реализован проект «пространство без барьеров», который позволяет беспрепятственно перемещаться группам людей с ограниченными физическими возможностями. Залы ожидания занимают маленькие площади, что связано с рациональным распределением пассажиропотоков в пересадочных узлах. Наличие информационного обеспечения позволяет обеспечить удобное ориентирование в ТПУ (информационные табло, «бегущие строки» и так далее). Наличие многочисленных магазинов, кафе, ресторанов, офисов, больших парковок,

различных центров сервисного обслуживания делает ТПУ привлекательным для пассажиров не только с точки зрения обеспечения транспортных услуг, но и с точки зрения общественно-социального обслуживания. Правильная организация коммерческого пространства является источником дополнительных доходов.

1.3 Отечественный опыт формирования и функционирования ТПУ

В последнее время вопросам формирования и функционирования транспортно-пересадочных узлов Российской Федерации уделяется особое внимание [1, 8–15, 17–20, 23, 25, 29, 33, 45–47, 49, 52, 63–76, 80, 81, 85, 93, 96, 108, 115, 121, 136–140, 144, 152].

Крупный транспортный узел был открыт в Мацесте (Сочи) [118]. Этот узел обеспечил быстрое и безопасное передвижение пассажиров в период Олимпийских Игр. Город Сочи отличается сложной структурой городской транспортной сети, следовательно, при проектировании пересадочного узла необходимо было учесть все особенности его городской транспортной системы.

Несколько лет назад активно начала развиваться система ТПУ в Москве, что связано с постоянным ростом численности населения города, загруженностью улично-дорожной сети, увеличением времени поездки пассажиров [106, 152]. Увеличение времени передвижения от дома до работы оказывает значительное влияние на производительность труда работающего населения [119, 122].

Впервые пересадочные узлы были построены на базе станций метро «Калужская» (2005 г.) и «Планерная» (2011 г.) [11]. Однако эти проекты были не совсем удачными, поскольку отличались хаотичным размещением торговых территорий, отсутствием условий для перемещения маломобильных групп населения.

В 2011 году Правительством Москвы была принята программа формирования многочисленных ТПУ [88, 100, 101]. Новые транспортно-пересадочные узлы должны занимать небольшую территорию, включать остановки нескольких видов транспорта, объекты торговли и парковки.

Проектируемые ТПУ Москвы позволяют разделить транспортные и пешеходные потоки, имеют зону обслуживания пассажиров и паркинги, обеспечивают социальный и психологический комфорт жителей города.

В Москве транспортно-пересадочные узлы формируются вокруг станций кольцевой железной дороги (МКЖД) [88, 100, 101]. Ожидаемый годовой пассажиропоток МКЖД составляет 300 млн. человек (рисунок 1.1).

Данный проект обеспечит разгрузку транспортной сети, уменьшит нагрузку на метрополитен.

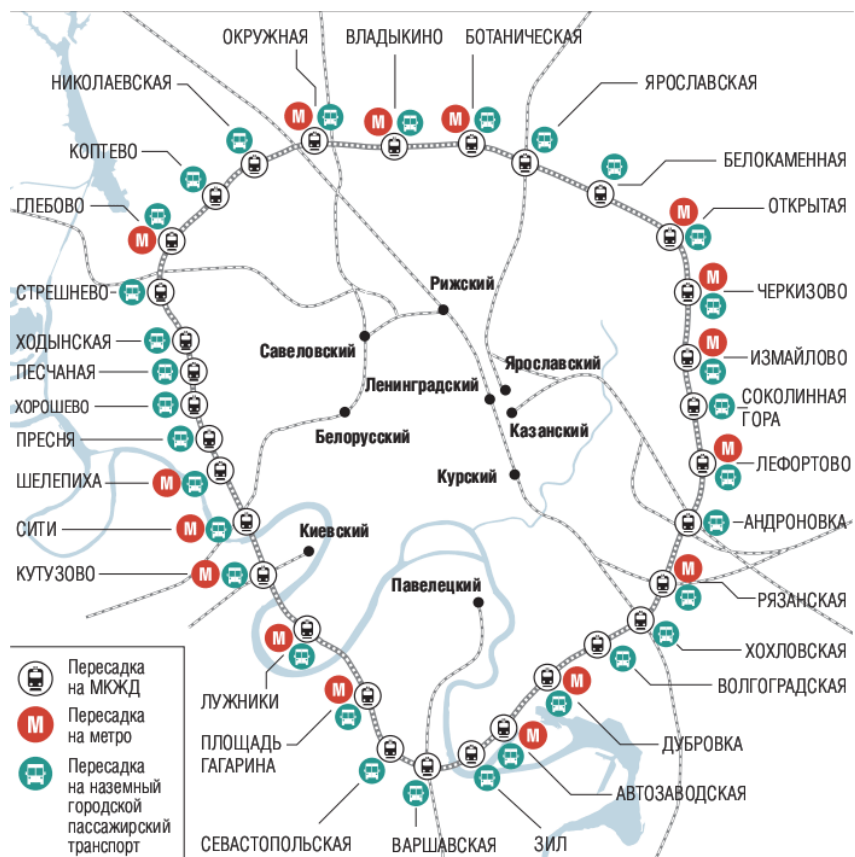


Рисунок 1.1 – Схема транспортно-пересадочных узлов на МКЖД

В Москве предлагается создание капитальных транспортно-пересадочных узлов с «перехватывающими парковками» и крупными объектами социальной инфраструктуры (рисунок 1.2) [100, 101, 109].

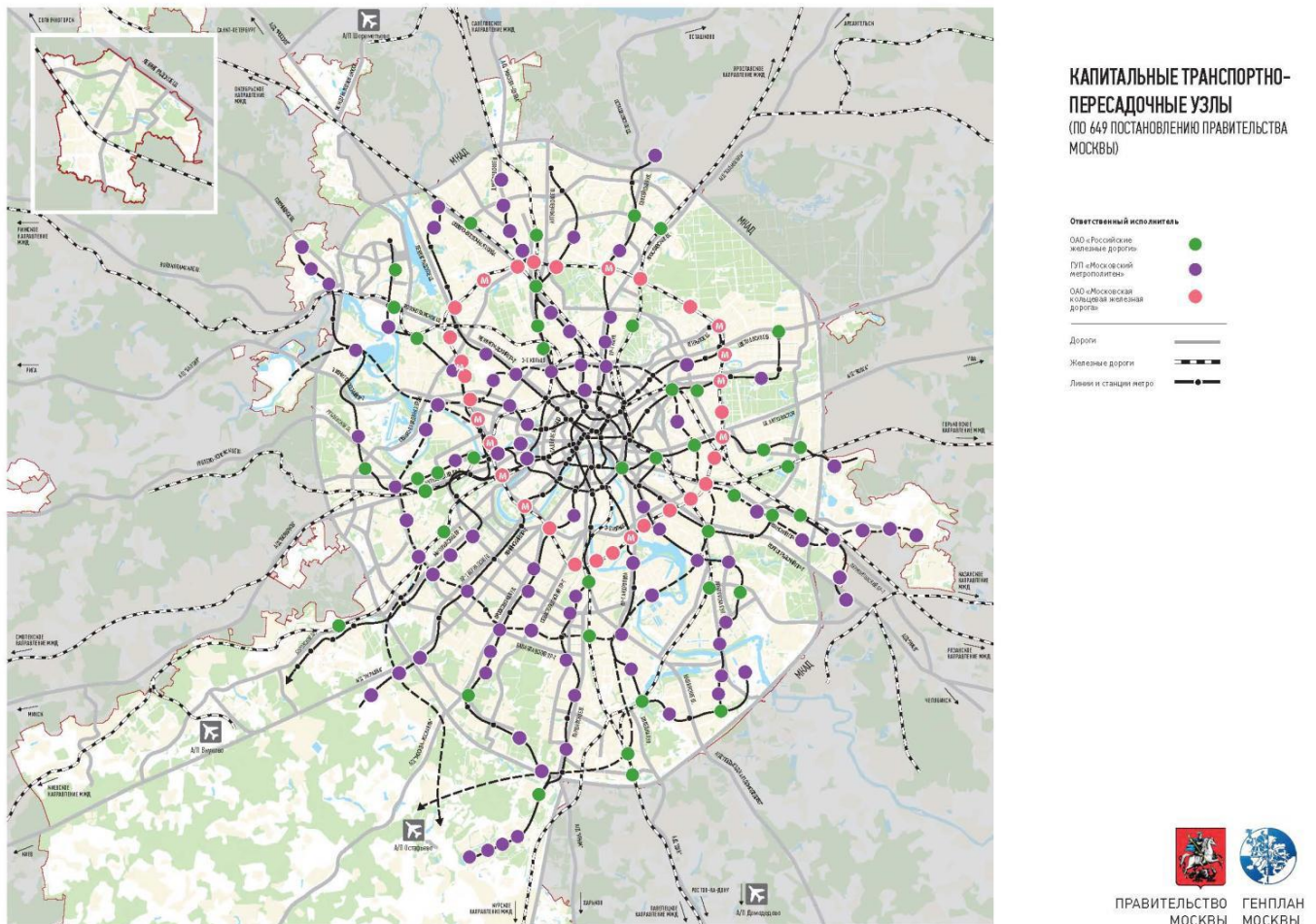


Рисунок 1.2 – Капитальные транспортные узлы в Москве

Все больше ТПУ стало появляться и в других городах России.

На настоящее время в Санкт-Петербурге утвержден перечень транспортно-пересадочных узлов, в который вошли как перспективные пересадочные узлы, так и существующие, но требующие модернизации (рисунок 1.3) [52, 53, 120]. Все ТПУ здесь также формируются вокруг станций железных дорог или метрополитена.

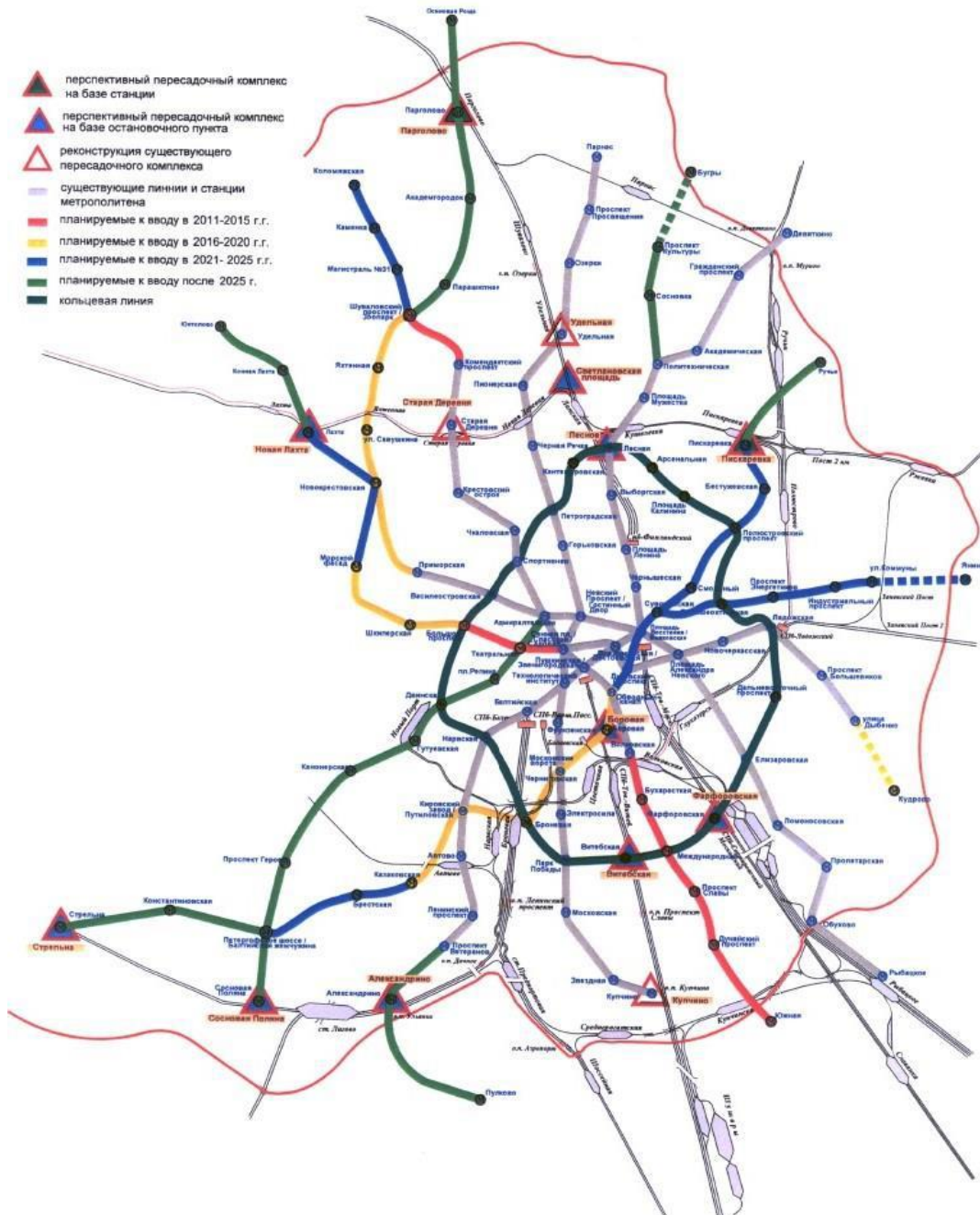


Рисунок 1.3 – Схема расположения транспортно-пересадочных узлов Санкт-Петербурга

Ведется исследование в области совершенствования организации перевозок пассажиров в системе ТПУ в крупных городах Сибири и Дальнего Востока [112, 123].

В Ставропольском крае построят ТПУ на базе вокзальных комплексов с общественно-деловой функцией, которые позволят модернизировать

транспортную систему региона в целом [21]. В Иркутской области также планируется создание сети транспортно-пересадочных узлов с целью повышения качества обслуживания населения и совершенствования организации пассажиропотоков. Планируется создание ТПУ в Самаре в местах пересечения городских и пригородных пассажиропотоков [68–71, 74, 75, 97, 102].

Следует отметить, что имеющиеся транспортные узлы на территории Российской Федерации отличаются недостаточным развитием, не учтены особенности структуры пассажиропотока, не везде обеспечена доступность узла для маломобильных групп населения.

Что касается формирования системы транспортно-пересадочных узлов, то в России, как и за рубежом, ТПУ создаются вокруг станций городских железных дорог и метрополитена основываясь на опыте экспертов-градостроителей и данных социологических исследований. Однако такие ТПУ охватывают не всю территорию города и городскую транспортную сеть. Требуется детальной проработки вопрос формирования системы ТПУ с целью улучшения транспортной доступности районов, увеличения роли городского общественного транспорта, сокращения времени поездки.

1.4 Создание транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара с целью повышения качества транспортного обслуживания населения

Самара является шестым по численности населения городом-миллионником Российской Федерации, а совместно с Тольятти и другими-городами спутниками образует третью по величине городскую агломерацию страны.

В настоящее время одной из первостепенных проблем Самарского региона остается проблема транспортно-логистического развития. Одним из показателей,

отражающих состояние городской транспортной системы, являются затраты времени на поездку работающего населения от места жительства до места приложения труда. Известно, что затраты времени в городах с населением 2 млн. человек для 90% трудоспособного населения не должны превышать 45 минут, в городах с населением 1 млн. человек – 40 минут, а в городах с населением 500 тысяч человек – 37 минут [125].

Исследования показали, что для 27% жителей Самары и 31% Самарской области время перемещения от места проживания до места работы превышает нормативные значения, что связано с проблемой заторов на дорогах.

По данным сервиса «Яндекс. Пробки» «пиковые» часы в Самаре отмечаются с 7:30 до 9:30 и с 17:00 до 19:00. Загрузка улично-дорожной сети вечером немного больше, чем в утреннее время (рисунок 1.4). В пятницу отмечается самый высокий уровень «пробок», а в четверг наоборот (рисунок 1.5).

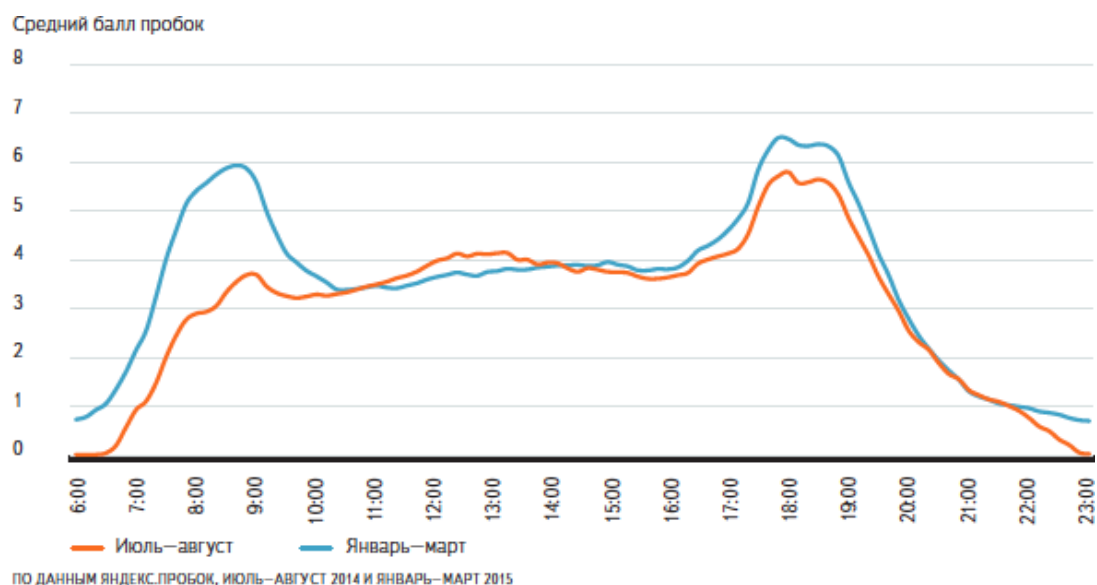


Рисунок 1.4 – Загруженность дорог Самары в течение рабочего дня



Рисунок 1.5 – Загруженность дорог Самары в течение недели

Рассчитанный индекс транспортной доступности (таблица 1.1) показывает, что наиболее проблемными являются Красноглинский, Кировский и Промышленный районы города.

Таблица 1.1 – Индекс транспортной доступности районов Самары

Район	Индекс транспортной доступности
Ленинский район	1
Самарский район	1,1
Железнодорожный район	2,3
Октябрьский район	2,5
Куйбышевский район (Сухая Самарка, Засамарская Слободка)	3,7
Советский район	4,7
Промышленный район	6,2
Кировский район	7,7
Красноглинский район	9,3

Транспортная система Самары требует реорганизации с целью снижения загруженности улично-дорожной сети, повышения качества обслуживания пассажиров и обеспечения комфортных условий жизнедеятельности населения.

Анализ рейтинга основных способов перемещений по городу показывает, что основная нагрузка ложится на автомобильные дороги. С увеличением объема

пассажиروоборота уменьшается скорость передвижения, снижается комфорт, падает пропускная способность и так далее [135].

Неразвитость метрополитена в Самаре приводит к тому, что этот вид транспорта является основным для незначительного количества жителей города.

По данным агентства «Автостат», уровень автомобилизации в Самаре выше, чем в других городах-миллионниках России. Личные автомобили есть у 34% жителей города [74].

По данным 2015 года было рассчитано время поездки из случайной точки Самары до центра города с учетом пробок (на 2020 год это время возросло на 15%). Рассмотрены районы, из которых можно быстрее добраться до центра и обратно. На рисунке 1.6 показана карта Самары, разделенная на участки, которые отмечены разным цветом в зависимости от среднего времени проезда из точек этого участка в центр или обратно [74]. Однако строительство новых жилых объектов может значительно повлиять на величину пассажиропотока и, как следствие, на время поездки по городу. Строительство новых объектов влечет за собой увеличение пассажиропотока, что является важным при принятии решений по совершенствованию и модернизации транспортной системы городского пассажирского транспорта (рисунок 1.6).

Куйбышевской железной дорогой выдвинуто ряд предложений по развитию транспортной инфраструктуры Самарской области с наличием ТПУ. Отмечено особое значение железнодорожного транспорта. Выделены приоритетные ТПУ – «Липяги», «Кинель», «Самара», «Смышляевка», «Красный Кряжок», «Ягодная», «Пятилетка-Кировская» [70, 75, 97].

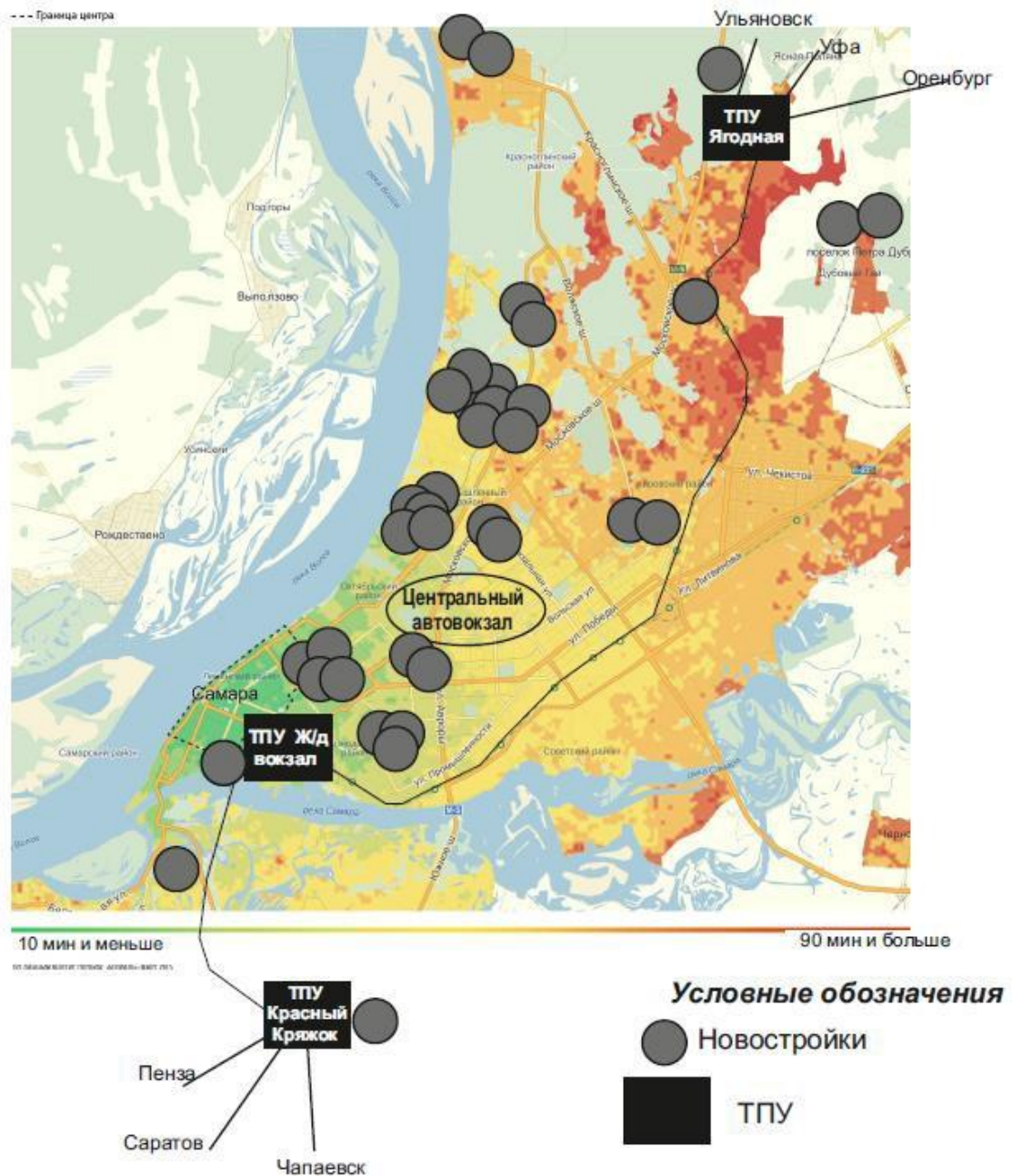


Рисунок 1.6 – Карта транспортной доступности Самары с указанием основных строящихся жилищных объектов и маршрута «Городская электричка»

Реализация проекта «Городская электричка» [44, 97] (рисунок 1.7) позволит перераспределить движение транспортных потоков, а формирование ТПУ обеспечит эффективное взаимодействие различных видов городского и пригородного транспорта.



Рисунок 1.7 – Создание ТПУ в городском округе Самара

Развитие ТПУ «Красный Кряжок» связано с увеличением населения в жилищном комплексе «Южный город», а ТПУ «Ягодная» – «Кошелев-проект». В предлагаемом варианте транспортные потоки с городов Пенза, Саратов, Чапаевск будут направлены на ТПУ Красный Кряжок (вместо железнодорожного вокзала г. Самара), с городов Ульяновск, Уфа, Оренбург – на ТПУ Ягодная (вместо Центрального автовокзала). Это позволит частично разгрузить центральные районы города.

Еще одним из приоритетных транспортно-пересадочных узлов в городском округе Самара является ТПУ «Пятилетка-Кировская». Железнодорожная пассажирская платформа Пятилетка, станция метро Кировская, остановки наземного пассажирского городского транспорта вблизи Кировского рынка функционируют давно. Однако сейчас возникла острая необходимость сформировать здесь общественно-социальный центр (транспортно-пересадочный узел), чтобы расширить возможности городской транспортной системы и привлечь пассажиров (рисунок 1.8). Рассматриваемый ТПУ возьмет на себя большую долю пассажиропотока, как городского, так и пригородного, что значительно разгрузит городскую улично-дорожную сеть, заставит жителей пригородных районов отказаться от использования личного транспорта в черте города. Предлагается формирование одноуровневого ТПУ «Пятилетка-Кировская», так как строительство многоуровневого узла потребует больших финансовых вложений, которые в данном случае могут оказаться неоправданными (рисунок 1.9).



● **Трамвайные маршруты / Tram Routes**

8, 10, 25

● **Автобусные маршруты / Bus Routes**

21, 29, 30, 38, 47, 51

● **Троллейбусные маршруты / Trolleybus Routes**

8, 12, 13, 18

Рисунок 1.8 – Существующий узел «Пятилетка-Кировская»

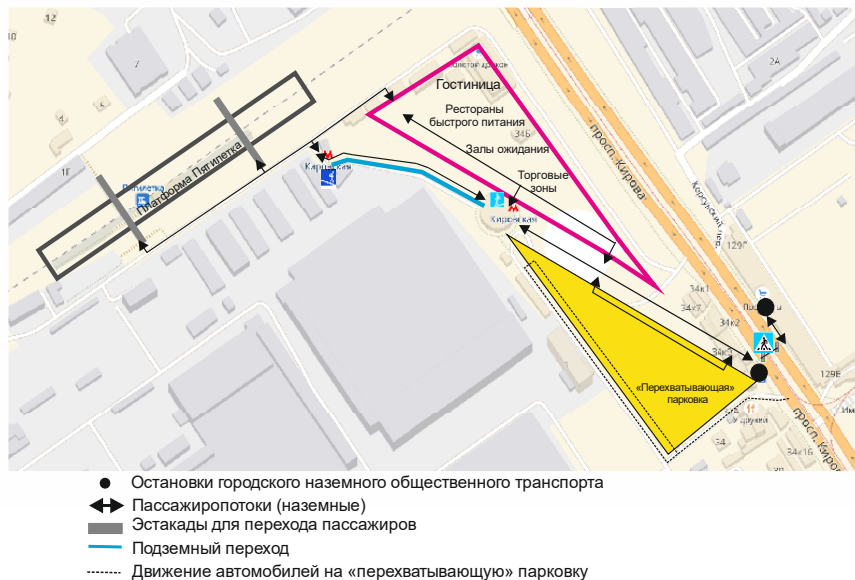


Рисунок 1.9 – Общий вид предлагаемого ТПУ «Пятилетка-Кировская»

Планировочная структура транспортно-пересадочного узла «Пятилетка-Кировская» должна включать:

- наличие железнодорожной пассажирской платформы;
- несколько выходов из метро (станция Кировская) и подземный переход;
- удобные подходы к остановочным пунктам городского наземного транспорта (автобусов, троллейбусов, трамваев);
- «перехватывающие» парковки;

– торговые площади, гостиницу, рестораны быстрого питания, залы ожидания, «зеленые» зоны отдыха.

Пересадка в узле должна осуществляться с минимальными затратами времени, для этого необходимо создание функциональной системы наземных и подземных переходов с возможностью перемещения по ним маломобильных групп населения. Также необходимо открыть все выходы со станции метро Кировская, один из них напрямую соединить с остановками городского наземного пассажирского транспорта. Также местные органы власти должны заинтересовать инвесторов в проекте, чтобы снизить затраты на строительство ТПУ, получить максимальный экономический и социальный эффект [75].

Таким образом, принимаемые меры по развитию городской транспортной системы Самары и Самарского региона в настоящее время не предоставляют жителям транспортные услуги, в полной мере отвечающие современному качественному уровню:

- затраты времени на поездку из жилых районов до рабочих мест превышают установленные нормативы;
- на отдельных маршрутах пассажирского транспорта условия перевозок пассажиров в часы «пик» неудовлетворительны, что связано с большим заполнением транспортных средств.

Существует проблема транспортной загруженности улично-дорожной сети, неудовлетворительное состояние дорожного полотна, высокий уровень автомобилизации населения. В Самарской области недостаточно используется для пассажирских перевозок железнодорожный транспорт.

Одной из самых известных и эффективных стратегий борьбы с перегруженностью дорог является «пересадка» населения с личного автотранспорта на общественный [172]. Проведенный опрос населения Самары показывает, что порядка 30% самарчан, которые используют автомобиль как основное транспортное средство, готовы отказаться от личного транспорта в пользу общественного при условии сопоставимой скорости передвижения и комфортабельности. Мотивацией для этого является снижение затрат на поездку,

увеличение скорости доставки, обеспечение комфорта и отсутствие проблем с парковкой. Это невозможно без системы транспортно-пересадочных узлов. Несмотря на большое количество научных работ и проектов, которые посвящены ТПУ, остается не до конца изученным вопрос определения необходимого количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов, число которых должно быть целесообразным и экономически оправданным. Перспективным является формирование системы ТПУ городского округа Самара как примера города с недостаточно развитой системой скоростного внеуличного транспорта, но характеризующегося значительной протяженностью сети трамвайных линий, троллейбусных и автобусных маршрутов.

Выводы по главе

1. Транспортная инфраструктура крупных городов и мегаполисов требует постоянной модернизации и совершенствования, так как состояние городской транспортной системы определяет качество среды обитания их жителей.

2. Основной целью оптимизации транспортной системы является повышение роли городского общественного транспорта. Для привлечения потенциальных пассажиров необходимо, чтобы пересадка с одного вида транспорта на другой не вызывала затруднений, а затраты времени на поездку сокращались. Создание таких условий обеспечивают транспортно-пересадочные узлы.

3. К основным принципам создания и функционирования ТПУ в зарубежных странах можно отнести:

– формирование ТПУ вокруг станций городских железных дорог и метрополитена;

- интеграция в систему транспортно-пересадочного узла скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта;
- рациональная организация пассажиропотока в узле с чем связано проектирование залов ожидания с маленькой площадью;
- правильная организация коммерческого пространства;
- внедрение экологически чистых видов транспорта, монорельсовых дорог в структуру ТПУ, организация удобного ориентирования на территории узла за счет современного информационного обеспечения;
- строительство транспортно-пересадочных узлов с учетом сохранения архитектурно-планировочной структуры города.

4. Проведенные исследования показывают, что в Российской Федерации все больше внимания уделяется формированию и развитию транспортно-пересадочных узлов. Известны реализованные и предлагаемые к внедрению проекты транспортно-пересадочных узлов в Москве, Санкт-Петербурге, Сочи, в городах Сибири и Дальнего Востока, Самары и так далее. Отечественные ТПУ формируются вокруг железнодорожных вокзалов, станций городских железных дорог, метрополитена, автовокзалов и автостанций и характеризуются недостаточным уровнем развития.

5. В Самарской области существует множество транспортных проблем, для решения которых предлагается комплекс мероприятий, направленных на улучшение качественных показателей перевозок пассажиров. Требуется дальнейшего рассмотрения вопрос реорганизации транспортной системы Самары и Самарского региона. Особое внимание следует уделить увеличению роли общественного транспорта, снижению негативного влияния транспортного комплекса на окружающую среду, повышению скорости доставки пассажиров и уровня комфортности, увеличению роли железнодорожного транспорта, формированию и развитию системы ТПУ.

6. Несмотря на большое количество научных работ и проектов, посвященных транспортно-пересадочным узлам, остается не до конца изученным

вопрос определения необходимого количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов для крупных городов и мегаполисов.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ В СИСТЕМЕ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

2.1 Исследование известных методик в области формирования, развития и функционирования ТПУ

Из всего объема научных работ, анализу которых посвящен первый раздел диссертационного исследования, можно выделить ряд известных методик в области формирования, развития и функционирования ТПУ [72] (рисунок 2.1).

Методика оценки эффективности создания и функционирования ТПУ как системы [1, 2, 17–20, 81, 132, 133, 173, 178] предполагает выбор планировочных решений пересадочных узлов, расчет пропускной способности всех элементов системы ТПУ, определение времени на пересадку пассажиров между различными видами транспорта, взаимодействующими в узле.

Методика определения уровня сервиса и качества обслуживания в пересадочных узлах [13, 56, 81, 160] предусматривает повышение качества обслуживания пассажиров, обеспечение «безбарьерной» среды для маломобильных групп населения, развитие интеллектуальных транспортных систем, возможность удобного ориентирования в пространстве ТПУ.

Методика совмещения торгово-развлекательных центров с ТПУ [115, 162] подразумевает осуществление оценки возможного взаимного расположения ТРЦ и ТПУ, рассмотрение вариантов основных планировочных решений, определение доли коммерческих площадей в составе пересадочного узла.

Методики проведения обследований пассажиропотоков в ТПУ подробно описаны в работе Н.Ю. Еврееновой [39]. Отмечены способы проведения обследования движения пешеходных потоков.

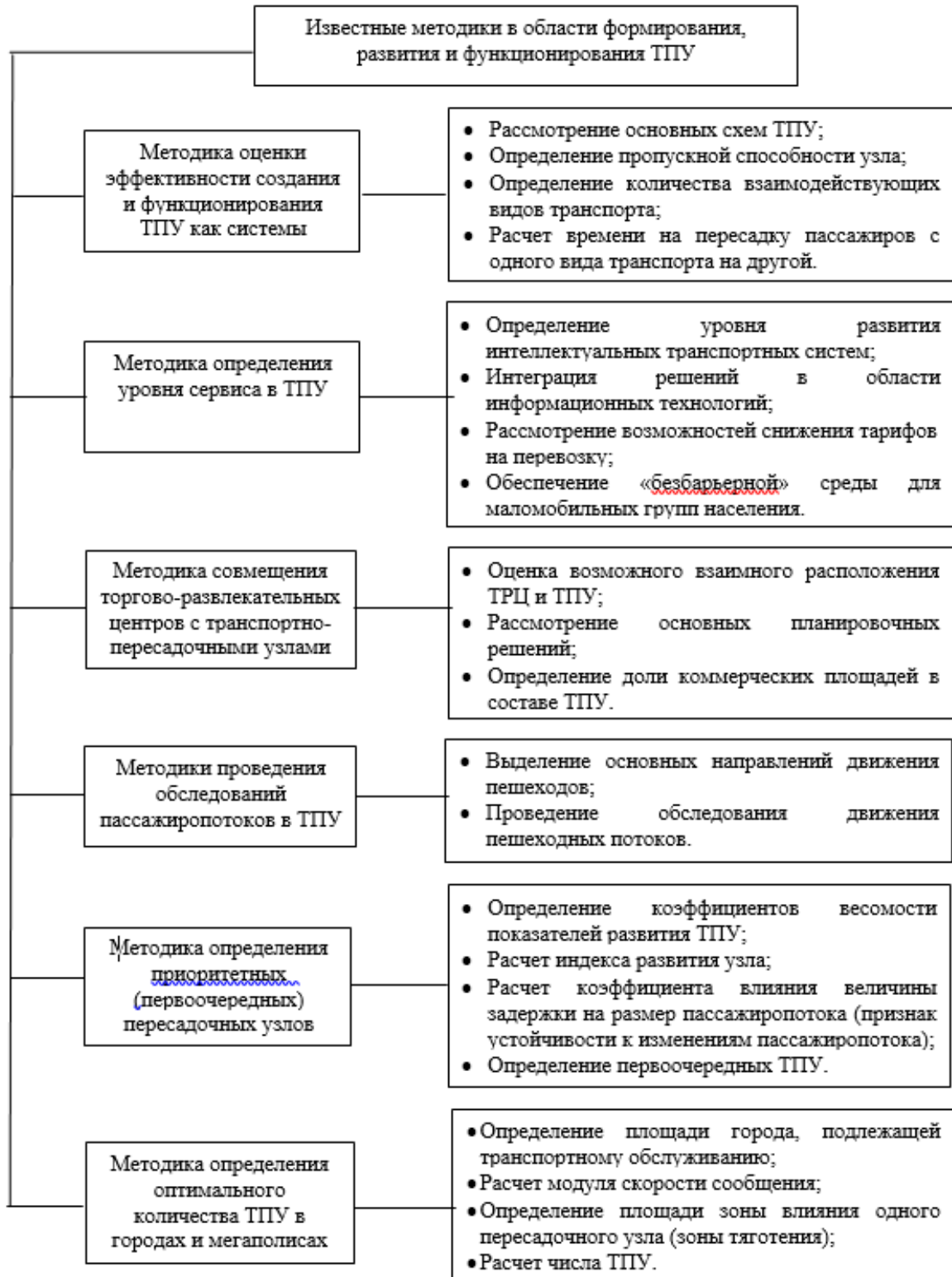


Рисунок 2.1 – Известные методики в области формирования, развития и функционирования ТПУ

Методика определения строительства первоочередных пересадочных узлов с учетом градостроительных факторов предложена А.А. Шагимураевой [136, 137]. Автором разработан алгоритм выбора приоритетных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта, путем расчета рейтинга каждого из них на основании экспертных оценок.

Определение приоритетных (первоочередных) ТПУ с использованием квалиметрии рассмотрено Д.Н. Власовым [17–20, 173, 178]. Ученый предлагает рассчитывать коэффициент транспортно-пересадочного узла в зависимости от величины которого принимать решение о его строительстве. Здесь в первую очередь речь идет о транспортно-пересадочных узлах Московской агломерации с участием скоростного внеуличного транспорта.

Н.А. Калюжный предлагает осуществлять выбор приоритетных ТПУ по признаку устойчивости пассажиропотока к изменениям [12, 52, 53]. Автор рассматривает узлы, формируемые вокруг станций метро и пригородной железной дороги. Важным критерием выбора узлов на роль ТПУ является коэффициент влияния величины задержки на величину пассажиропотока. При этом величина этого коэффициента и его определяющая роль в выборе ТПУ в работе не обоснована.

М. Яп [181] предлагает определять места размещения приоритетных пересадочных узлов методом кластеризации, основанный на матрице пассажиропотоков, полученной из данных сим-карт. После этого выбирается подмножество возможных вариантов размещения ТПУ, после чего выбор осуществляется по топологическому критерию. Автор применил предлагаемую им методику для сети городского общественного транспорта в Гааге, Нидерланды. Однако обследование пассажиропотока является неполным, так как охватывает не все поездки пассажиров по городу, в том числе и пересадочные.

Методика определения оптимального количества ТПУ в городах и мегаполисах была предложена М.А. Пииром [95, 96]. Она базируется на расчете числа пересадочных узлов в зависимости от площади города и зоны влияния ТПУ.

Однако методика предполагает расчет количества узлов без определения мест их размещения, не учитывает уровень развития городской транспортной сети.

Таким образом, в научной литературе вопрос количественного обоснования методики выбора мест размещения ТПУ в полной мере не изучен. Необходимым является проведение комплексного анализа городской транспортной сети и потребностей пассажиров, определение основных критериев, которые позволят сформировать систему транспортно-пересадочных узлов любого города с целью совершенствования организации пассажиропотоков. При этом важно исследовать проблему создания ТПУ в зависимости от их функционального назначения.

2.2 Определение количества транспортно-пересадочных узлов на территории города

В транспортной классификации ТПУ по назначению выделяют межрегиональные, региональные и городские пересадочные узлы [39, с.59].

Строительство транспортно-пересадочных узлов как регионального, межрегионального, так и городского значения должно быть целесообразным и экономически выгодным. Неоправданно большое количество узлов приведет к значительным капиталовложениям, а их недостаточное количество – к излишней загруженности ТПУ, увеличению времени на пересадку между видами транспорта, ограничению пропускной и провозной способности улично-дорожной сети.

Для каждого вида пересадочного узла учитывается свой ряд критериев при принятии решения о создании ТПУ в том или ином месте. Если речь идет о строительстве узла межрегионального и регионального значения, то главными критериями являются:

– пересечение различных видов транспорта, обеспечивающих перевозку пассажиров в городском, пригородном, междугородном, международном сообщении;

– наличие достаточно обширной территории, что связано со строительством большого количества зданий и сооружений, обеспечивающих пересадку пассажиров с одного вида транспорта на другой, созданием «перехватывающих» парковок, развитой социальной инфраструктурой. Такие ТПУ располагаются, как правило, на окраине города. Они являются крупными центрами социальной активности.

Транспортно-пересадочные узлы межрегионального и регионального значения формируются вокруг станций железной дороги и автостанций. Кроме обеспечения сообщения между городами, агломерациями, регионами они обеспечивают связь городского и пригородного транспорта, обслуживают пассажиров, въезжающих с пригородных районов на личном транспорте или пригородными электричками, пригородными автобусами. Такие ТПУ обязательно должны быть включены в систему транспортно-пересадочных узлов города. Количество ТПУ регионального значения определяется количеством пригородных вокзалов и станций одновременно с оценкой величины прогнозируемого пассажиропотока в каждом узле.

Примером таких ТПУ в Самарском регионе являются Липяги, Красный Кряжок, Самара, Пятилетка, Ягодная, Смышляевка, Кинель (рисунок 2.2), решение о строительстве которых уже принято. Транспортно-пересадочные узлы, формируемые вокруг станций Красный Кряжок, Самара, Пятилетка, Ягодная, находятся в границах городского округа и перевозят часть городского пассажиропотока.

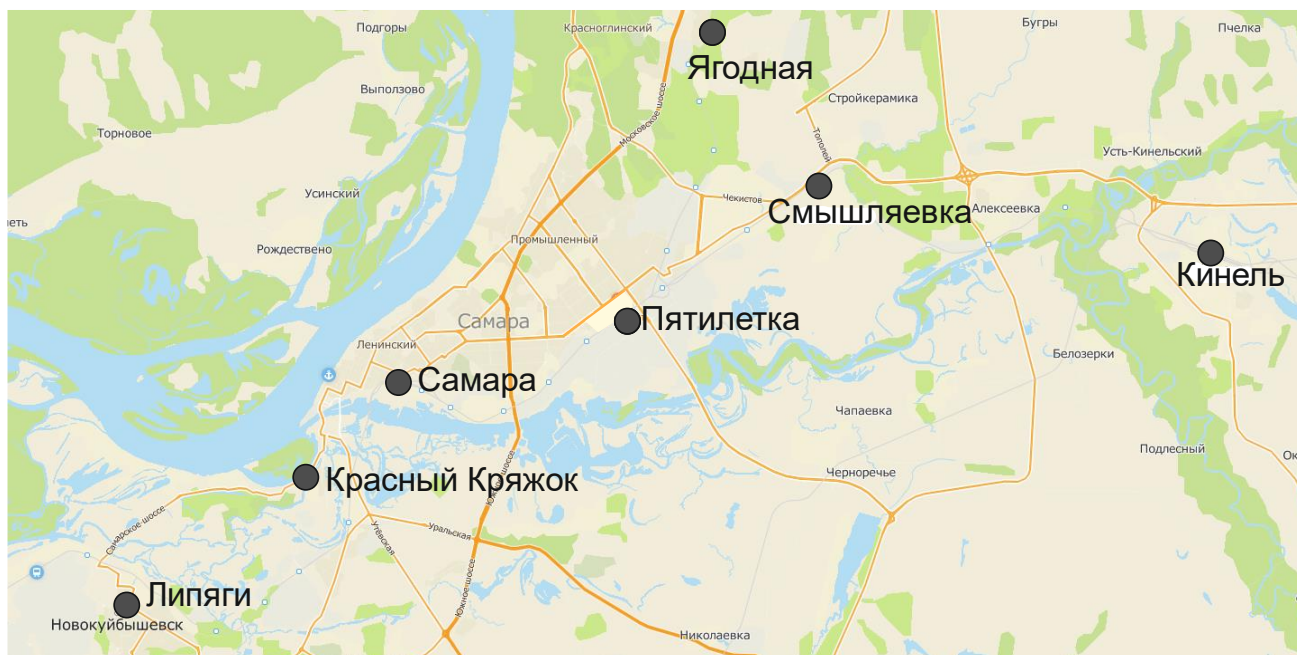


Рисунок 2.2 – Транспортно-пересадочные узлы регионального значения Самары и Самарской области

Для городских ТПУ главным критерием является обеспечение минимального времени передвижения пассажиров, поскольку они обслуживают абсолютное большинство трудовых передвижений. Такие узлы формируются в местах пересечения различных видов городского общественного транспорта, характеризуются значительным городским пассажиропотоком.

Основная цель создания таких узлов – обеспечение быстрой (не более 3 минут) и безопасной пересадки пассажиров между различными видами транспорта с целью сокращения времени поездки. Также предполагается попутное обслуживание пассажиров объектами социальной инфраструктуры.

Осуществить оптимальный выбор количества и мест размещения городских транспортно-пересадочных узлов сложно, требуется тщательный научный анализ, выбор важных критериев, четкая постановка задачи и научно обоснованная методика.

Методика, предлагаемая М.А. Пииром [96] (параграф 2.1), базируется на определении необходимого числа пересадочных узлов в зависимости от площади города и зоны влияния ТПУ. Предлагается уточнить эту методику путем ввода

дополнительных параметров, которые также оказывают влияние на количество транспортно-пересадочных узлов.

Для определения количества пересадочных узлов требуется:

- выделить основные параметры, влияющие на число узлов N ;
- изучить тесноту связей между прогнозным значением N и определяющими его параметрами $x_i (i=1, 2, n)$

$$N = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – параметры, от которых зависит число ТПУ;

- составить алгоритм определения количества пересадочных узлов.

N можно представить в виде функции

$$N = f(F, l, L_{cc}, M, T_{\text{пер}}, V_i),$$

где F – площадь города, подлежащая транспортному обслуживанию, км²;

l – среднее расстояние между станциями общегородского уровня, км;

L_{cc} – средняя дальность передвижения по городу, км;

M – модуль скорости сообщения на i -м уровне (уличный, магистральный, общегородской, агломерационный или пригородный, внешний).

$$M = \frac{V_n}{V_{n+1}}, \quad (2.1)$$

где V_n – скорость сообщения транспорта уровня "n";

V_{n+1} – скорость сообщения транспорта более высокого уровня, следующего за уровнем "n";

$T_{\text{пер}}$ – средние затраты времени на пересадку в узле, ч;

V_i – средняя скорость сообщения на i -м уровне, км/ч.

Средняя дальность передвижения L_{cc1} вычисляется по эмпирической формуле А.Х. Зильберталя с учетом коэффициента планировочной структуры города $k_{пл}$ для более точного расчета:

$$L_{cc1} = p + n \cdot k_{пл} \sqrt{F}, \quad (2.2)$$

где p и n – эмпирические коэффициенты;

$k_{пл}$ – коэффициент, учитывающий планировочную структуру города.

Средняя дальность передвижения на транспорте в городе зависит от месторасположения предприятий и офисных центров, а также культурных и торговых объектов. Отметим зависимость между средним расстоянием передвижения от места жительства до места работы и численностью населения города (это расстояние можно принять равным средней дальности передвижения, поскольку основными поездками считаются поездки до места работы):

$$L_{cc2} = a + b \cdot \ln \sqrt{F}, \quad (2.3)$$

где H – численность населения города, чел;

$a = -8,9$; $b = 1,16$ – параметры функции $L_{cc}(H)$ [134].

Дальность среднемаршрутной поездки пассажиров можно определить по формуле:

$$l_c = \frac{m\sqrt{F}}{\beta} - \frac{2}{3\delta} - \frac{d}{2}\alpha, \quad (2.4)$$

где m – коэффициент, зависящий от конфигурации города (круг – 0,236; квадрат – 0,317; прямоугольник – 0,33);

β – средний по городу коэффициент пользования транспортом;

δ – плотность городской транспортной сети, км/км²;

d – среднее расстояние между остановками, км;

α – коэффициент пересадочности, который определяется как

$$\alpha = l_c / L_{cc}, \quad (2.5)$$

где l_c – среднемаршрутная длина поездки пассажира, км [43].

Значение коэффициента пересадочности должно стремиться к 1. В крупных городах и мегаполисах α может достигать 1,8, что связано с недостаточным развитием транспортной инфраструктуры на фоне роста населения.

Согласно формулам (2.4) и (2.5)

$$L_{cc} = l_c / \alpha, \quad (2.6)$$

следовательно, можно выразить

$$L_{cc3} = \frac{m\sqrt{F}}{\beta\alpha} - \frac{2}{3\delta\alpha} - \frac{d}{2}. \quad (2.7)$$

Уточним значение среднего расстояния передвижения по городу:

$$L_{cc}^* = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 L_{cci}. \quad (2.8)$$

Таким образом, можно отметить влияние значительного ряда параметров на среднюю дальность передвижения пассажиров, а, следовательно, и на число транспортно-пересадочных узлов.

Определим необходимое количество ТПУ

$$N = \frac{F}{l \cdot L_{cc}^* (1 - M) - l \cdot T_{неп} \cdot V_i}. \quad (2.9)$$

Исходя из (2.8) и (2.9) определяется зависимость количества ТПУ от ряда параметров

$$N = f(F, l, V_i, T_{пер}, \beta, \delta, d, k_{пл}, m, H, \alpha),$$

где F – площадь города, подлежащая транспортному обслуживанию, км²;

l – среднее расстояние между станциями общегородского уровня, км;

V_i – средняя скорость сообщения на i -м уровне, км/ч.

$T_{пер}$ – средние затраты времени на пересадку в узле, ч;

β – средний по городу коэффициент пользования транспортом;

δ – плотность городской транспортной сети, км/км²;

d – среднее расстояние между остановками, км;

$k_{пл}$ – коэффициент, зависящий от планировочной структуры города;

m – коэффициент, учитывающий конфигурацию города;

H – число жителей города, чел;

α – коэффициент пересадочности.

При этом важно, что $N_B < N < N_{ост}$, где N_B – количество вокзалов; $N_{ост}$ – число остановок городского общественного транспорта.

Алгоритм определения числа ТПУ в зависимости от зоны влияния каждого узла (площади тяготения) представлен на рисунке 2.3.

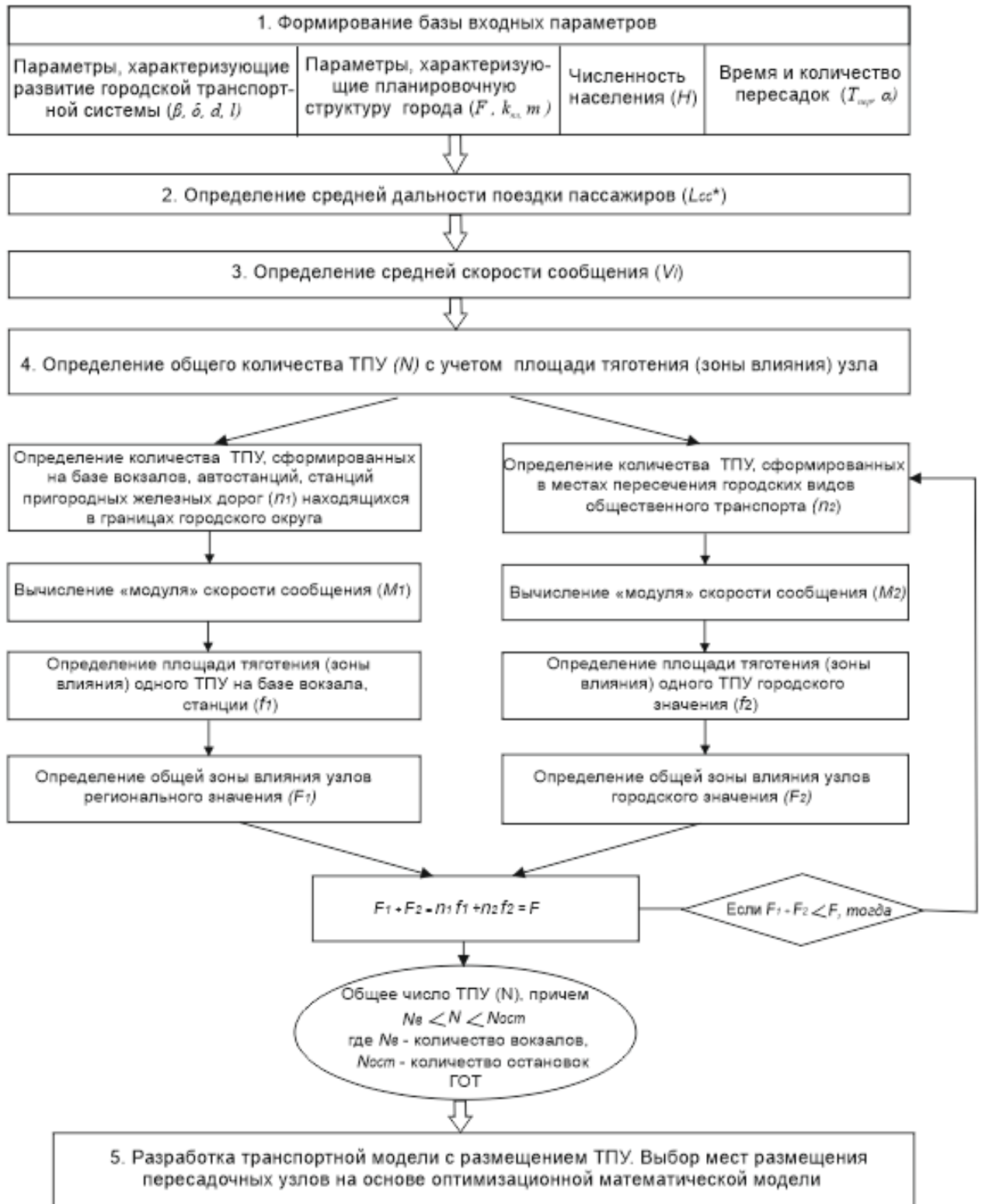


Рисунок 2.3 – Алгоритм определения числа ТПУ с учетом зоны влияния каждого узла

Приняв значение площади Самары F равной 465 км^2 , численности населения H – 1169719 чел., получим зависимости величины N от среднего по городу коэффициента пользования транспортом β , развития городской транспортной сети δ и коэффициента пересадочности α (рисунок 2.4).

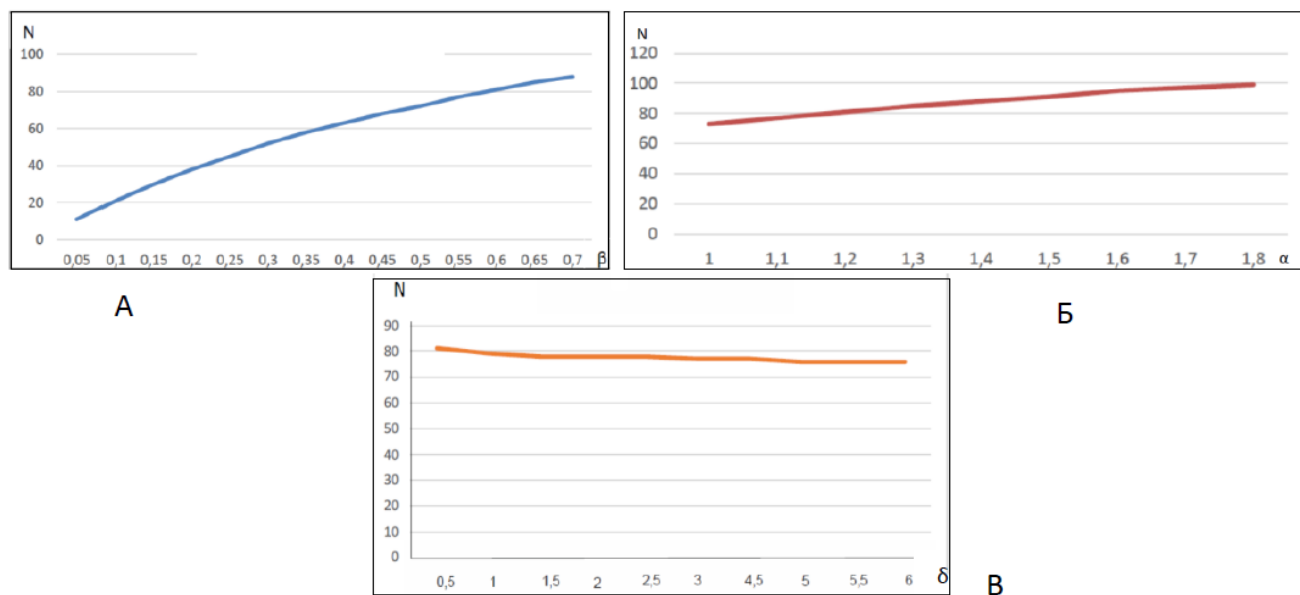


Рисунок 2.4 – Зависимость количества ТПУ N от

А – коэффициента пользования транспортом β ;

Б – коэффициента пересадочности α ;

В – развития городской транспортной сети δ , км/км²

Отмечается тенденция увеличения количества пересадочных узлов с увеличением среднего коэффициента пользования транспортом, коэффициента пересадочности. С увеличением плотности городской транспортной сети отмечается незначительное снижение прогнозного значения необходимого количества пересадочных узлов.

Согласно представленному алгоритму (рисунок 2.3), формулам 2.8, 2.9 и с учетом коэффициента пересадочности близкого к значению 1, в Самаре необходимо сформировать 72 транспортно-пересадочных узла, из них 24 ТПУ необходимо построить вокруг автовокзалов, автостанций и станций железных дорог.

Транспортно-пересадочные узлы регионального, межрегионального значения в Самаре формируются в местах пересечения пригородного, городского транспорта и транспорта дальнего следования, вокруг станций железной дороги, автовокзалов и автостанций учитывая при этом существующее и прогнозируемое значение величины пассажиропотока в рассматриваемом узле. Места размещения ТПУ в Самаре, сформированные вокруг станций железных дорог, автостанций и автовокзалов, представлены на рисунке 2.5.

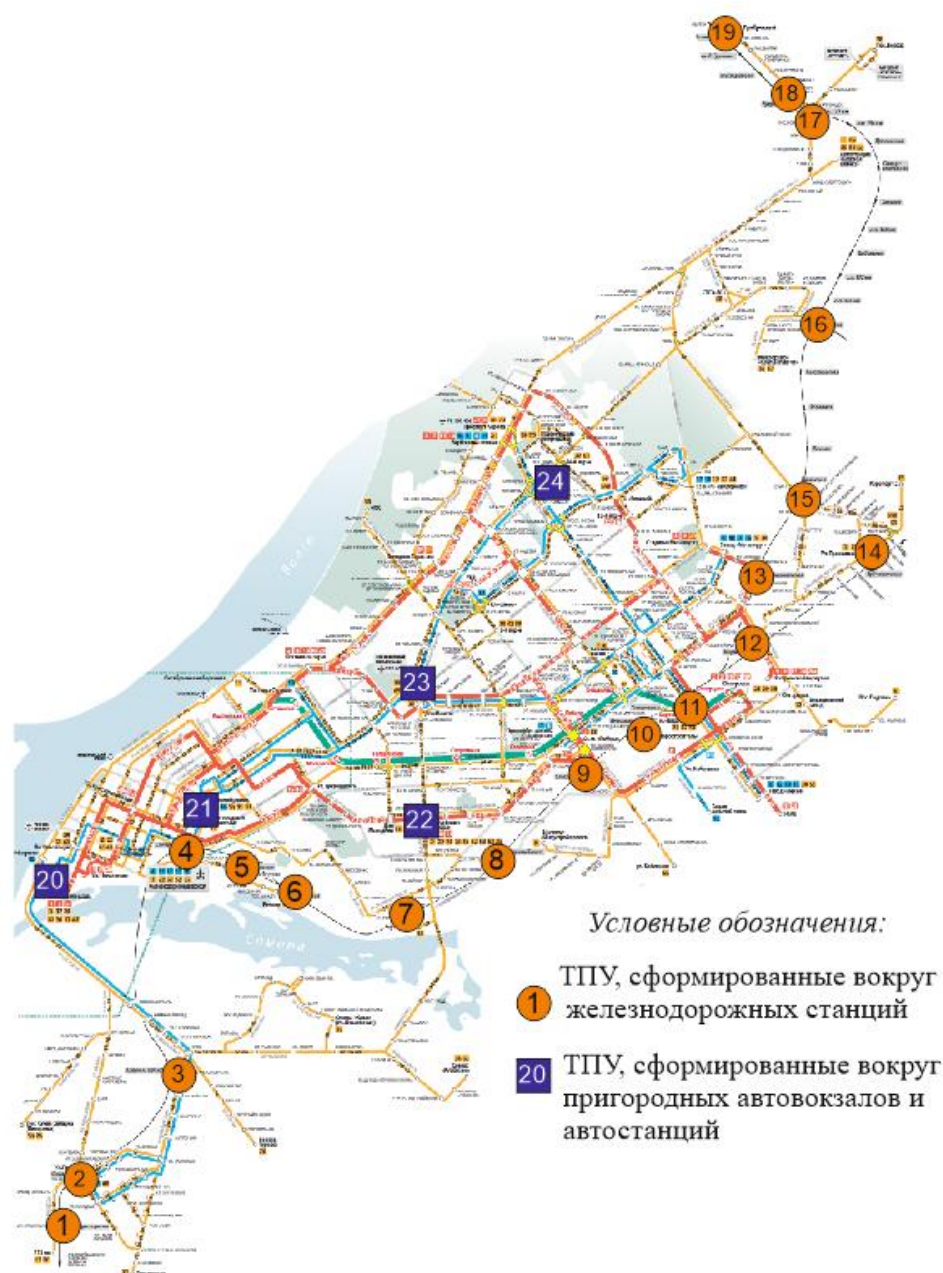


Рисунок 2.5 – Места размещения ТПУ в Самаре, сформированные вокруг станций железных дорог, автостанций и автовокзалов

Виды транспорта, взаимодействующие в транспортно-пересадочных узлах Самары (рисунок 2.5), представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Виды транспорта, взаимодействующие в ТПУ межрегионального и регионального значения

№п/п	ТПУ	Виды общественного транспорта, взаимодействующие в узле	Вид ТПУ по назначению
1	2	3	4
1	Конструкторская	Пригородный поезд Автобус	Региональный
2	Соцгород	Пригородный поезд Троллейбус Автобус	Региональный
3	Красный Кряжок	Пригородный поезд Городская электричка Автобус Троллейбус	Региональный
4	Самара	Поезд дальнего следования Пригородный поезд Городская электричка Троллейбус Автобус Трамвай	Межрегиональный
5	Школьная	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный
6	Речная	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный
7	Толевая	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный
8	Киркомбинат	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный
9	Стахановская	Пригородный поезд Городская электричка Автобус Трамвай	Региональный
10	Безымянка	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный

Продолжение таблицы 2.1.

1	2	3	4
11	Пятилетка	Пригородный поезд Городская электричка Автобус Троллейбус Трамвай Метро	Региональный
12	Мирная	Пригородный поезд Городская электричка Автобус Трамвай	Региональный
13	Средневожская	Пригородный поезд Городская электричка Трамвай	Региональный
14	Зубчаниновка	Пригородный поезд Автобус	Региональный
15	Вишневая	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный
16	Ягодная	Пригородный поезд Городская электричка Автобус	Региональный
17	Жилгородок	Пригородный поезд Автобус	Региональный
18	Курумоч	Пригородный поезд Автобус	Региональный
19	Задельная	Пригородный поезд Автобус	Региональный
20	Хлебная площадь	Пригородный автобус Автобус Трамвай Троллейбус	Региональный
21	Пригородный автовокзал	Пригородный автобус Автобус Троллейбус	Региональный
22	Аврора	Пригородный автобус Трамвай Автобус	Региональный
23	Центральный автовокзал	Автобус дальнего следования Пригородный автобус Троллейбус Автобус Трамвай	Межрегиональный
24	14 микрорайон	Пригородный автобус Автобус	Региональный

Далее следует выбрать места размещения городских транспортно-пересадочных узлов и соотнести значение количества этих ТПУ со значением, получаемым по предлагаемой методике.

2.3 Критерий среднего времени поездки пассажиров в системе городского общественного транспорта для определения мест размещения транспортно-пересадочных узлов

Городские ТПУ формируются в местах пересечения различных видов городского общественного пассажирского транспорта.

Как отмечалось в параграфе 2.2 главным критерием размещения городских ТПУ является среднее время поездки всех пассажиров в системе городского общественного транспорта, а также обеспечение быстрой и безопасной пересадки пассажиров между видами транспорта и направлениями движения. Важно сократить среднее время поездки пассажиров [161] за счет формирования транспортно-пересадочных узлов. Следовательно, первоочередным фактором, влияющим на выбор мест расположения городских ТПУ, является величина пассажиропотока [48, 52, 53, 66, 154, 181]. Кроме этого фактора есть ряд и других, однако менее значимых [17–20, 136, 137].

Максимальное сокращение среднего времени поездки по городу возможно за счет сокращения среднего времени поездки каждого пассажира, пользующегося созданными транспортно-пересадочными узлами. Создавая ТПУ вокруг какой-либо остановки общественного городского транспорта очень сложно спрогнозировать число пассажиров, которые будут пользоваться этим пересадочным узлом. Необходимо изучить потребности жителей конкретного города, спрогнозировать максимально возможный размер пассажиропотока на

остановке общественного транспорта в случае, если вокруг нее создать транспортно-пересадочный узел. Это возможно путем моделирования транспортного спроса и транспортного предложения, составления матрицы корреспонденций, поиска оптимальных маршрутов следования пассажиров в системе городского общественного транспорта и остановок, пересадка в которых позволит сократить среднее время поездки.

Моделирование спроса и предложения общественного транспорта осуществляется в программах имитационного моделирования [146–148].

Основными элементами транспортного предложения для системы общественного транспорта (в PTV VISUM) являются:

- узлы – пересечения;
- перегоны – участки городской транспортной сети;
- районы – транспортные районы отправления пассажиров и районы прибытия;
- примыкания – объединяют центры районов с транспортной сетью общественного городского и индивидуального транспорта;
- остановки общественного транспорта;
- маршруты движения общественного транспорта [146–148].

Транспортный спрос предполагает составление матрицы межрайонных корреспонденций. Для этого всю площадь города разбивают на транспортные районы, которые являются пунктами зарождения и погашения городских пассажиропотоков. Количество и размер транспортных районов зависит от конфигурации города и количества населения [48, 146–148]. Количество пассажиров, перемещающихся из района в район принимается исходя из данных транспортной подвижности населения. В расчет принимаются главным образом трудовые корреспонденции. Значение пассажиропотока формируется на основании данных о населении каждого района, размещении мест приложения труда, крупных культурно-развлекательных и торговых объектов.

Матрица межрайонных корреспонденций получена путем математического моделирования (с использованием «гравитационной» модели [48, 147, 148] в

программном комплексе PTV Visum) и обследования спроса на транспортные передвижения (опросные, анкетные обследования). Известно число пассажиров, выезжающих из каждого района и приезжающих в каждый район за сутки. Суммарные пассажиропотоки прибытия/отправления по каждому из районов приведены в Приложении А. Составлена карта Самары, на которой интенсивностью цвета показан размер суточного пассажиропотока в каждом из транспортных районов (рисунок 2.6).

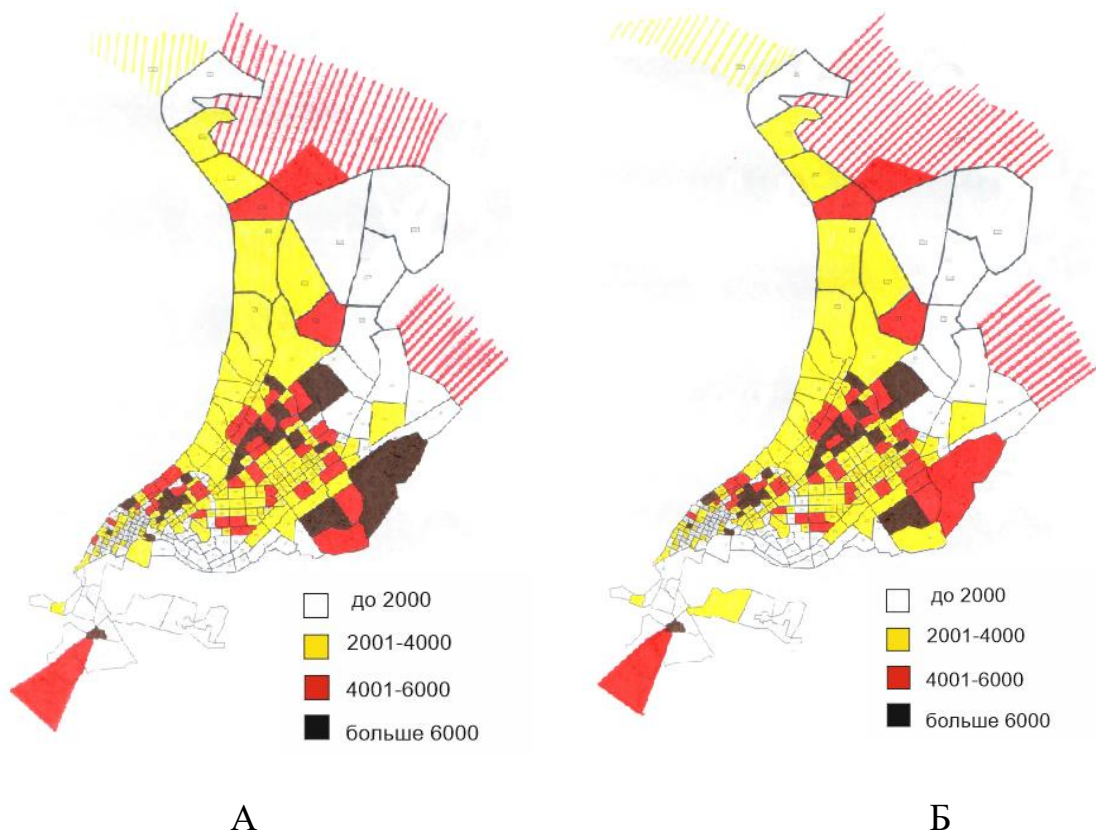


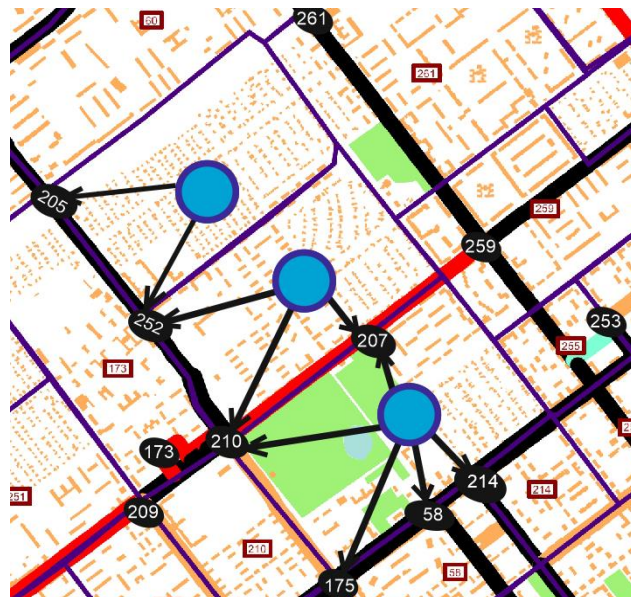
Рисунок 2.6 – Карта городского округа Самара с разделением на районы и размерами пассажиропотока (пасс./сутки)

А – районы прибытия пассажиров; Б – районы отправления пассажиров

Для поиска мест размещения транспортно-пересадочных узлов необходимо перейти от межрайонных корреспонденций к межостановочным. Для этого следует объединить городскую транспортную сеть общественного транспорта с картой транспортных районов (приложение Б).

Центр тяжести каждого района через примыкания связан с городской транспортной сетью (рисунок 2.7). При передвижении общественным транспортом примыкание определяет пеший подход к начальной и конечной остановке. Примыкания общественного городского транспорта соединяют центр тяжести транспортного района с остановкой общественного транспорта (узлом доступа) [146–148].

Доли процентного разделения пассажиропотока по примыканиям распределяются в зависимости от плотности населения района и размещения застроек (для пассажиропотоков отправления) и расположения предприятий, организаций (для пассажиропотоков прибытия).



Условные обозначения:

- Центр тяжести транспортного района
- 207 Номер остановки
- Границы транспортных районов
- Маршруты городского общественного транспорта

Рисунок 2.7 – Связь центра тяжести района с сетью городского общественного транспорта

Для решения задачи выбора транспортно-пересадочных узлов по критерию величины пассажиропотока жители каждого транспортного района привязываются (доли спроса) к каждой остановке i , которая относится к рассматриваемому району, и которая является ближайшей к ним территориально (потоки отправления). Рассматривая потоки прибытия в транспортный район, учитывается наличие крупных предприятий, организаций, учебных заведений, которые являются местом приложения труда. Выделяются ближайшие к ним остановки и определяется величина пассажиропотока, прибывающего на остановку j рассматриваемого транспортного района [66, 175]. При этом важно отметить, что остановкой будем называть и несколько остановочных пунктов (например, разных систем городского транспорта), временем перехода между которыми можно пренебречь. Получаем матрицу межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ с величиной пассажиропотока в каждой остановке. Такая матрица будет использоваться в качестве исходных данных для поиска мест размещения городских транспортно-пересадочных узлов на основе оптимизационной математической модели, которая позволит изучить влияние ряда параметров сети городского общественного транспорта на различные общесистемные критерии. К тому же оптимизационная математическая модель способна быть основой для практического проектирования системы ТПУ для конкретного города.

Выводы по главе

1. В работе исследованы известные методики в области эффективности формирования, развития и функционирования ТПУ. В научной литературе вопрос количественного обоснования методики выбора мест расположения ТПУ в

полной мере не изучен. Необходимым является проведение комплексного анализа городской транспортной сети и потребностей пассажиров, определение основных критериев, которые позволят сформировать систему транспортно-пересадочных узлов любого города. При этом важно исследовать проблему создания в зависимости ТПУ от их функционального назначения.

2. Определены главные критерии, которые учитываются при принятии решения о создании ТПУ. Транспортно-пересадочные узлы межрегионального и регионального значения формируются в местах пересечения городских и пригородных пассажиропотоков, также учитывается возможность развития транспортной инфраструктуры и величина пассажиропотока в узле. Для городских ТПУ главным критерием является обеспечение минимального времени передвижения пассажиров, поскольку они обслуживают абсолютное большинство трудовых передвижений. Такие узлы формируются в местах пересечения различных видов городского общественного транспорта, характеризуются значительным городским пассажиропотоком. Городские ТПУ обеспечивают быструю, комфортную и безопасную пересадку, а также сокращение времени поездки в системе городского общественного транспорта.

3. Получила дальнейшее развитие методика определения необходимого числа пересадочных узлов (без определения мест их размещения) в зависимости от площади города и зоны влияния ТПУ за счет ввода дополнительных параметров (средний по городу коэффициент пользования транспортом, плотность городской транспортной сети, среднее расстояние между остановками, численность населения города, коэффициент пересадочности).

4. Составлен алгоритм определения количества транспортно-пересадочных узлов в зависимости от зоны влияния каждого ТПУ. Установлены зависимости числа пересадочных узлов от среднего по городу коэффициента пользования транспортом, развития городской транспортной сети и коэффициента пересадочности.

5. Определено количество и места размещения пересадочных узлов межрегионального, регионального значения для городского округа Самара, а также количество ТПУ городского значения.

6. Отмечено, что за счет формирования системы транспортно-пересадочных узлов сокращается среднее время поездки всех пассажиров в системе городского общественного транспорта. Следовательно, первоочередным фактором, влияющим на выбор мест расположения городских ТПУ, является величина пассажиропотока. Кроме этого фактора есть ряд и других, однако менее значимых.

7. Получена матрица межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$ для городского округа Самара с величиной пассажиропотока в каждой остановке. Такая матрица будет использоваться в качестве исходных данных для поиска мест размещения городских транспортно-пересадочных узлов на основе оптимизационной математической модели, которая может быть основой для практического проектирования системы ТПУ для конкретного города.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ

3.1 Системный анализ процессов на городском пассажирском транспорте

В настоящее время важным является определение количества и выбор мест размещения транспортно-пересадочных узлов в современных городах и мегаполисах.

В России вопрос выбора мест расположения приоритетных пересадочных узлов рассматривали Д.Н. Власов [17-29], М.Р. Якимов [146], А.А. Шагимуратова [136, 137], Н.А. Калюжный [52, 53] и другие. В этих работах предлагается определять приоритетные транспортно-пересадочные узлы на основании метода экспертных оценок по определенным параметрам или создавать транспортно-пересадочные узлы на базе вокзалов, железнодорожных станций, станций метрополитена аналогично опыту зарубежных городов. Н.А. Калюжный предлагает выбирать ТПУ по признаку устойчивости к изменениям пассажиропотока [52, 53].

Однако городская транспортная система России характеризуется недостаточным уровнем развития. Во многих городах Российской Федерации недостаточно развит скоростной внеуличный транспорт, что также необходимо учитывать при проектировании дополнительной транспортной инфраструктуры, в том числе и ТПУ. Необходимым является проведение комплексного анализа состояния улично-дорожной сети и спроса на городской общественный транспорт на основе построения количественных моделей.

Рационально сформированная система ТПУ позволит сократить среднее время поездки по городу. Здесь уместно вспомнить известные слова нобелевского лауреата Л.В. Канторовича о том, что «городской транспорт – это система, в

которой эффективность использования отдельных видов транспорта существенно зависит от их взаимной поддержки, за счет обеспечения удобных связей между отдельными участками сети».

Однако, в литературных источниках, приведенных в библиографическом списке диссертации, не достаточно полно раскрыты вопросы, определяющие места размещения ТПУ с точки зрения величины пассажиропотока.

Для решения задач оптимизации мест расположения ТПУ необходимо выбрать тип модели, в рамках которой будут поставлены и решены указанные задачи. Анализ литературы, посвящённой разработке и использованию математических моделей описания процессов городского пассажирского транспорта [16, 52, 53, 79, 114, 127, 138, 147, 148, 155, 165, 166] показывает, что большая их часть использует инструмент имитационного моделирования [52, 147, 148]. Наиболее показательным в этом смысле является диссертация Н.А. Калужного [52], в которой рассматривается программный комплекс VISUM и отечественный программный комплекс «Citraf», который автор и выбрал из-за достоинств простоты и доступности модификации. Использование этого инструмента позволило автору выявить некоторые свойства сети городского пассажирского транспорта, которые косвенным образом указывают на те узлы сети, которые могут стать ТПУ. В частности, это позволило разделить станции метрополитена по классам в зависимости от затрат времени на ожидание для определения пересадочных узлов, которые в перспективе могут стать ТПУ. Автор отмечает, что важным критерием выбора узлов на роль ТПУ является коэффициент влияния величины задержки на размер пассажиропотока. По данному критерию предлагается выявлять станции с высоким спросом, значительным пассажиропотоком. Такие станции с постоянным пассажиропотоком могут впоследствии стать транспортно-пересадочными узлами [52].

Необходимо отметить, что выводы, сделанные на основе имитационного моделирования городской транспортной системы, не носят универсальный характер и их некорректно применять для сети любого города. Кроме этого,

параметры сети, которые приходится предварительно ввести в модель, требуют больших статистических измерений пассажиропотоков конкретной сети. Наконец, самым важным недостатком, который отмечает и сам Н.А. Калюжный, является то, что выявленный критерий влияния величины задержки времени ожидания может быть рассмотрен только как один из факторов, определяющих приоритетность строительства транспортно-пересадочного узла, но есть ряд других факторов, которые могут оказывать влияние на выбор мест размещения ТПУ.

Таким образом, для точной оценки состояния городской транспортной системы и ее развития требуется производить системный анализ процессов, происходящих в городской пассажирской сети, на основе критериев, выражающих основные цели системы и строить модели, выражающие целевую функцию как степень достижения основной цели.

Поэтому для характеристики качества работы городской транспортной системы необходимо взять величину среднестатистического времени одной поездки \bar{T} .

Поэтому оптимальное размещение городских ТПУ с целью повышения качества предоставляемых транспортных услуг формально выражается в виде целевой функции

$$\bar{T} = f(X) \rightarrow \min ,$$

где X обозначает некое варьируемое подмножество ТПУ, являющееся вариантом построения системы ТПУ для всей городской пассажирской сети.

Очевидно, что в общем случае при выборе оптимальной системы (множества) ТПУ всегда присутствуют ограничения на выбор X .

Поэтому варианты X должны принадлежать некоторому допустимому множеству G , то есть $X \in G$. Таким образом формально в общем виде задача оптимального выбора системы ТПУ может быть записана так

$$\bar{T} = f(X) \rightarrow \min \quad (3.1)$$

$$X \in G \quad (3.2)$$

Следовательно, моделирование процессов, происходящих в городском пассажирском транспорте, должно описать целевую функцию (3.1) и явно выразить ограничения (3.2). Именно такой подход и развивается в настоящей работе.

Сеть городского общественного транспорта представляет собой граф, включающий подграфы всех видов городского общественного транспорта и подграф пересадок. При этом учитывается связность графа. Известно, что не все зависимости между параметрами графовой модели поддаются описанию в виде аналитических зависимостей. Граф сети включает остановки и маршруты городского общественного транспорта.

Кроме этого следует ожидать модель со сверхбольшим количеством переменных и ограничений. Вот почему рассмотренный в диссертационной работе подход основывается на том, что некоторые зависимости ввиду сложности графовых представлений реализуются в форме алгоритма вычисления некоторой функции f от некоторого аргумента X . Этого оказывается достаточно, чтобы впоследствии решать задачи дискретного программирования «переборными» алгоритмами.

Для решения задачи в диссертационном исследовании рассматривается граф сети городского общественного транспорта (рисунок 3.1).

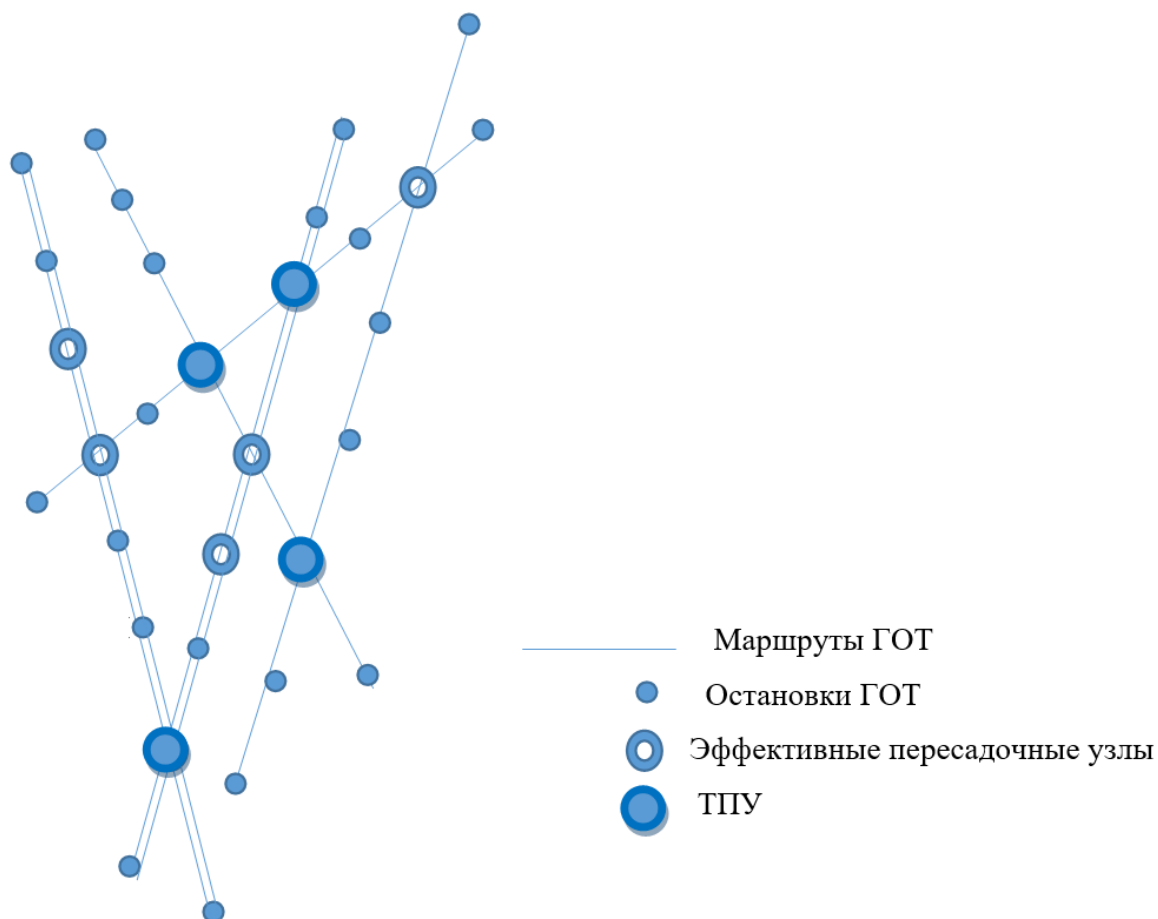


Рисунок 3.1 – Граф сети городского общественного транспорта (ГОТ)

Граф сети задаётся наложением маршрутов пассажирского транспорта со своими узлами – остановками городского общественного транспорта, рёбрами – транспортными путями между соседними остановками.

Для дальнейшего решения задачи выбора мест размещения ТПУ вводится понятие «эффективного пересадочного узла». Это такой узел на сети городского общественного транспорта, в котором осуществляются пересадки пассажиров при осуществлении поездки по городу выбрав при этом оптимальный маршрут по критерию минимального времени поездки. Именно эти узлы, лежащие на пересечении нескольких маршрутов, могут стать впоследствии транспортно-пересадочными узлами [66, 67].

3.2 Модель оптимального выбора системы ТПУ в виде задачи математического программирования

В параграфе 3.2 следует рассмотреть возможную математическую модель для решения задачи оптимального выбора мест расположения пересадочных узлов для транспортной сети города.

На рисунке 3.1 изображён граф сети городского общественного транспорта. Транспортная сеть фиксирована, на ней расположены остановки городского общественного транспорта на всех линиях: трамвайная линия, автобусные маршруты с остановками, линия и станции метро (и, возможно, другие линии). В первом предположении считается, что любой маршрут пассажира в пределах прямой линии является наилучшим и никакого выбора не требуется. Если начальная и конечная остановки лежат на разных линиях, то требуется пересадка на остановке, которая будет называться пересадочным узлом. i – номер начальной остановки маршрута пассажира, j – номер конечной остановки маршрута пассажира, k – номер возможного пересадочного узла. Таких номеров может быть несколько. Можно считать, что для рассматриваемой сети из любой остановки i можно попасть на остановку j по крайней мере через один возможный пересадочный узел k . Поскольку топология сети задана, то можно заранее указать все возможные маршруты из i в j через возможные пересадочные узлы k .

Следует отметить факторы, которые сокращают среднее время поездки пассажира по городу \bar{T} за счет формирования системы транспортно-пересадочных узлов.

1. Прямые маршруты из i в j заменяются пересадочными маршрутами, если время поездки уменьшается.

2. Переход в ТПУ с одного маршрута на другой осуществляется быстрее на величину $\Delta t_{\text{ТПУ}}$.

3. Появляются новые пересадочные маршруты из пункта i в пункт j с пересадкой в l -м узле за счет строительства ТПУ, при $t_{ij} < t_{ij}$.

Далее находятся кратчайшие по времени пути из i в j , используя известные алгоритмы [3, 40]. Тогда становится известным всё множество возможных троек номеров (i, k, j) и величина K – максимально возможное число пересадочных узлов.

Очевидно, что возможны рациональные маршруты с более чем одной пересадкой. Тогда такие маршруты можно задать последовательностью номеров (i, k, l, \dots, r, j) . Не в ущерб общности можно ограничиться пока рассмотрением одной или двух пересадок.

Кроме топологии сети заданы основные характеристики пассажиропотока:

1. Среднее количество пассажиров, перемещающихся из i в j (за базовый период), c_{ij} – это так называемая матрица корреспонденций (параграф 2.3).

2. Среднее время поездки из i в j по прямой линии t_{ij} .

3. Среднее время поездки из i в j через пересадочный узел k t_{ikj} .

4. Среднее время поездки из i в j через пересадочные узлы k и l t_{iklj} .

5. Общее количество поездок пассажиров за базовый период – N .

6. Общее число остановок транспортной сети – n .

7. Максимально допустимый объем пассажиров k -го пересадочного узла за базовый период – D_k .

8. Минимально допустимый объем пассажиров k -го пересадочного узла за базовый период – d_k .

Все рассмотренные характеристики получают с помощью статистических обследований, с использованием прогнозирования будущих значений [52, 146–148].

Все остановки городской сети пронумерованы так, что любая остановка любой линии имеет свой уникальный номер.

В диссертационной работе формулируется задача оптимального выбора мест размещения ТПУ из условия заданного пассажиропотока и с целью

сокращения затрат времени на перевозку всех пассажиров в системе городского общественного транспорта.

Далее рассматривается возможная математическая постановка оптимизационной задачи по критерию T . Для этого необходимо сформулировать целевую функцию и ограничения этой задачи.

Изменение значения T при вышеуказанных предположениях можно осуществить только за счет выбора ТПУ. В качестве управляемых переменных рассматриваются величины x_{ikj} и x_{iklj} , которые равны 1, если из i едем в j через узел k или kl , и равны 0 в противном случае.

Если есть прямой путь из i в j , то считается, что он однозначен, $x_{ij}=1$ для любых i и j . Важно отметить, что рассматриваемая модель предполагает, что есть рациональный путь из i в j , который лежит на одной линии, но поездка при этом может выполняться через пересадочные узлы k или kl , так как $t_{ikj} < t_{ij}$ (например, если можно использовать более скоростной транспорт).

Среднее время поездки пассажиров по городу можно выразить

$$\bar{T} = \frac{1}{Nn^2} \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} t_{ij} x_{ij} + \frac{1}{K} \sum_k^K \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ikj} t_{ikj} x_{ikj} + \frac{1}{KL} \sum_k^K \sum_l^L \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{iklj} t_{iklj} x_{iklj} + \dots \right) \rightarrow \min \quad (3.3)$$

Здесь учтено, что каждое время t_{ij} «взвешено» количеством пассажиров, которые тратят это время. Из вышеприведённой формулы видно, что можно учесть более двух пересадок.

Далее следует сформулировать ограничения на выбор переменных x_{ij} , x_{ikj} , x_{iklj} .

Перевозка из i в j с одной пересадкой осуществляется только через один выбранный пересадочный узел

$$\sum_k^K x_{ikj} = 1, \forall i, j; (i \neq j) . \quad (3.4)$$

Перевозка из i в j с двумя пересадками осуществляется только через одну выбранную пару пересадочных узлов

$$\sum_{k,l}^K x_{iklj} = 1, \forall i, j; (i \neq j). \quad (3.5)$$

Объём k -го пересадочного узла (из всех возможных K узлов) ограничен величиной D_k .

$$\sum_{i=1}^n c_{ik} x_{ik} + \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ikj} x_{ikj} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{iklj} x_{iklj} \leq D_k, \forall k = (1, K). \quad (3.6)$$

В (3.6) учтены пассажиры, уезжающие из k , приезжающие в k и пересаживающиеся в k .

С другой стороны, возможно ограничение на то, что пересадочный узел должен быть достаточно крупным, чтобы, например, окупить затраты на дополнительное строительство инфраструктуры узла. Поэтому

$$\sum_{i=1}^n c_{ik} x_{ik} + \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ikj} x_{ikj} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{iklj} x_{iklj} \geq d_k, \forall k = (1, K). \quad (3.7)$$

Получается задача (3.3 – 3.7) линейного булева программирования, которая в принципе может быть решена с использованием стандартных компьютерных программ [54, 60, 62, 78, 83].

Заметим, что в алгоритме решения будут перебираться различные варианты пересадочных узлов среди допустимых, но так как целевая функция минимизируется, оптимальный вариант перевозок будет использовать допустимое количество пересадочных узлов из условия минимизации именно целевой функции (3.3). Поэтому в данной постановке вопрос оптимального количества пересадочных узлов K^* решается автоматически.

Определяется количество маршрутов, проходящих через пересадочный узел k (величина b_k).

Пусть найдено решение задачи (3.3 – 3.7). Это массивы нулей и единиц $(x_{ikj}, x_{iklj})^*$ (звёздочкой отмечены все величины, полученные в результате решения задачи (3.3 – 3.7)). Тогда

$$b_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{ikj}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_{iklj}), (k = 1, K). \quad (3.8)$$

Вектор b_k даёт всю необходимую информацию о решении изначально поставленной задачи.

Во-первых, количество пересадочных узлов в решении определяется количеством ненулевых компонент этого вектора

$$K^* = \sum_k^K \delta(b_k), \quad (3.9)$$

где $\delta(b_k)=1$, если $b_k>0$ и $\delta(b_k)=0$, если $b_k=0$.

Получим мощность пересадочных узлов B_k (общее количество пассажиров, побывавших в k -м пересадочном узле).

$$B_k = b_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ikj} (x_{ikj}) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{iklj} (x_{iklj}), (k = 1, K). \quad (3.10)$$

B_k показывает количество пассажиров, пересеживающихся в k -м узле.

Далее оценивается сложность решения задачи (3.3 – 3.7) и пути её упрощения. Рассматривая эту задачу, считается, что возможны только однократные пересадки (при увеличении числа пересадок, сложность решения резко увеличивается).

В данной задаче варьируются только переменные x_{ikj} . Их количество определяется количеством встречающихся пересадочных маршрутов. Это a -я часть всех маршрутов, которых всего n^2 . Значит всего переменных an^2 , ($0 < a < 1$).

Величину a можно получить так.

Пусть C общее число пассажиров по всем маршрутам сети, а c_{ij} – количество пассажиров, едущих по прямым линиям из i в j . Тогда

$$a = \frac{1}{C} (C - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij}).$$

Количество ограничений (3.4) будет так же an^2 , а ограничений (3.5) и (3.6) будет $2K$, где K – общее количество возможных пересадочных узлов. Эта величина зависит от конкретного вида сети, но ясно, что она на порядок меньше чем n . Для большого города количество остановок пассажирской сети перевозок оценивается величиной порядка $n=10^3$. Следовательно, если, например, $a=0,3$, необходимо решать задачи линейного булева программирования примерно с 300000 переменными и с более чем 300000 ограничениями.

Для практического решения подобной задачи можно либо использовать специализированный алгоритм, упрощающий выбор допустимых решений, либо сделать упрощение модели самой сети, что и будет рассмотрено в диссертационной работе.

Используя тот факт, что для рассматриваемой задачи важен лишь факт вариации пересадочных узлов, все остановки за пределами возможных пересадочных узлов можно интегрировать в условные концевые блоки (узлы-районы). Определив их, можно получить эквивалентную сеть со значительно меньшим количеством узлов. Пронумеровав их и пересчитав характеристики эквивалентной сети, можно решать более простую задачу, получив необходимые результаты. Пример исходной и эквивалентной сети показан на рисунке 3.2.

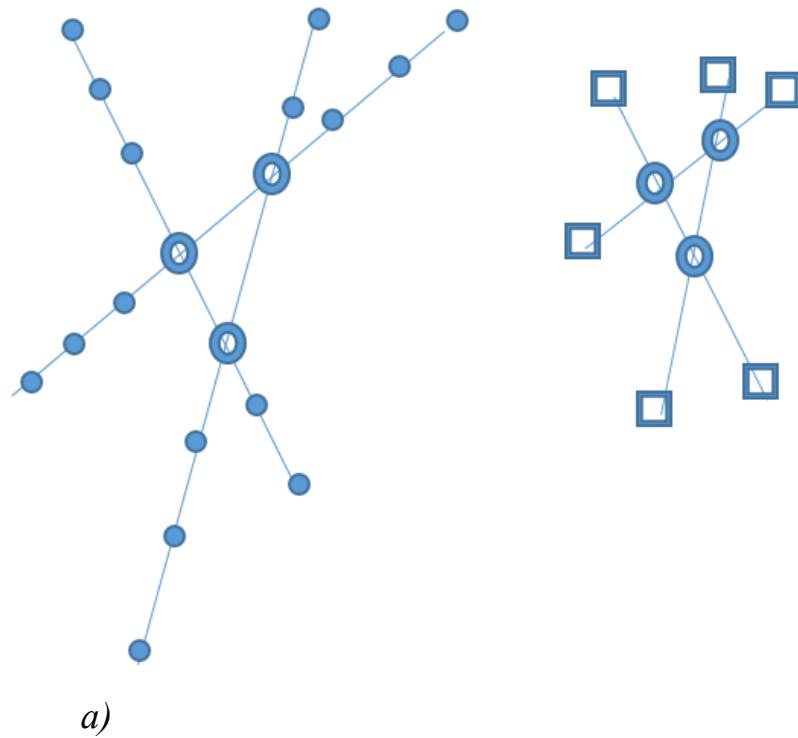


Рисунок 3.2 – Исходная (а) и эквивалентная упрощённая топология сети(б)

3.3 Определение эффективных пересадочных узлов на основе анализа маршрутов городского общественного транспорта

В параграфе 3.2 показано, что задача оптимального выбора системы ТПУ может быть сформулирована как многомерная задача линейного булева программирования и, следовательно, может быть решена лишь приближённо одним из переборных методов [42, 83].

В работе рассматривается подход, позволяющий упростить решение нашей задачи и получать практические варианты её решения.

Задача оптимального выбора мест расположения ТПУ решается в два этапа.

1. Первый этап.

Для каждого пересадочного маршрута (i, k, j) находятся такие пересадочные узлы r , которые обеспечивают кратчайший по времени путь из i в j через пересадочный узел r

$$r = \arg \min_k (t_{ikj}) \quad (3.11)$$

Следует отметить, что в дальнейшем выражение для одной пересадки будет записываться под номером k , хотя можно считать k вектором пересадок и тогда (3.11) справедливо и для случая многих пересадок.

Назовём узлы сети, удовлетворяющие (3.11), эффективными пересадочными узлами (параграф 3.1). Очевидно, что теперь в качестве допустимых для решения задачи выбора ТПУ узлов необходимо рассматривать только эффективные пересадочные узлы. Выполнение этого этапа радикально сужает область допустимых решений и упрощает алгоритмы решения задачи.

2. Второй этап.

Пусть найдено множество эффективных пересадочных узлов $R=(1, 2, 3, \dots, r, \dots, N_r)$, где r – номер эффективного пересадочного узла, N_r – общее количество пересадочных маршрутов. То есть в случае двух и более пересадок в качестве пересадки может выступать и вектор пересадки (k, l, \dots, q, p) , имеющий свой номер.

Вводится в рассмотрение булева переменная:

$x_r = 1$, если r -й эффективный узел будет ТПУ;

$x_r = 0$, в противном случае.

Тогда множество ТПУ определяется вектором нулей и единиц размерности N_r .

$$X=(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad X \in R.$$

При этом при выборе оптимального X^* автоматически определяется и оптимальное количество ТПУ в проекте n

$$\sum_{r=1}^{N_r} x_r^* = n . \quad (3.12)$$

Таким образом, возможно упрощение описания математической модели, введя понятие эффективных пересадочных узлов и вектора, определяющего решение, значительно меньшей размерности.

В качестве исходных данных к рассматриваемой задаче поиска эффективных пересадочных узлов рассматриваются: матрица межстаночных корреспонденций, граф городской транспортной сети с указанием маршрутов, остановок и возможных пересадочных узлов, времена поездок между всеми остановками общественного транспорта по всем городским маршрутам.

На первом этапе решения задачи имея данные по всем маршрутам городского общественного транспорта находится список беспересадочных (прямых) поездок из i в j .

На втором этапе рассматриваются поездки из i в j , для которых не существует беспересадочного маршрута или существует, но найденный пересадочный маршрут займет меньшее время. Такие пересадочные узлы называются «эффективными» пересадочными узлами.

На третьем этапе рассматриваются поездки из i в j с двумя пересадочными узлами. Это такие маршруты, для которых маршрута с одним пересадочным узлом не существует, или маршруты, которые являются более быстрыми в сравнении с маршрутами с одной пересадкой.

На рисунке 3.3 показана блок-схема алгоритма вычисления эффективных пересадочных узлов.

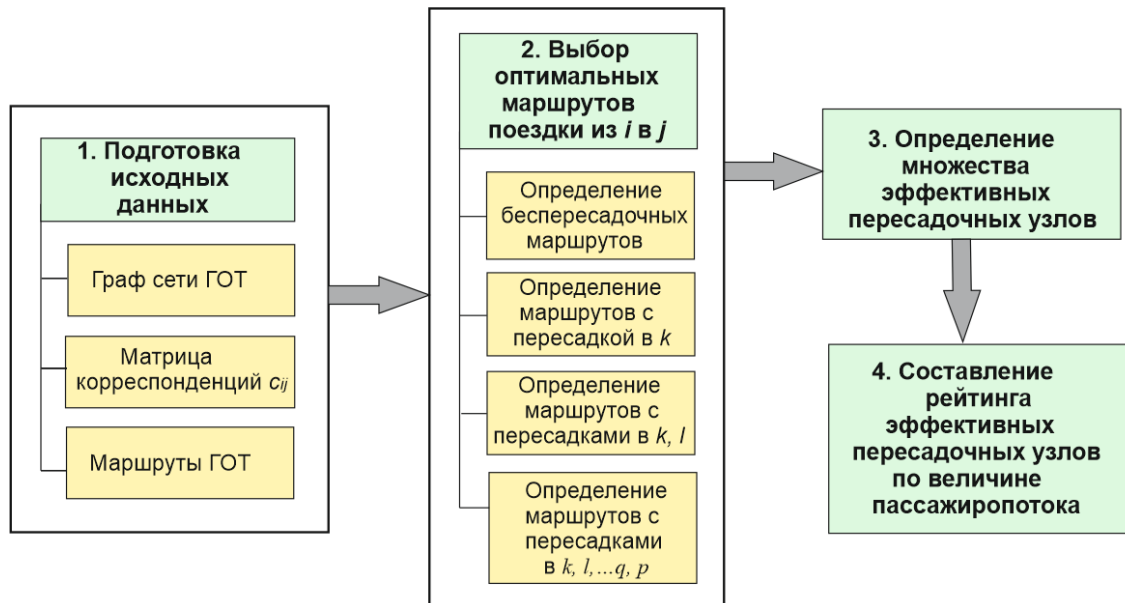


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритма вычисления эффективных пересадочных узлов

Для практического выполнения вышеуказанного алгоритма вычислений была разработана компьютерная программа «Эффективные пересадки», которая в совокупности с некоторыми ручными действиями и использованием системы 2gis.ru позволяет получить множество эффективных пересадочных узлов и их мощностей c_r для сети городского пассажирского транспорта.

3.4. Разработка математической модели и метода оптимального выбора системы ТПУ на основе эффективных пересадочных узлов

Считается, что действует единая система оплаты поезда, то есть в течение часа возможно перемещение пассажира по одному билету, не зависимо от количества пересадок и используемых видов городского транспорта.

При осуществлении выбора маршрута поездки пассажир принимает решение на основании времени, затрачиваемого на поездку, с учетом комфортных, безопасных условий пересадки и возможности попутного социального обслуживания, и при этом оплачивает проезд один раз даже если пользуется несколькими видами городского общественного транспорта.

Важным параметром городской транспортной сети является матрица корреспонденций $C^0 = \{c^0(i, j)\}$ (параграф 2.3), каждый элемент которой определяет среднюю прогнозную величину пассажиропотока, перемещающегося от остановки i до остановки j за определенный промежуток времени. Это время включает и нормативное время ожидания общественного транспорта.

Для маршрутов с пересадками c_{ikj} – количество пассажиров, которые едут из i в j и пересаживаются в узле k . Количество пассажиров, которые следуют из i в j с двумя и более пересадками $c_{ikl...pj}$. Считается, что k – множество номеров пересадочных узлов.

В данной работе кроме прочего, важен вопрос о том, где находятся наиболее крупные по числу пассажиров эффективные пересадочные узлы. Именно часть этих узлов пассажирского транспорта станут в перспективе транспортно-пересадочными узлами.

Создание ТПУ имеет целью повышение удобства обслуживания пассажиров при пересадке и требует значительных затрат на перепланировку территории пересадочного узла, строительства удобных переходов и дополнительной инфраструктуры (коммерческие площади, залы ожидания и другое). Создание системы ТПУ должно повлечь за собой уменьшение временных затрат пассажиров на совокупное обслуживание.

В первом приближении можно считать, что выбор ТПУ в первую очередь связан с количеством пассажиров, которые осуществляют пересадку, поскольку главный критерий оптимальности городской транспортной сети требует минимизации среднего времени одной поездки.

Среднее время одной поездки с пересадкой можно выразить:

$$T = \frac{1}{\sum_{i,k,j} c_{ikj}} \sum_{i,j} c_{ikj} t_{ikj} \rightarrow \min, \quad (3.13)$$

где c_{ikj} – количество пассажиров, следующих из i в j , пересаживающихся в k ;
 t_{ikj} – время, затрачиваемое на перемещение пассажиров из остановки i в остановку j через k .

В (3.13) отмечается, что для всех i и j пересадка в пересадочном узле k зафиксирована.

Исходя из (3.13) можно сделать вывод, что среднее время одной поездки определяется значительным пассажиропотоком. То есть чем больше пассажиров будет перерабатываться через формируемую систему транспортно-пересадочных узлов, тем большее уменьшение времени можно получить.

Для решения поставленной задачи необходимо из исходной матрицы корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$ получить массив данных, который учитывает реальный граф сети с маршрутами городского общественного транспорта. Такой граф позволяет выполнить анализ возможности осуществления пересадок между направлениями движения.

Рассматриваются поездки из i в j через возможные пересадочные узлы. Таких узлов может быть несколько. Если известно время маршрута для каждого варианта пересадочного узла (или нескольких пересадочных узлов) $t_{i,k,j}$, тогда для каждого маршрута можно найти такое $k=r$, которое обеспечивает минимальное время проезда из i в j :

$$t_{i,r,j} = \min_k t_{i,k,j} \quad (3.14)$$

Множество таких узлов рассматривалось в параграфе 3.3 и названо множеством эффективных пересадочных узлов.

Решение рассматриваемой задачи может быть очень простым при малом числе вариантов, но при большом количестве вариантов (когда полный перебор

затруднителен) задача становится очень сложной. В таком случае следует применить алгоритм поиска кратчайшего пути на графе, дуги графа обозначают путь от остановки до остановки, а узлы графа – сами остановки. Для упрощения графа часть маршрута от и до пересадочного узла можно заменить одной дугой, где отмечается значение соответствующего времени.

Если решена задача (3.14), то для каждой пары (i,j) найдено: либо минимальное время поездки будет при использовании беспересадочного маршрута, либо определен эффективный пересадочный узел. На основе исходной матрицы корреспонденций C^0 получается массив данных $C=(c_{ij},c_{irj})$. Можно рассчитать мощность таких пересадочных узлов. Мощность узла – это число пассажиров, которые будут пользоваться этим r -м пересадочным узлом (возможно в нем будет ТПУ)

$$c_r = \sum_{i,j} c_{i,r,j} + \sum_i c_{ir} + \sum_j c_{rj} \quad , r = 1, 2, \dots, R, \quad (3.15)$$

где $\sum_{i,j} c_{i,r,j}$ - количество пассажиров, пересаживающихся в r -м пересадочном узле

(ТПУ);

$\sum_i c_{ir}$ - количество пассажиров, приезжающих в ТПУ;

$\sum_j c_{rj}$ - количество пассажиров, уезжающих из ТПУ.

Поскольку формула (3.13) выражает критерий среднего времени одной пересадочной поездки и в ней величины c_k являются частотой появления величин времени одной поездки t_k , то получается, что значения c_r определяют основной критерий создания транспортно-пересадочных узлов. Мощность эффективных пересадочных узлов дает информацию о том, где создавать транспортно-пересадочные узлы.

Далее рассматривается задача оптимального выбора мест расположения ТПУ при *экономических ограничениях* или ограничении *среднего нормативного времени* одной поездки.

При решении задачи оптимального выбора мест расположения ТПУ при экономических ограничениях необходимо учитывать затраты на строительство самого транспортно-пересадочного узла. Можно считать, что они включают постоянные затраты и затраты, связанные с величиной пассажиропотока в узле. В первом приближении эту функцию затрат $S_r = f(c_r)$ можно представить в виде

$$S_r = S_0 + s_1 c_r, \quad (3.16)$$

где S_0 – постоянная составляющая затрат (это минимальные затраты на строительство ТПУ, включающие, к примеру, затраты на создание проекта, подготовку территории и так далее);

s_1 – условные затраты на строительство транспортно-пересадочного узла в расчёте на одного пассажира. Считается, что часть затрат зависит от числа пассажиров, обслуживаемых в пересадочном узле. Чем больше ожидаемая величина пассажиропотока, тем большие затраты потребуются на создание развитой инфраструктуры;

c_r – мощность r -го эффективного пересадочного узла, определяемая выражением (3.15).

Также необходимо учитывать, что денежные средства на строительство пересадочного узла выделяются с целью сокращения времени поездки через эти узлы, то есть стоит задача максимального сокращения этого времени при заданных средствах на создание ТПУ.

Практически задачу создания ТПУ можно представить так. Заданы денежные средства E_0 на формирование системы пересадочных узлов.

ТПУ формируются с целью сокращения времени поездки за счет уменьшения каждого t_{ij} и, как следствие, среднего времени поездок пассажиров через всю систему пересадочных узлов. Следует создать транспортно-

пересадочные узлы так, чтобы рационально использовать имеющиеся денежные средства.

Управляемые переменные, которые дают информацию о том, какие из R эффективных пересадочных узлов станут пересадочными узлами в виде x_r , определены на множестве $\{0,1\}$. И, если узел под номером r является ТПУ, то $x_r = 1$, а если нет, то $x_r = 0$. Для решения задачи оптимального выбора мест расположения ТПУ максимизируется целевая функция ΔT – сокращение среднего времени одной поездки пассажиров по городу за счет создания системы транспортно-пересадочных узлов

$$\Delta T = \frac{1}{\sum_r c_r} \sum_r c_r \left(\frac{1}{N_r} \sum_{i,j} \Delta t_{irj} \right) x_r \rightarrow \max \quad (3.17)$$

при выполнении ограничения

$$\sum_r S_r x_r \leq E_0, \quad (3.18)$$

здесь Δt_{irj} – сокращение нормативного времени поездки через эффективный пересадочный узел r за счет формирования ТПУ, а N_r – общее число пересадочных маршрутов через узел r . Важно, что процесс сокращения времени поездки за счёт создания ТПУ может быть разнообразным и трудно оценивается количественно. Однако возможны различные модели такого сокращения.

1. Пусть величины Δt_{irj} прямо пропорциональны значениям t_{irj} , то есть $\Delta t_{irj} = \lambda t_{irj}$, $0 < \lambda < 1$. То есть чем больше времени занимает поездка, тем большее сокращение времени можно получить за счет формирования системы ТПУ.

Следовательно, можно сказать, что при постоянном λ решение задачи (3.17), (3.18) эквивалентно решению задачи с целевой функцией, а именно:

$$T^* = \frac{1}{\sum_r c_r} \sum_r c_r \left(\frac{1}{N_r} \sum_{i,j} t_{ij} \right) x_r \rightarrow \max, \quad (3.17^*)$$

так как $\Delta T = \lambda \cdot T^*$.

Действительно, при формировании системы транспортно-пересадочных узлов необходимо учитывать, чтоб через неё перерабатывалось наибольшее число пассажиров, умноженное на затрачиваемое время. За счет этого можно добиться наибольшего сокращения времени поездок через выбранные пересадочные узлы.

Задача (3.17*), (3.18) известна как задача «о ранце» с булевыми переменными [31, 42, 77, 167]. Различные предметы укладываются в ранец объема b таким образом, чтобы получить наибольший вес ранца [42]. Можно считать, что j – номер предмета, занимающего в ранце объем a_j . Сам этот предмет весит c_j . При этом $x_j = \{0,1\}$ – переменные. Номер предмета обозначен j .

Суммарный вес ранца максимизируется

$$z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max$$

при следующих ограничениях по объему ранца

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b$$

Рассматриваемая задача «о ранце» – это задача линейного целочисленного программирования с единственным ограничением.

В диссертационной работе используется специальный метод решения задачи о ранце. В качестве решения задачи выступает вектор \bar{x} . В качестве приоритетных выбираются предметы с большим удельным весом.

$$\frac{c_j}{a_j} \Big| \frac{c_1}{a_1} > \frac{c_2}{a_2} > \dots > \frac{c_n}{a_n}.$$

Находится лексикографически-максимальный вектор для задачи о ранце с булевыми переменными.

$[a] = 0$, если $a < 1$ и $[a] = 1$, если $a \geq 1$. Тогда

$$\begin{aligned} \bar{x}^0 &= (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0), \\ x_1^0 &= \left[\frac{b}{a_1} \right], \\ x_2^0 &= \left[\frac{b - a_1 \cdot x_1^0}{a_2} \right], \\ &\dots \\ x_k^0 &= \left[\frac{b - \sum_{j=1}^{k-1} a_j \cdot x_j^0}{a_k} \right]. \end{aligned}$$

Лексикографически-максимальный вектор дает значение веса ранца, очень близкое к оптимальному. Но может быть, что оптимальное решение задачи будет другим, то есть используя два более «легких» предмета можно получить больший вес, чем используя один «тяжелый» предмет.

Решая задачу о ранце также можно воспользоваться «жадным» алгоритмом и в качестве оптимального вектора выбирать лексикографически-максимальный вектор. Известно, что если «удельные веса» предметов различаются существенно, то оптимальный вектор совпадает с лексикографически-максимальным. Если же «удельные веса» предметов близки друг другу, то «жадный» алгоритм даёт лишь приближённое решение.

Для получения точного решения необходимо рассмотреть все лексикографически упорядоченные векторы и найти вектор, определяющий лучшее значение z . При этом можно отбросить варианты векторов, стоящие в

списке между \bar{y}^i и \bar{x}^i . Для этого дается оценка всех вариантов, находящихся от \bar{x}^i до \bar{y}^i (это вектор x , у которого последняя ненулевая компонента \bar{x}^i просто уменьшена на 1). Эта оценка сверху того, что могут дать эти векторы [42, 110].

$$\delta^i = \sum_{j=1}^n c_j y_j^i + \frac{c_{s+1}}{a_{s+1}} (b - \sum_{j=1}^n a_j y_j^i).$$

Если для всех векторов от \bar{x}^0 до \bar{x}^i найдено самое большое значение целевой функции z^* и $\delta^i \leq z^*$, то не следует рассматривать векторы от \bar{x}^i до \bar{y}^i и необходимо взять сразу для анализа вектор \bar{y}^i . Если $\delta^i > z^*$, то никакого вывода сделать невозможно, поэтому анализируется следующий вектор \bar{x}^{i+1} . Такой алгоритм легко реализуется в виде компьютерной программы и может быть использован для решения задачи (3.17 – 3.18) или (3.17*– 3.18).

Согласно более простому «жадному» алгоритму номера полученных эффективных пересадочных узлов упорядочиваются по убыванию величин отношения коэффициентов целевой функции (3.17*) к соответствующим коэффициентам S_r в ограничении (3.18).

$$\beta_r = \frac{c_r}{S_r} \left(\frac{1}{N_r} \sum_{ij} t_{ij} \right) \quad (3.19)$$

Тогда, начиная с узла с номером, который характеризуется самой большой величиной (3.19), суммируются затраты S_r , рассчитываемые по формуле (3.16), и находятся номера ТПУ, которые «умещаются» по затратам в выделенные средства E_0 . Найденным оптимальным решением будет вектор нулей и единиц $x=(x_1, x_2, \dots, x_{N_r})$.

2. Если среднее значение сокращения времени поездки за счет создания системы ТПУ не зависит от времени поездки пассажира, но зависит от выбора самого пересадочного узла $\Delta t_{ij} = \Delta t_r$, тогда получается задача

$$\Delta T = \frac{1}{\sum_r c_r} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max \quad (3.20)$$

$$\sum_r S_r x_r \leq E_0. \quad (3.21)$$

Используя алгоритм решения «задачи о ранце» выбор оптимального варианта системы ТПУ определяется отношением

$$\beta_r = \frac{c_r \Delta t_r}{S_r}. \quad (3.22)$$

3. Если величина сокращения времени одной поездки за счет создания ТПУ не зависит ни от времени поездки, ни от конкретного узла, то есть $\Delta t_{ij} = \Delta t$, тогда оптимальный выбор определяется с использованием отношения

$$\beta_r = \frac{c_r}{S_r}. \quad (3.23)$$

Решая задачу оптимального выбора мест расположения ТПУ при ограничении среднего нормативного времени одной поездки, необходимо учесть величину сокращения среднего времени одной поездки с пересадкой в узле r , если в нем будет оборудован транспортно-пересадочный узел – Δt_r . Можно потребовать, чтобы выбор системы ТПУ обеспечил значение среднего времени поездки T' не более нормативного $T_{\text{норм}}$. В настоящее время известен примерный

норматив среднего времени поездки для каждого города в зависимости от численности населения.

Время прямых (беспересадочных) поездок остается неизменным. Уменьшается время пересадочных поездок, что в свою очередь влияет на величину среднего времени одной поездки

$$T' = \frac{1}{\sum_r c_r + \sum_{i,j} c_{ij}} \sum_r c_r \left(\frac{1}{N_r} \sum_{i,j} t_{irj} - \Delta t_r \right) x_r \leq T_{\text{норм}}, \quad (3.24)$$

где $\sum_{i,j} c_{ij}$ – пассажиры, которые едут прямыми (беспересадочными) маршрутами.

При этом можно потребовать, чтобы это неравенство выполнялось при наименьшем количестве транспортно-пересадочных узлов, поэтому

$$\sum_r x_r \rightarrow \min \quad (3.25)$$

Эта задача решается перебором вариантов двоичных чисел длиной R. С целью сокращения полного перебора вариантов (всего их 2^R) также предлагается использовать известный метод решения задачи «о ранце». При этом список перебираемых вариантов упорядочивается по убыванию величин

$$\beta_r = c_r \left(\frac{1}{N_r} \sum_{i,j} t_{irj} - \Delta t_r \right) \quad (3.26)$$

Или же потребовать, чтобы выбор системы пересадочных узлов обеспечил максимальное сокращение среднего времени поездки Δt_{cp} .

$$\Delta t_{cp} = \frac{1}{\left(\sum_{ij} c_{ij} + \sum_r c_r \right)} \sum_r c_r \Delta t_r x_r \rightarrow \max. \quad (3.27)$$

3.5 Многокритериальный анализ вариантов системы транспортно-пересадочных узлов

Величина сокращения среднего времени одной поездки является основным, но не единственным критерием выбора системы ТПУ. Поэтому дальнейший анализ отобранных эффективных пересадочных узлов необходимо выполнить на основе многокритериального выбора [136, 137, 163].

Как правило, эффективность больших по объему, сложных многоцелевых систем, какой является система городского пассажирского транспорта, определяется не одним, а несколькими показателями k_1, k_2, k_3, \dots

При сравнении векторов $k=(k_1, k_2, \dots, k_L)$ удобно привести все показатели k_1, k_2, \dots, k_L к стандартному виду, при этом удовлетворяется условие $k_i \geq 0$, и чем меньше значение k_i , тем лучше система.

Идеальной считается система при $k_i=0$. В такой системе нестандартный критерий можно привести к стандартному.

Если $k_i \rightarrow \max$, то $k_i^{ст} = k_i^{\max} - k_i$.

Если $k_i^{\max} = \infty$, то $k_i^{ст} = 1 / k_i$. Стандартный критерий может выглядеть: $k_i^{ст} = (1 - k_i / k_i^u)$, где k_i^u – идеальное значение критерия (это может быть какая-то величина, либо $\max k_i$).

В L -мерном пространстве задаётся вектор k , каждая компонента которого изменяется от 0 до 1. Система является полностью идеальной, если $k=0$.

Анализ векторов позволяет заранее исключить явно неоптимальные варианты решений, которые заведомо хуже других вариантов. Это называется безусловной оптимизацией.

При двух и более критериях отмечается трудность в объективной (безусловной) оценке альтернативных вариантов, что связано с проблемой сравнения двух векторов.

Безусловным критерием предпочтения является критерий сравнения компонент вектора. Два вектора критериев k^A и k^B безусловно сравниваются, если выполняются неравенства для любой l -й компоненты вектора

$$k_l^A \geq k_l^B, \quad l=(1, 2, 3, \dots, L) \text{ и существует } l, \text{ для которого } k_l^A > k_l^B.$$

Если все $k_l \rightarrow \min$, то альтернатива B безусловно предпочтительнее «лучше» A . Таким образом, A можно исключить в связи с тем, что A никак не будет оптимальным значением.

Множество, которое осталось после исключения из рассмотрения заведомо худших вариантов, называется множеством Парето. Множество Парето определяется путем анализа критериального пространства [42, 110].

Важно рассмотреть два этапа векторной оптимизации.

1. Безусловная оптимизация. Здесь исключаются из дальнейшего рассмотрения заведомо худшие варианты и определяется множество Парето.

2. Условная оптимизация. Здесь необходимо рассмотреть дополнительные критерии для того, чтобы получить одно единственное решение.

Существуют методы нахождения множества Парето [42, 110]. В данной работе рассматриваются дискретные варианты – это узлы городской транспортной сети как кандидаты на то, чтобы их выбрать в качестве ТПУ. Для многокритериального анализа таких вариантов целесообразно использовать метод прямоугольников. Он применим для критериального пространства, состоящего из точек или табличных значений.

Поиск решения, когда $k_1 \rightarrow \min$ и $k_2 \rightarrow \min$, определяется по известному алгоритму нахождения множества Парето [42, 110] (рисунок 3.4).

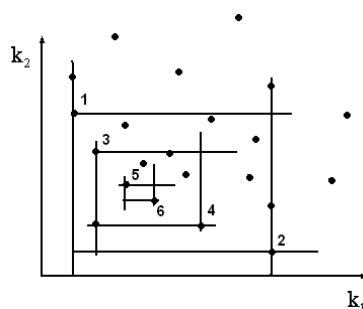


Рисунок 3.4 – Множество Парето: 1, 2, 3, 4, 5, 6

После нахождения множества Парето необходимо выбрать одно единственное решение, если оно содержит несколько точек. В таком случае применяется так называемая условная оптимизация, которая подразумевает ввод условия субъективной согласованности в компонентах критерия [42].

Для задачи, рассматриваемой в диссертационном исследовании, применим метод скаляризации. На этом этапе выделяется некоторая скалярная функция нескольких переменных:

$$K_0 = f(K_1, K_2, \dots, K_L),$$

где K_0 – это скалярная величина, обобщающая все критерии. Большинство функций f линейные.

$$K_0 = \sum_{i=1}^L \alpha_i K_i \rightarrow \min(\max)$$

где α_i – вес каждого критерия.

Кроме метода скаляризации можно применить и другие методы, например, метод главного критерия или метод уступок.

Можно производить многокритериальный анализ всех вариантов системы ТПУ, включив в качестве одного из критериев «среднее время одной поездки».

Но в данной работе применяется многокритериальный выбор уже после оптимизации по основному критерию среднего времени одной поездки. Это продиктовано некоторыми полезными свойствами оптимальных решений рассматриваемой задачи.

В параграфе 3.5 показаны правила получения оптимальных вариантов системы ТПУ для нескольких важных практических случаев. Показано, что можно осуществлять такой выбор на основе значений β_r .

Из множества ТПУ, определяемых множеством эффективных пересадочных узлов, отбираются такие, для которых величины β_r близки по величине. Получается множество подоптимальных вариантов городской транспортной сети. Эти эффективные узлы могут быть назначены на роль ТПУ. Рассматривается несколько номеров таких конкурентов. Для каждого из них рассматривается вектор $z = (z_1, z_2, \dots, z_q)$, каждая компонента которого определяет количественную величину (возможно в баллах) определенного свойства, связанного с удобством создания ТПУ именно в этом узле.

Как показано в параграфе 3.4. наличие такой информации позволяет определить множество Парето. Все эти кандидаты ТПУ имеют наилучшие значения основного показателя «среднее время одной поездки» и наборы критериев, входящих в множество Парето.

Выбор окончен, когда среди эффективных пересадочных узлов остается один кандидат на создание в нем ТПУ. Если остается несколько вариантов, то применяется так называемый «условный» критерий предпочтения, свёртка критериев z_q с весами μ_q .

Тогда из множества Парето выбирается тот вариант, для которого

$$Z = \sum_q \mu_q z_q \rightarrow \max. \quad (3.28)$$

В результате получается единственное оптимальное решение, то есть оптимальное количество пересадочных узлов и места их размещения для конкретного города.

Выводы по главе

1. Рассмотренные в главе 3 постановки задач оптимального выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе предложенных математических моделей позволяют разработать методику выбора системы ТПУ на сети городского общественного транспорта.

2. В главе 3 показано, что для решения поставленных оптимизационных задач необходимо разработать программные средства и автоматизировать процесс пересчета матрицы корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$ в массив данных $C = (c_{ij}, c_{irj})$.

3. Разработана программа определения эффективных пересадочных узлов, для чего используется граф городской транспортной сети, схема маршрутов и матрица корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$.

4. Разработан метод оптимального выбора ТПУ на основе решения «задачи о ранце». Показана методика решения задач на основе «жадного» алгоритма, а также точного решения задачи на основе специализированного алгоритма решения задачи «о ранце» большой размерности с булевыми переменными.

5. Предложено применение методики многокритериальной оценки подоптимальных вариантов системы ТПУ на основе алгоритма и программы получения множества Парето и выбора единственного варианта по критерию интегральной суммы с весами критериев.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ТПУ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА САМАРА

4.1 Теоретические аспекты методики выбора мест расположения ТПУ

Рассмотренные в главе 3 постановки задач выбора мест расположения транспортно-пересадочных узлов на основе предложенных математических моделей позволяют сформировать методику определения количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов, которая включает несколько этапов:

1) Изучение потребностей пассажиров в части транспортного обслуживания, расчет величины пассажиропотока, составление матрицы межостановочных корреспонденций.

2) Выбор оптимальных маршрутов следования пассажиров в системе городского общественного транспорта. Определение эффективных пересадочных узлов, в которых осуществляются пересадки, составление их рейтинга по критерию величины пассажиропотока.

3) Определение количества и мест размещения ТПУ на основе оптимизационной математической модели при экономических ограничениях и ограничении среднего нормативного времени поездки.

Для реализации предлагаемой методики используются известные и разработанные программные продукты. Программные продукты, используемые для реализации алгоритма методики выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов представлены на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Программные продукты, используемые для определения количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов

На первом этапе выполняется анализ городской транспортной системы, рассчитывается матрица корреспонденций. Выполняется пересчет матрицы межрайонных корреспонденций, полученной путем математического моделирования с использованием «гравитационной» модели в PTV Visum [146–148], в матрицу межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$, используя при этом упрощенную городскую транспортную сеть общественного транспорта,

представляющую собой сеть с меньшим числом остановок за счет объединения ряда остановок, которые лежат на линии одного маршрута, в блоки [66].

Матрица межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$ показывает среднесуточное число пассажиров, которые перемещаются от остановки i до остановки j по городской сети общественным транспортом (параграф 2.3). Величина пассажиропотока выражена дробным числом, так как это среднесуточное значение, полученное путем математического моделирования. Фрагмент матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$ размерностью 455×455 представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Фрагмент матрицы межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$

Номер остановки отправления, i	Номер остановки прибытия, j	Среднесуточный пассажиропоток $c_{i,j}$, пасс.
1	2	2,291408
1	3	2,526933
1	4	2,152176
1	5	3,658248
1	6	1,554688
1	7	0,990041
1	8	0,976138
1	9	0,540264
1	10	1,305984
1	11	5,77867
.....		
1006	1001	2,182368
1006	1002	0,290998
1006	1003	424,3006
1006	1004	0,181509
1006	1005	71,4463
1006	1006	2,811182

Фрагмент эквивалентной городской сети общественного транспорта городского округа Самара с размещением остановок представлен на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 - Фрагмент эквивалентной городской сети общественного транспорта городского округа Самара с размещением остановок

На втором этапе осуществляется выбор оптимальных маршрутов следования пассажиров в системе городского общественного транспорта по критерию минимального времени поездки и определяются эффективные пересадочные узлы с помощью разработанной программы «Эффективные пересадки». Составляется рейтинг эффективных пересадочных узлов по величине пассажиропотока.

На третьем этапе осуществляется выбор мест размещения ТПУ на основе оптимизационной математической модели при экономических ограничениях и ограничении среднего нормативного времени поездки.

4.2 Выбор маршрутов передвижения пассажиров в системе городского общественного транспорта и определение эффективных пересадочных узлов

Имея матрицу межостановочных корреспонденций $C^0 = \{c^0(i,j)\}$, граф транспортной сети с маршрутами и остановками необходимо определить

оптимальные маршруты следования пассажиров из i в j . Часть пассажиров пользуются известными, привычными для себя маршрутами, особенно это касается трудовых корреспонденций. Другая часть пассажиров пользуется специальными программами и приложениями (Транспортный оператор Самары, 2gis.ru и другие) для выбора маршрута поездки. Выбор пути следования основан на выборе прямого (беспересадочного) маршрута, что связано с нежеланием платить за проезд дважды, а также неудобством пересадки на пересадочных остановках. Однако при этом затрачивается значительное время на продолжительный пеший подход к нужной остановке отправления и прибытия.

Считается, что действует единая система оплаты проезда, то есть, например, в течение определенного времени пассажиру можно перемещаться по городской сети общественного транспорта по одному билету, не зависимо от количества пересадок. При выборе маршрута передвижения пассажир принимает решение на основании времени, затрачиваемого на поездку, с учетом комфортных, безопасных условий пересадки и возможности попутного социального обслуживания, и при этом оплачивает проезд один раз даже если пользуется несколькими видами городского общественного транспорта.

Известные программы и приложения предлагают оптимальный маршрут исходя из времени, затрачиваемого на поездку, и минимального количества пересадок, а лучше его отсутствия. При этом выбирается прямой маршрут, но при этом затрачивается время на длительный пеший подход к остановке прибытия и отправления, при этом такой маршрут далеко не всегда является кратчайшим [3, 40].

Для решения задачи выбора оптимального маршрута поездки из i в j разработан программный продукт на языке C#, который позволяет выбрать путь из i в j прямой (если таковой имеется), с одной пересадкой и двумя пересадками. В результате получаем места, где находятся наиболее крупные по числу пассажиров эффективные пересадочные узлы. Именно эти узлы могут стать впоследствии городскими транспортно-пересадочными узлами.

Подготавливаются исходные данные в Microsoft Excel. Составляется таблица остановок и названия этих остановок. Для каждого маршрута расписываются номера остановок (цепь остановок i и j), через которые проходит данный маршрут (рисунок 4.3).

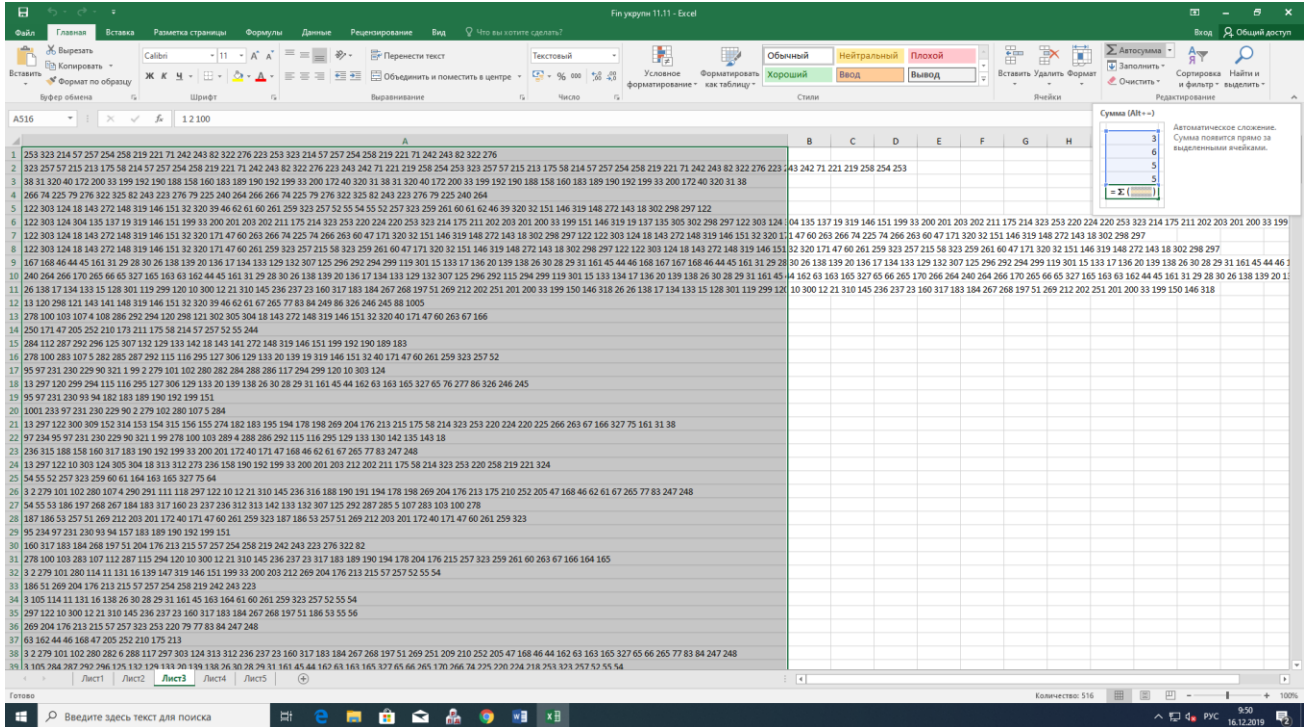


Рисунок 4.3 – Цепь остановок i, j , через которые проходят маршруты городского общественного транспорта города Самары

Маршруты городского общественного транспорта города Самары включают трамвайные, автобусные и троллейбусные маршруты, а также метрополитен (рисунок 4.4).

Серым цветом отмечены маршруты, не действующие в настоящее время.

Трамваи: S5 1 2 3 4 5 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 18 19 20к
20 21 22 23 24к 24 25

Троллейбусы: 4 4к 6 7 8 9 10 12 13 15 16 17 18 19 20

Автобусы:

Городской муниципальный маршрут:

1 2 3 5д 6 7 8 9 11 12 13 17 21 22 23 24 26 27 29 30 32 34
35 36 37 38 39 41 45 47 50 51 52 53 55 56 59 59а 61 63 65 66
67 70 75 76 78 79

Городской коммерческий маршрут:

4 21м 27к 46 48к 48д 80 89 92 96 99 203 205 207 210 213 215
217 226 229 247 253 261 266 268 272 295 297

Рисунок 4.4 – Маршруты городского общественного транспорта города Самары

Если автобус/троллейбус/трамвай следует в прямом и обратном направлении по одному маршруту, то он записывается в виде последовательности номеров остановок в одном направлении. Например, маршрут движения 19 трамвая записывается 56, 55, 53, 186, 51, 269, 212, 251, 209, 210, 252, 205, 47, 168, 167, 39. Если маршрут кольцевой, то он записывается в виде последовательности номеров остановок, записанных дважды для того, чтобы точно определить длину маршрута, время и количество остановок, которые следует проехать при поездке из i в j . Например, маршрут трамвая 23 записывается 20, 136, 133, 15, 301, 119, 299, 120, 10, 300, 12, 21, 145, 236, 237, 23, 160, 317, 183, 184, 267, 268, 197, 51, 269, 212, 251, 201, 200, 33, 199, 150, 146, 318, 26, 138, 139, 20, 136, 133, 15, 301, 119, 299, 120, 10, 300, 12, 21, 145, 236, 237, 23, 160, 317, 183, 184, 267, 268, 197, 51, 269, 212, 251, 201, 200, 33, 199, 150, 146, 318, 26, 138, 139.

Для проведения расчетов разработан программный продукт на языке C# (среда разработки Microsoft Visual Studio 2017), который позволяет выбрать оптимальный маршрут из i в j . Расчеты в программном продукте выполняются в 4 этапа.

Этап 1. Загружается исходный файл с номерами всех остановок с названиями; матрицей межостановочных корреспонденций; цепями остановок i, j , через которые проходят маршруты городского общественного транспорта города Самары. Выбираются Проверки «Без пересадок» (рисунок 4.5). Рассматривается каждая поездка из i в j . Программа на первом этапе находит остановки i и j в перечне маршрутов городского общественного транспорта (во всех цепях остановок) и находит прямой маршрут поездки, если такой существует. Просматривая поочередно каждую остановку i и каждую j , получаем список беспересадочных маршрутов (БП) (рисунок 4.6). Получено 12586 маршрутов.

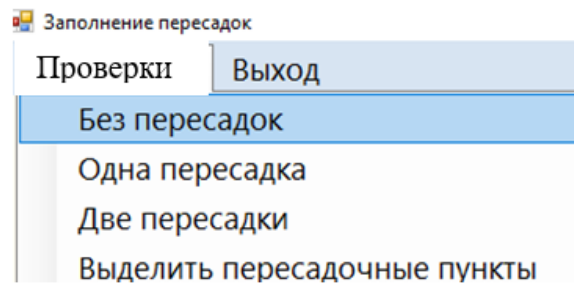


Рисунок 4.5 – Поиск оптимальных маршрутов

	A	B	C	D	E	F	
1	FROM	FROMNAME	TO	TONAME	MATRIXIDENTIFIER	VALUE	Беспересадочный маршрут
2	1		227		63 ОТ	11,028	БП
3	1		231		63 ОТ	23,536	БП
4	1		234		63 ОТ	8,776	БП
5	2		3		63 ОТ	15,268	БП
6	2		5		63 ОТ	14,690	БП
7	2		11		63 ОТ	21,641	БП
8	2		13		63 ОТ	21,364	БП
9	2		16		63 ОТ	9,939	БП
10	2		17		63 ОТ	9,214	БП
11	2		99		63 ОТ	19,468	БП
12	2		105		63 ОТ	11,820	БП
13	2		107		63 ОТ	10,615	БП
14	2		110		63 ОТ	15,606	БП
15	2		112		63 ОТ	11,763	БП
16	2		122		63 ОТ	17,545	БП
17	2		131		63 ОТ	10,523	БП
18	2		143		63 ОТ	15,154	БП
19	2		226		63 ОТ	10,203	БП
.....							
12574	1005		265		63 ОТ	20,953	БП
12575	1005		326		63 ОТ	151,290	БП
12576	1005		327		63 ОТ	13,409	БП

Рисунок 4.6 – Беспересадочные маршруты из i в j

Этап 2. Загружается исходный файл с номерами остановок, их названиями и матрицей межостановочных корреспонденций (исключив остановки, задействованные в беспересадочных маршрутах); цепями остановок i, j , через которые проходят маршруты городского общественного транспорта города Самары. Выбираем Проверки «Одна пересадка» (рисунок 4.12).

На втором этапе рассматриваются поездки из i в j , для которых не существует беспересадочного маршрута (назовем их i^* и j^*).

Программа находит первое i^* и j^* в цепи остановок маршрутов городского общественного транспорта и выбирает возможные пересадочные узлы k с точки зрения кратчайшего маршрута (один и тот же номер остановки в цепи остановок маршрута городского общественного транспорта там, где есть i^* , и там, где есть j^*). Если существуют несколько k , то такие пересадочные узлы считаются равнозначными и программа запоминает их все. Далее просматриваются следующие цепочки маршрутов городского общественного транспорта и находится j^* в цепочке другого маршрута. Появляются новые возможные пересадочные узлы k^* . Далее программа сравнивает поездку из i^* в j^* через k и k^* с учетом минимальной дальности поездки, а точнее минимального количества остановок, которые необходимо проехать, чтобы попасть из i^* в j^* (через k или k^*). Если поездка через k^* будет быстрее, чем через k , то все k программа забывает и оставляет в памяти все равнозначные k^* . Если поездка через k будет быстрее, чем через k^* , то все k^* программа забывает. Аналогично осуществляется поиск маршрутов для каждого следующего i^* , найденного в цепочках остановок маршрутов городского общественного транспорта. Так просматриваются все цепочки маршрутов и осуществляется поиск новых возможных пересадочных узлов. Перебирая варианты согласно формуле 3.14 получаем для каждой поездки из i^* в j^* оптимальный маршрут с одной или несколькими равнозначными эффективными пересадочными узлами (рисунок 4.7). Получено 11606 маршрутов.

	A	B	C	D	E	F
12588	3		271		63 ОТ	10,054 294 114
12589	6		123		63 ОТ	13,003 11 280 298 117 297 290
12590	6		271		63 ОТ	13,245 294 117
12591	7		123		63 ОТ	12,068 298 117 297
12592	11		271		63 ОТ	148,945 294 114
12593	12		123		63 ОТ	32,256 298 120 297 122 10
12594	15		123		63 ОТ	25,898 11 301
12595	16		1006		63 ОТ	8,352 90 280
12596	17		1006		63 ОТ	12,832 90 2 99 280
12597	23		123		63 ОТ	24,943 298 13 305
12598	25		7		63 ОТ	10,147 297 319

.....

.....

24606	1005		175		63 ОТ	9,944 151 46 62 61 67 265 77 83 320 327
24607	1005		176		63 ОТ	8,976 46 62 61 67 265 77 83 151 327 165
24608	1005		183		63 ОТ	8,388 46 62 61 67 265 77 83 151 120 141 86 326 246 245 327 165 65 277 233
24609	1005		202		63 ОТ	8,463 13 265 65
24610	1005		218		63 ОТ	16,271 146 265 65
24611	1005		219		63 ОТ	17,051 13 146 151 265 65
24612	1005		220		63 ОТ	15,519 265 13 141 61 327 65
24613	1005		221		63 ОТ	8,592 13 265 65
24614	1005		240		63 ОТ	22,305 265 65
24615	1005		251		63 ОТ	8,724 146 265 165 327 65
24616	1005		259		63 ОТ	13,447 61 67 165 327 86 326 246 245 65
24617	1005		261		63 ОТ	15,980 32 61 165 327 86 326 246 245
24618	1005		262		63 ОТ	9,603 265 61 65
24619	1005		263		63 ОТ	29,441 67 165 327 86 326 246 245
24620	1005		264		63 ОТ	8,148 61 65
24621	1005		266		63 ОТ	28,193 141 67 327 65
24622	1005		323		63 ОТ	8,362 61 67 265 77 83 84 249 86 326 246 245 327 165
24623	1005		324		63 ОТ	11,254 13 265 65

Рисунок 4.7 – Оптимальные маршруты с одной пересадкой

Этап 3. Загружается исходный файл с номерами остановок, их названиями и матрицей межостановочных корреспонденций (исключив остановки, задействованные в беспересадочных маршрутах и остановки, для которых уже найдены маршруты с одной пересадкой); цепями остановок i, j , через которые проходят маршруты городского общественного транспорта города Самары. Выбираются Проверки «Две пересадки» (рисунок 4.5).

На третьем этапе рассматриваются поездки из i в j с двумя пересадками (можно их назвать i^{**} и j^{**}). Программа находит первую ближайшую остановку к остановке i^{**} слева и справа (можно назвать эту остановку i' , она же i^*) и возвращается к предыдущему этапу, то есть ищет маршрут с одной пересадкой между остановкой i' (она же i^*) и остановкой j^{**} (она же j^*). Если такой маршрут поездки найден, то получаем поездку из i^{**} в j^{**} с двумя «эффективными» пересадками. Если нет, то рассматривается вторая ближайшая остановка от i^{**}

слева и справа (i^* , она же i^*) и снова программа возвращается к предыдущему этапу, то есть ищет маршрут с одной пересадкой между i^* и j^{**} (она же j^*). Если такой маршрут поездки найден, то находится поездка из i^{**} в j^{**} с двумя пересадками. И далее перебирая варианты определяются все маршруты из i^{**} в j^{**} с двумя эффективными пересадочными узлами (431 маршрутов).

Если после трех этапов остаются не найденные маршруты поездки из i в j , то поиск таких маршрутов осуществляется вручную.

Этап 4. На четвертом этапе выделяются эффективные пересадочные узлы. Выбираются Проверки «Выделить пересадочные пункты» (рисунок 4.5). Выделяется список всех эффективных пересадочных узлов (272 узла).

Так как для каждой пары (i, j) определен оптимальный маршрут поездки, выделены эффективные пересадочные узлы r , то на основании исходной матрицы корреспонденций C^0 получаем массив данных $C=(c_{ij}, c_{irj})$. Подсчитываются мощности эффективных пересадочных узлов c_r по формуле 3.15.

Поскольку величины c_r определяют создание транспортно-пересадочных узлов, то выстраиваются эффективные пересадочные узлы в порядке убывания величины c_r (приложение В).

Исходя из описанного в параграфе 2.2 (определена необходимость создания 48-ми ТПУ городского значения для Самары) можно выбрать среди эффективных пересадочных узлов (приложение В) первые 48 по величине пассажиропотока. В этих узлах можно создавать ТПУ. Величина пассажиропотока является одним из важнейших характеристик узла. Обозначим выбранные пересадочные узлы на сети общественного транспорта (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – 48 возможных ТПУ городского округа Самара по величине пассажиропотока

4.3 Определение количества и мест размещения ТПУ городского округа Самара

Имея рейтинг эффективных пересадочных узлов, которые являются кандидатами на роль ТПУ, можно решить задачу оптимального выбора мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе математической оптимизационной модели при экономических ограничениях и ограничении среднего нормативного времени поездки.

Решим задачу оптимального выбора мест расположения ТПУ Самары при экономических ограничениях.

В параграфе 3.2 описана функция затрат $S_r = f(c_r)$ на создание транспортно-пересадочного узла, которая в первом приближении складывается из постоянных затрат и затрат, которые связаны с величиной пассажиропотока. Более точное значение затрат на создание ТПУ можно получить, рассмотрев каждый узел в отдельности: создать эскизный проект пересадочного узла, выделить все его элементы и определить примерную стоимость каждого из них. При создании проекта учитываются условия и возможности для строительства каждого элемента ТПУ: остановочные пункты, стоянки, пешие переходы, в том числе надземные и подземные, велосипедные парковки, зоны отдыха и социального обслуживания, реконструкция рельсовых путей и автомобильных дорог и так далее.

Затраты определяются исходя из стоимости укладки 1м рельсовых путей (при наличии в ТПУ трамвайного сообщения); стоимости 1 м² дорожного полотна с наличием бордюрного камня; стоимости 1м² временных стоянок и «перехватывающих» парковок (при их наличии), стоимости 1м² газоновых и других покрытий; стоимости создания новых или переноса существующих

остановочных пунктов; стоимости создания 1м^2 подземного/надземного/крытого пешеходного перехода и так далее.

Определим примерную стоимость первых 50 транспортно-пересадочных узлов, выстроенных по рейтингу величины пассажиропотока (таблица 4.2).

Примерный расчет стоимости затрат на создание ТПУ Аврора (№183) представлен в приложении Г. Аналогичный анализ был проведен для следующих 49 эффективных пересадочных узлов, кандидатов на создание ТПУ (таблица 4.2).

Через каждый эффективный пересадочный узел r проходит один или несколько маршрутов с пересадкой в r . Для каждого такого маршрута с пересадкой определено время поездки. Сравнивая время поездки до и после определения оптимального маршрута получаем сокращение времени данной поездки через рассматриваемый пересадочный узел. Если через r проходит несколько пересадочных маршрутов N_r , то определяется среднее сокращение времени поездки через r Δt_r , (таблица 4.2). В Δt_r включено сокращение времени на саму пересадку $t_{пер}$. При этом сокращение времени на пересадку определено путем сравнения времени на пересадку в настоящее время с использованием программы samara.2gis.ru и времени на пересадку в случае создания ТПУ с учетом расстояния передвижения согласно эскизному проекту. Для определения времени, которое затрачивается на поездку из i в j в настоящее время, был выполнен опрос жителей города, в котором отмечалось какими маршрутами они пользуются для совершения трудовых корреспонденций. Далее сравнивалось это время со временем поездки из i в j по найденным оптимальным маршрутам через эффективный пересадочный узел r .

Таблица 4.2 – Затраты на строительство и среднее сокращение времени поездки через ТПУ

№ п/п	Номер ТПУ	Название	Стоимость строительства S_r , млн. руб.	Сокращение времени на пересадку $t_{пер}$, мин	Среднее сокращение времени поездки через ТПУ Δt_r , мин
1	2	3	4	5	6
1	122	Железнодорожный вокзал	285,71	1,5	8
2	183	Автостанция Аврора	173,285	3	10
3	257	пл. Кирова	200,51	3	10
4	163	Барбошина Поляна	225,8	3	9
5	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)	198,6	1	7
6	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)	204,39	2	8
7	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)	198,56	3	8
8	220	пр. Metallургов	202,835	2	6
9	269	Победа	121,67	1	8
10	60	Стара-Загора (пр. Кирова)	194,66	1	8
11	133	Полевая	291,06	3	10
12	297	Железнодорожный вокзал	146,64	1	6
13	323	Автостанция Вольская	281,27	1	6
14	236	Тухачевского	198,7	2	8
15	199	Дом печати	187,5	2	7
16	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)	195,3	2	7
17	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)	221,4	2	7
18	213	Безымянка	138,52	1	8
19	212	Вольская	195,7	1,5	8
20	143	Дачная (трамвай)	196,5	2	6
21	67	14-й микрорайон	250	2	6
22	139	КРЦ Звезда	173,7	1	6
23	259	Ставропольская (пр. Кирова)	258,3	1	7
24	146	Аэрокосмический Университет	171,6	1	6
25	151	Автовокзал Центральный	198,6	2	9
26	55	Заводское шоссе (ул. 22-го Партсъезда)	216,7	1	5
27	280	пл. Революции	210,1	1	9

Продолжение таблицы 4.2.

1	2	3	4	5	6
28	20	Соколова	200,55	2	5
29	26	Постников Овраг	187,6	3	10
30	319	Революционная (Московское)	237,4	2	6
31	120	Поликлиника (ул. Агибалова)	252,99	1	5
32	190	Аврора (Гагарина)	220,3	2	7
33	327	Московское шоссе (ул. Георгия Димитрова)	201,3	2	7
34	61	Московское шоссе (пр. Кирова)	232,6	2	8
35	135	ТЦ Аквариум	198,5	2	7
36	176	Александра Матросова (ул. Вольская)	195,7	1	6
37	161	ТЦ Апельсин/завод Тарасова	220,4	3	9
38	160	Дом молодёжи	185,8	1	6
39	142	ТЦ Аквариум	185,2	2	7
40	168	Фадеева (ул. Ново- Вокзальная)	203,4	1	6
41	5	Венцека/Фрунзе	178,9	1	9
42	18	ул. Клиническая	248,6	1	5
43	219	Хлебозавод №5	187,4	1	5
44	201	Советской Армии (ул. Антонова-Овсеенко)	192,8	1	5
45	282	Ленинградская	232,1	1	5
46	66	Демократическая (ул. Ташкентская)	202,4	1	6
47	141	Киевская	238,5	1	5
48	51	Красных Коммунаров (ул. 22-го Партсъезда)	198,6	1	6
49	17	Алабинская	176,5	1	6
50	31	Советской Армии (ул Ново-Садовая)	183,2	1	6

Главная задача создания транспортно-пересадочных узлов — это сокращение времени поездки за счет уменьшения каждого t_{ij} и, следовательно, среднего времени поездок через систему ТПУ. Необходимо распределить средства E_0 на создание ТПУ из возможного множества эффективных пересадочных узлов (кандидатов на роль ТПУ). При этом следует достичь максимального снижения среднего времени поездок через систему ТПУ при заданном E_0 . Используя линейное целочисленное программирование выберем

среди всех эффективных пересадочных узлов те, вокруг которых будем строить транспортно-пересадочные узлы (x_r) по формуле 3.20. При этом считается, что величина сокращения времени поездки за счет создания ТПУ, зависит от конкретной остановки x_r . Выбор ТПУ зависит от величины сокращения времени поездки и от количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ. Упорядочим выбор оптимального варианта системы ТПУ по величине β_r (формула 3.22). Решим задачу оптимального выбора мест размещения ТПУ по алгоритму метода ветвей и границ при заданном $E_0 = 8$ млрд. руб. с помощью прикладных программ «ПЭР» и «Microsoft Excel» (приложение Д.)

Получаем список ТПУ, рекомендованных к строительству при ограниченных денежных средствах с учетом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Список ТПУ, рекомендованных к строительству при ограниченных денежных средствах с учетом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ

№п/п	ТПУ	
	№ТПУ	Название
1	2	3
41	183	Автостанция Аврора
2	257	пл. Кирова
3	163	Барбошина Поляна
4	213	Безымянка
5	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)
6	269	Победа
7	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)
8	122	Железнодорожный вокзал
9	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)
10	60	Стара-Загора (пр. Кирова)
11	297	Железнодорожный вокзал
12	236	Тухачевского
13	26	Постников Овраг
14	133	Полевая
15	199	Дом печати
16	151	Автовокзал Центральный
17	212	Вольская
18	220	пр. Металлургов (ул. Советская)
19	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)

Продолжение таблицы 4.3.

1	2	3
20	280	пл. Революции
21	139	КРЦ Звезда
22	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)
23	146	Аэрокосмический Университет
24	143	Дачная (трамвай)
25	5	Венцека/Фрунзе
26	161	ТЦ Апельсин/завод Тарасова
27	327	Московское шоссе (ул. Георгия Димитрова)
28	190	Аврора (Гагарина)
29	135	ТЦ Аквариум
30	142	ТЦ Аквариум
31	61	Московское шоссе (пр. Кирова)
32	55	Заводское шоссе (ул. 22-го Партсъезда)
33	20	Соколова
34	160	Дом молодёжи
35	175	Александра Матросова (ул. Вольская)
36	17	Алабинская
37	31	Советской Армии (ул. Ново-Садовая)
38	168	Фадеева (ул. Ново-Вокзальная)
39	66	Демократическая (ул. Ташкентская)
40	201	Советской Армии (ул. Антонова-Овсеенко)

Считаем, что выбор ТПУ не зависит от величины сокращения времени поездки, а зависит от количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ. Упорядочим выбор оптимального варианта системы ТПУ по величине β_r согласно формуле 3.23. Решим задачу оптимального выбора мест размещения ТПУ при заданных денежных средствах $E_0 = 8$ млрд. руб. с учетом количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Список ТПУ, рекомендованных к строительству при ограниченных денежных средствах с учетом количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ

№п/п	ТПУ	
	№ТПУ	Название
1	2	3
1	183	Автостанция Аврора
2	257	пл. Кирова
3	297	Железнодорожный вокзал
4	213	Безымянка
5	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)

Продолжение таблицы 4.4.

1	2	3
6	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)
7	163	Барбошина Поляна
8	269	Победа
9	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)
10	122	Железнодорожный вокзал
11	220	пр. Metallургов (ул. Советская)
12	60	Стара-Загора (пр. Кирова)
13	199	Дом печати
14	236	Тухачевского
15	139	КРЦ Звезда
16	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)
17	146	Аэрокосмический Университет
18	212	Вольская
19	143	Дачная (трамвай)
20	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)
21	151	Автовокзал Центральный
22	26	Постников Овраг
23	133	Полевая
24	323	Автостанция Вольская
25	55	Заводское шоссе (ул. 22-го Партсъезда)
26	280	пл. Революции
27	259	Ставропольская (пр. Кирова)
28	190	Аврора (Гагарина)
29	5	Венцека/Фрунзе
30	160	Дом молодёжи
31	142	ТЦ Аквариум
32	175	Александра Матросова (ул. Вольская)
33	319	Революционная (Московское)
34	17	Алабинская
35	31	Советской Армии (ул. Ново-Садовая)
36	201	Советской Армии (ул. Антонова-Овсеенко)
37	168	Фадеева (ул. Ново-Вокзальная)
38	161	ТЦ Апельсин/завод Тарасова
39	61	Московское шоссе (пр. Кирова)
40	51	Красных Коммунаров (ул. 22-го Партсъезда)

Рассмотрим выбор мест размещения ТПУ при ограничении среднего нормативного времени одной поездки.

Выберем такие ТПУ, которые позволят максимально сократить среднее время одной пересадочной поездки по городу за счет создания системы транспортно-пересадочных узлов. За счет сокращения времени пересадочных поездок уменьшится и среднестатистическое время одной (не важно какой) поездки (3.27).

Известно, что нормативное среднестатистическое время поездки по городу с населением 1,2 млн. человек должно составлять 40 мин. [119]. В Самаре среднее время поездки по городу составляет 49,5 мин.

Составим рейтинг пятидесяти ТПУ городского округа Самара в порядке убывания величины равной произведению среднего сокращения времени поездки через эффективный пересадочный узел на число пассажиров, пользующихся этим ТПУ ($\Delta t_r * c_r$) (таблица 4.8). Определим сокращение среднего времени одной поездки по городу при создании системы ТПУ Δt_{cp} , мин (колонка 7 таблицы 4.8).

При строительстве одного ТПУ (183 Автостанция Аврора) получаем сокращение среднего времени одной поездки по городу Самара на 1,1061 мин. При строительстве двух ТПУ (183 Автостанция Аврора, 257 пл. Кирова) получаем сокращение среднего времени одной поездки по городу Самара на 1,8872 мин. При строительстве трех ТПУ (183 Автостанция Аврора, 257 пл. Кирова, 122 Железнодорожный вокзал) получаем сокращение среднего времени одной поездки по городу Самара на 2,5343 мин. При строительстве четырех ТПУ (183 Автостанция Аврора, 257 пл. Кирова, 122 Железнодорожный вокзал, 163 Барбошина Поляна) получаем сокращение среднего времени одной поездки по городу Самара на 3,0981 мин. и так далее. Результаты расчетов вносим в колонку 7 таблицы 4.5. Суточное количество пассажиров, которое перевозится прямыми (беспересадочными) маршрутами 382825,143 человек.

Таблица 4.5 - Сокращение среднего времени одной поездки по городу при создании системы ТПУ

№ п/п	№ ТПУ	Название ТПУ	Пассажиропоток, c_r	Среднее сокращение времени поездки через ТПУ Δt_r , мин	$\Delta t_r * c_r$	Сокращение среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} , мин
1	2	3	4	5	6	7
1	183	Автостанция Аврора	88150,76	10	881507,6	1,1061
2	257	пл. Кирова	78206,33	10	782063,3	1,8872

Продолжение таблицы 4.5.

1	2	3	4	5	6	7
3	122	Железнодорожный вокзал	92154,5	8	737236	2,5343
4	163	Барбошина Поляна	76829,26	9	691463,3	3,0981
5	133	Полевая	60003,01	10	600030,1	3,5513
6	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)	69064,28	8	552514,3	3,9322
7	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)	68801,35	8	550410,8	4,2771
8	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)	71891	7	503237	4,5612
9	269	Победа	62279,45	8	498235,6	4,8114
10	60	Стара-Загора (пр. Кирова)	60913,49	8	487307,9	5,0253
11	236	Тухачевского	54994,64	8	439957,1	5,1632
12	213	Безымянка	50647,14	8	405177,1	5,3063
13	151	Автовокзал Центральный	43761,38	9	393852,4	5,4318
14	26	Постников Овраг	39317,42	10	393174,2	5,5282
15	212	Вольская	48198,67	8	385589,4	5,6251
16	220	пр. Metallургов (ул. Советская)	63937,97	6	383627,8	5,7102
17	199	Дом печати	53717	7	376019	5,7674
18	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)	52732,45	7	369127,1	5,8136
19	280	пл. Революции	40971,51	9	368743,6	5,8594
20	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)	51049,21	7	357344,5	5,8952
21	297	Железнодорожный вокзал	59221,62	6	355329,7	5,9264
22	323	Автостанция Вольская	57061,23	6	342367,4	5,9523
23	259	Ставропольская (пр. Кирова)	44449,25	7	311144,8	5,9762
24	143	Дачная (трамвай)	47989,96	6	287939,8	5,9941
25	67	14-й микрорайон	47353,43	6	284120,6	6,0113
26	139	КРЦ Звезда	47155,39	6	282932,3	6,0221
27	161	ТЦ Апельсин/завод Тарасова	30997,1	9	278973,9	6,0322
28	146	Аэрокосмический Университет	44221,95	6	265331,7	6,0414
29	61	Московское шоссе (пр. Кирова)	32715,4	8	261723,2	6,0472
30	5	Венцека/Фрунзе	29044,36	9	261399,2	6,0543

Продолжение таблицы 4.5.

31	190	Аврора (Гагарина)	36679,66	7	256757,6	6,0612
32	327	Московское шоссе (ул. Георгия Димитрова)	35084,85	7	245594	6,0645
33	319	Революционная (Московское)	37654,56	6	225927,3	6,0691
34	135	ТЦ Аквариум	32214,32	7	225500,2	6,0725
35	55	Заводское шоссе (ул. 22-го Партсъезда)	43232,03	5	216160,2	6,0764
36	142	ТЦ Аквариум	29766,83	7	208367,8	6,0791
37	20	Соколова	40009,63	5	200048,1	6,0813
38	175	Александра Матросова (ул. Вольская)	31440,17	6	188641	6,0832
39	120	Поликлиника (ул. Агибалова)	37383,88	5	186919,4	6,0843
40	160	Дом молодёжи	29977,68	6	179866,1	6,0862
41	168	Фадеева (ул. Ново- Вокзальная)	29151,05	6	174906,3	6,0871
42	66	Демократическая (ул. Ташкентская)	28183,38	6	169100,3	6,0879
43	51	Красных Коммунаров (ул. 22-го Партсъезда)	27697,74	6	166186,5	6,0881
44	17	Алабинская	27685,95	6	166115,7	6,0883
45	31	Советской Армии (ул. Ново- Садовая)	27289,06	6	163734,4	6,0885
46	18	ул. Клиническая	28766,29	5	143831,5	6,0886
47	219	Хлебозавод №5	28677,73	5	143388,6	6,0888
48	201	Советской Армии (ул. Антонова- Овсеенко)	28500,45	5	142502,2	6,0912
49	282	Ленинградская	28203,18	5	141015,9	6,1023
50	141	Киевская	27890,05	5	139450,2	6,1324
		БП	382825,143	0	0	

Исходя из полученной зависимости (рисунок 4.18) следует, что предельным значением является сокращение среднего времени поездки на 6 мин. Далее величина Δt_{cp} меняется незначительно.

На рисунке 4.9 показано размещение транспортно-пересадочных узлов, создание которых позволит сократить среднее время поездки по Самаре на 6,0113 мин.



Рисунок 4.9 – ТПУ, создание которых позволит сократить среднее время поездки по Самаре на 6,0113 мин.

Зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} от числа ТПУ представлена на рисунке 4.10. Например, при $\Delta t_{cp} = 6,0113$ мин. получим среднее время одной поездки по Самаре 43,5 минут. Этот эффект достигается за счет правильно сформированной системы транспортно-пересадочных узлов.

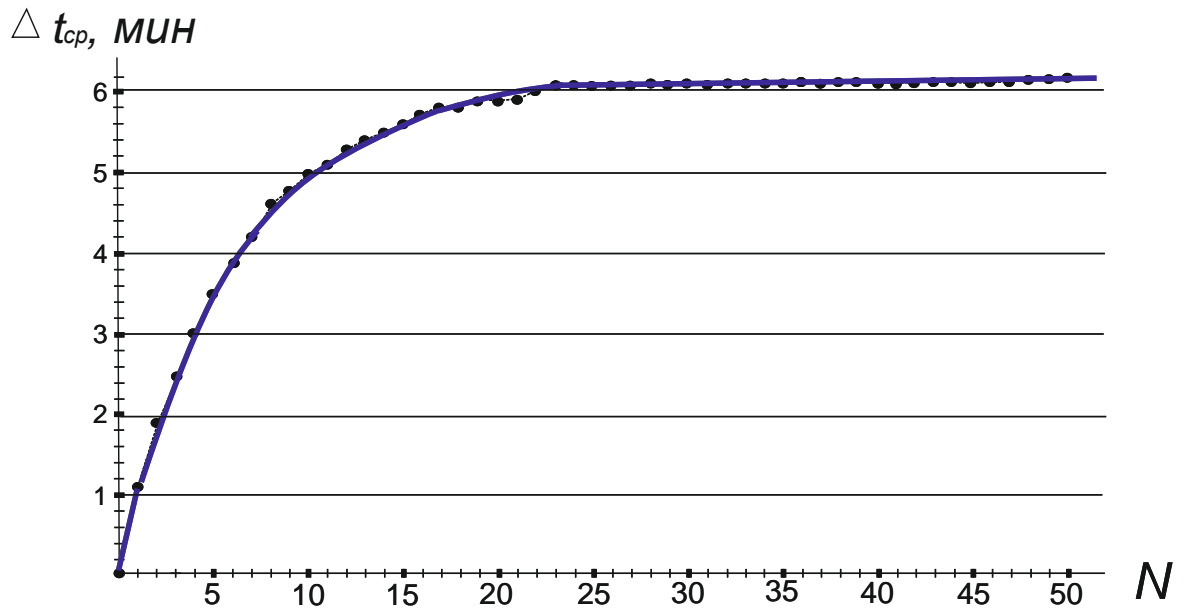


Рисунок 4.10 – Зависимость сокращения среднего времени одной поездки по городу от числа ТПУ

Выполнен ряд расчетов и анализ полученных результатов и выяснено, что при создании ТПУ 183, 257, 122, 163, 133 и 46 среднее время поездки по Самаре сократится примерно на 3,9 мин. Если вместо 46-го ТПУ построить 265, или 292, или 269, или 60, или 236, или 213, или 151, то все равно среднее время поездки по городу сократится примерно на 3,9 мин. Поэтому для принятия решения какой ТПУ создавать используем многокритериальный выбор.

Получая множество подоптимальных вариантов размещения ТПУ оптимальный вариант выбирается на основе многокритериального выбора (формула 3.28). Вектор $z = (z_1, z_2, \dots, z_q)$ определяет количественную величину определенного свойства, связанного с удобством создания транспортно-пересадочного узла именно в этом узле (параграф 3.5).

Для рассматриваемой задачи выбора пересадочного узла среди 46, 265, 292, 269, 60, 236, 213, 151 рассмотрим 3 компоненты вектора z [136, 137]:

z_1 – градостроительно-планировочные условия развития узла;

z_2 – наличие торгового центра и других крупных объектов социальной инфраструктуры на территории ТПУ (возможность организации попутного обслуживания пассажиров);

z_3 – количество видов транспорта в узле (ресурсные возможности транспортной инфраструктуры).

В таблице 4.6 представлены наименования и примерная шкала значений критериев выбора ТПУ $z=(z_1, z_2, \dots, z_q)$.

Таблица 4.6 – Наименования и примерная шкала значений критериев выбора ТПУ

Номер ТПУ	Название ТПУ	Градостроительно-планировочные условия развития узла, z_1	Близость торгового центра и других крупных объектов социальной инфраструктуры, z_2	Количество видов транспорта в узле, z_3
Величина критерия		м ²	0, 1	1, 2, 3, 4
46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)	44319	1	3
265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)	80767	0	2
292	Галактионовская (ул. Красноармейская)	30000	1	2
269	Победа	28441	0	4
60	Стара-Загора (пр. Кирова)	62400	1	2
236	Тухачевского	82000	0	2
213	Безымянка	45000	0	3
151	Автовокзал Центральный	69540	1	2

С использованием программы PARETOSet (параграф 3.5) определяем, что «лучшим» вариантом среди рассматриваемых является создание ТПУ 151 Автовокзал Центральный (приложения Е, Ж).

4.4 Эффективность формирования и функционирования системы транспортно-пересадочных узлов городского округа Самара

Создание новых транспортных объектов таких как ТПУ повлечет за собой изменение структуры пассажиропотока в системе городского общественного транспорта, повышение спроса на городские перевозки общественным транспортом.

Выполнить оценку сети городского пассажирского общественного транспорта после создания системы ТПУ возможно, например, с помощью известных программных продуктов имитационного моделирования [147–148] или программ для ЭВМ, написанных на языке С# [10].

Оценить эффективность системы транспортно-пересадочных узлов Самары можно путем оценки сэкономленного времени пассажиров в пути следования. Рациональное размещение транспортно-пересадочных узлов позволяет сократить время поездки за счет выбора оптимального маршрута через r -й ТПУ и за счет сокращения времени пересадки в самом узле. Величина сокращения времени на пересадку в ТПУ принята исходя из особенностей конкретного узла, размещения всех его элементов, дальности пешего перехода между остановками (таблица 4.5). Среднее сокращение времени поездки через ТПУ Δt_r (таблица 4.5) определялось сравнением маршрутов поездки, которыми в настоящее время пользуются пассажиры и оптимальными маршрутами, найденным по методике, описанной в параграфе 3.3. Сокращение среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} за счет создания системы ТПУ получено с учетом экономии времени на пересадочных маршрутах.

Оценить стоимость сэкономленного времени пассажиров можно двумя способами:

1. Считаем, что оценить затраты времени на поездку возможно связав эти затраты с оценкой стоимости трудовых ресурсов [52].

Средняя зарплата в Самаре в 2019 году составила 35 218 руб. Суточный пассажиропоток на городском общественном транспорте C_{ij} составляет 796889 человек (приложение А).

Годовой экономический эффект, получаемый за счет сэкономленного времени пассажиров (таблица 4.7), перемещающихся по Самаре, определяется

$$\mathcal{E} = 247 \cdot C_{ij} \cdot p \cdot \Delta t_{cp}, \text{ руб.} \quad (4.1)$$

где 247 – число рабочих дней в году;

C_{ij} - суточный пассажиропоток на городском общественном транспорте, пасс.;

p - стоимость сэкономленного времени одного пассажира (3,49 руб./мин. для городского округа Самара);

Δt_{cp} - сокращение среднего времени одной поездки по городу, мин.

2. Годовой экономический эффект от сокращения времени пребывания пассажиров в пути (таблица 4.7), выраженный через валовой региональный продукт определяется

$$\mathcal{E}^* = 247 \cdot C_{ij} \cdot ВРП_{1чел} \cdot \frac{\Delta t_{cp}}{60}, \text{ руб.} \quad (4.2)$$

где 247 – число рабочих дней в году;

C_{ij} – суточный пассажиропоток на городском общественном транспорте, пасс.;

$ВРП_{1чел}$ – валовой региональный продукт, приходящийся на одного человека, руб./час.;

Δt_{cp} – сокращение среднего времени одной поездки по городу, мин.

Таблица 4.7 - Годовой экономический эффект от сокращения времени пребывания пассажиров в пути для городского округа Самара

Сокращение среднего времени одной поездки по городу Δt_{cp} за счет создания системы ТПУ, мин	Годовой экономический эффект, получаемый за счет сэкономленного времени пассажиров, перемещающихся по Самаре (связанный с оценкой стоимости трудовых ресурсов), млн.руб.	Годовой эффект от сокращения времени пребывания пассажиров в пути, выраженный через валовой региональный продукт, млн.руб.
2	1373,88	1401,18
3	2060,83	2101,77
4	2747,77	2802,36
5	3434,71	3502,95
6	4121,65	4203,54

Сокращение времени поездки за счет создания системы транспортно-пересадочных узлов, обеспечение быстрой и комфортной пересадки в ТПУ способствует принятию решения многими жителями отказаться от использования личного транспорта в пользу общественного для осуществления ежедневных трудовых поездок. Дополнительный эффект можно получить от снижения себестоимости перевозок пассажиров за счет сокращения интенсивности автомобильного движения на въезде в Самару и на въезде в центр города.

4.5 Перспективы дальнейших исследований по теме диссертации

Рекомендуется использовать полученные научные результаты в программах и проектах развития городских транспортных систем при разработке основных требований к формированию системы транспортно-пересадочных узлов на городской транспортной сети.

После создания системы ТПУ необходимым является исследование вопросов взаимодействия видов транспорта в узле, развития инфраструктуры, согласования движения всех видов транспорта с целью сокращения времени пересадки и повышения качества транспортного обслуживания населения.

Выводы по главе

1. Разработана методика определения количества и мест размещения транспортно-пересадочных узлов на основе оптимизационной математической модели.

2. Выполнена реализация предлагаемой методики на примере городского округа Самара.

3. Изучены потребности пассажиров городского округа Самара в части транспортного обслуживания, составлена матрица межстаночных корреспонденций.

4. Выбраны оптимальные маршруты следования пассажиров в системе городского общественного транспорта Самары с помощью разработанного программного продукта «Эффективные пересадки». Определены эффективные пересадочные узлы, в которых осуществляются пересадки, составлен их рейтинг по величине пассажиропотока.

5. Осуществлен оптимальный выбор количества и мест размещения ТПУ в Самаре при экономических ограничениях или ограничении среднего нормативного времени одной поездки.

6. Определена эффективность формирования и функционирования системы транспортно-пересадочных узлов городского округа Самара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе разработана оптимизационная математическая модель для решения задачи выбора мест расположения городских ТПУ по критерию среднего времени поездки при ограничениях.

2. Введено понятие «эффективного пересадочного узла». Разработан программный продукт для поиска эффективных пересадочных узлов. Предложен метод оптимального выбора системы ТПУ на основе эффективных пересадочных узлов.

3. Разработана методика определения количества и мест размещения городских транспортно-пересадочных узлов на основе предложенной оптимизационной математической модели. Получив множество подоптимальных вариантов размещения ТПУ оптимальный вариант выбирается на основании многокритериального выбора.

4. Получила дальнейшее развитие методика определения необходимого числа пересадочных узлов (без определения мест их размещения) в зависимости от площади города, подлежащей транспортному обслуживанию, и зоны влияния ТПУ за счет ввода дополнительных параметров. Составлен алгоритм определения количества ТПУ в зависимости от зоны влияния (площади тяготения) каждого узла. Установлены зависимости числа пересадочных узлов от среднего по городу коэффициента пользования транспортом, плотности городской транспортной сети и коэффициента пересадочности.

5. Выполнена реализация методики определения количества и мест размещения городских транспортно-пересадочных узлов на примере городского округа Самара. Установлена зависимость сокращения среднего времени поездки по городу от числа транспортно-пересадочных узлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаренкова, З.В. Пересадочные узлы как ключевые элементы транспортной системы города / З.В. Азаренкова // Обзорная информация. Промышленные и сельскохозяйственные комплексы, здания и сооружения. – М.: ОАО «ВНИИТПИ». Строительство и архитектура, 2008. – 50 с.
2. Азаренкова, З.В. Транспортно-пересадочные узлы в планировке городов: монография / З.В. Азаренкова. – М.: ОАО Типография «Новости», 2011. – 96 с.
3. Алексеев, В.Е. Нахождения кратчайших путей в графе / В.Е. Алексеев, В.А. Таланов // Графы. Модели вычислений. Структуры данных. – Нижний Новгород: Издательство Нижегородского гос. университета, 2005. – С. 236 – 237.
4. Алексеев, Ю.В. Система автотранспортных магистралей мегаполиса / Ю.В. Алексеев // патент на изобретение РФ № 102219, E01C 1/04, опубл. 20.02.2011.
5. Алексеев, Ю.В. Система автотранспортных магистралей Москвы / Ю.В. Алексеев // патент на изобретение РФ № 95338, E01C 1/00, опубл. 27.06.2010.
6. Артынов, А.П. Автоматизация управления транспортными системами / А.П. Артынов, В.Н. Ембулаев, А.В. Пупышев, В.В. Скалецкий. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
7. Артынов, А.П. Пригородные пассажирские перевозки / А.П. Артынов, Н.У. Дмитриев // 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 159 с.
8. Белинская, И.В. Методология проведения укрупненного расчета технико-экономических показателей работы транспортно-пересадочного узла / И.В. Белинская // Известия Санкт-петербургского государственного аграрного университета: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Санкт-Петербург), 2016. – С.212 – 216.

9. Бранзия, Р.Л. Экономические аспекты организации интермодальных пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах (на примере Московского мегаполиса): дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Бранзия Роланд Лаврентьевич. – М., 2009. – 155 с.

10. Брусянин, Д.А. Система комплексной оценки вариантов маршрутной сети общественного пассажирского транспорта / Д.А. Брусянин, В.М. Сай // свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU 2015617968, 27.07.2015. Заявка №2015614659 от 02.06.2015.

11. Булгакова, Е.А. Современные тенденции проектирования транспортно-пересадочных узлов в инфраструктуре мегаполиса / Е.А. Булгакова, А.А. Савичева // Евразийский союз ученых. – № 4(13). – 2015.

12. Булычева, Н.В. Модели размещения транспортно-пересадочных узлов городского пассажирского транспорта / Н.В. Булычева, Н.А. Калюжный, Л.А. Лосин // Финансы и бизнес. – №1. – 2018. – С.54-63.

13. Бычкова, А.А. Методы повышения уровня сервисного обслуживания на железнодорожных вокзалах: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Бычкова Анна Алексеевна. – М., 2013. – 144 с.

14. Вакуленко, С.П. Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта: учебное пособие / С.П. Вакуленко и др.; под ред. Вакуленко С.П. - М.: ФГБОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2013. – 263 с.

15. Вакуленко, С.П. О необходимости разработки концепции формирования и развития транспортно-пересадочных узлов как основы мультимодальных пассажирских перевозок / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова // Труды Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта», В 2т. Т. 2. М.: МИИТ, 2013. – 333 с. – С. 52-55.

16. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / А.В. Гасников и др.; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МЦНМО, 2012. – 376 с.

17. Власов, Д.Н. Научно-методологические основы развития агломерационных систем транспортно-пересадочных узлов (на примере Московской агломерации): автореф. дисс. докт. технич. наук: 05.23.22 / Власов Денис Николаевич. – М., МГСУ, 2013. – 37 с.

18. Власов, Д.Н. Развитие транспортно-планировочной структуры пересадочных узлов и прилегающих городских территорий / Д.Н. Власов // Сборник «Проблемы инновационного биосферно-совместимого социально-экономического развития в строительном, жилищно-коммунальном и дорожном комплексах: материалы 3-й междунар. науч.-практ. конф. (9-10 апреля 2013 г. Брянск) в 2-х томах, под ред. Городков А.В., Плотников В.В. и др., т.2, Брянская государственная инженерно-технологическая академия, Брянск. – 2013. – С. 157 – 162.

19. Власов, Д.Н. Транспортно-пересадочные узлы: монография / Д.Н. Власов // М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. Исследоват. Моск. Гос. Строит. Ун-т: – 2-е изд. – М.: Изд-во Моск. Гос. Строит. Ун-та. – 2017. – 192 с.

20. Власов, Д.Н. Структура и состав нормативных требований к городским транспортно-пересадочным узлам / Д.Н. Власов // Градостроительство. – 2015. – №3 (37). – С. 11 –19.

21. В Ставропольском крае построят ТПУ [Электронный ресурс] / Газета «Гудок», выпуск № 61 (25496), 10.04.2014 – 2014. – Режим доступа: <http://www.gudok.ru/>

22. Галабурда, В.Г. Единая транспортная система: Учеб. для вузов/ В.Г. Галабурда, В.А. Персианов, А.А. Тимошин и др.; Под ред. В.Г. Галабурды. // 2-е изд. с измен. и дополн. — М.: Транспорт. – 2001. – 303 с.

23. Гвоздяков, В.С. Влияние организации и закономерностей движения людских потоков на пространственную организацию пересадочных узлов метрополитена / С.В. Гвоздяков // Совершенствование транспортных систем городов (проектирование и планирование) / Тезисы сообщений Всесоюзного науч. – техн. семинара. – М., 1989. – С.43 – 45.

24. Гвоздяков, В.С. Методика расчета пересадочных узлов / В.С.Гвоздяков // Метрострой. – №5. – 1986. – С.19–21.
25. Глозман, О.С. Развитие транспортно-пересадочных узлов в подземном пространстве ФГБОУ ВО «Московский архитектурный институт (Государственная академия)» // О.С. Глозман, TRANSPORT BUSINESS IN RUSSIA. – №4. – 2017. – С .86 – 88.
26. Голоскоков, В.Н. Инновационная логистика в реформировании и развитии сферы услуг пассажирского железнодорожного транспорта: автореф. дисс. д-ра. эконом. наук: 08.00.05 / Голосков Владимир Николаевич. – Ростов, Ростовский государственный строительный университет, 2008. – 43 с.
27. Голоскоков, В.Н. Инновационная логистика на железнодорожном транспорте России / Монография – М.: Креативная экономика, 2011. – 504 с.
28. Голубев, Г.Е. Многоуровневые транспортные узлы / Г.Е. Голубев – М.: Стройиздат. – 1981. – 152 с.
29. Голубев, Г.Е. Развитие систем транспортных сооружений и узлов в крупнейших и крупных городах / Г.Е. Голубев, Ю.А. Федутинов, З.В. Азаренкова, О.Ш. Тер-Восканян // Обзорная информация. Архитектура, районная планировка, градостроительство. — М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре. – Вып. 7. – 1985. – С.47.
30. Голубев, П.В. Выбор параметров пассажирских устройств при организации пригородно-городских перевозок в узле: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Голубев Петр Владимирович. – М., 2005. – 165 с.
31. Гордеев, Э. Н. Производящие функции в задаче о ранце/ Э.Н.Гордеев, В.К. Леонтьев // Доклады Академии наук. Т. 481. - № 5. – 2018. – С. 478 – 480.
32. Гусев, Б.В. Транспортный комплекс города, мегаполиса и способ регулирования и разгрузки транспортных потоков города, мегаполиса / Б.В.Гусев, С.Н.Селиванов // патент на изобретение РФ № 2393287, E01C 1/00, опубл. 27.06.2010.
33. Данилина, Н.В. Научно-методические основы формирования системы «перехватывающих» стоянок в крупнейших городах (на примере города Москвы):

автореф. дисс. канд. технич. наук: 05.23.22 / Данилина Нина Васильевна. – Москва, МГСУ, 2012. – 20 с.

34. Данилина, Н.В. Обеспечение условий доступа маломобильных групп граждан к инфраструктуре транспортно-пересадочных узлов / Н.В.Данилина, С.В.Привезенцева // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. Т. 20. - № 1. - 2018. - С. 82 – 90.

35. Доенин, В.В. Моделирование транспортных процессов и систем / В.В. Доенин // М.: Изд. «Компания Спутник +». -2012. – 288 с.

36. Дорофеева. Анализ проблем исторической застройки Хабаровска. Новые идеи нового века – 2014 / М.А.Дорофеева, А.С. Хицунова, Е.Б.Рябкова // материалы Четырнадцатой Международной научной конференции, 1-й том / Тихоокеан. гос. ун-т. – Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. - 2014. – с.82-86.

37. Дуи, Ань Ха. Направления преобразования и развития приречных территорий города Ханоя (Вьетнам): автореф. канд. архитектуры: 05.23.22 / Ха Дуи Ань. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет – 2013. – 24 с.

38. Дун, Ань. Формирование кольцевой агломерации Хуа-Бао-О-Юй (КНР): автореф. канд. архитектуры: 05.23.22 / Ань Дун. – Санкт-Петербург, 2013. – 26 с.

39. Евреенова, Н.Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Евреенова Надежда Юрьевна. – М, 2014. – 185 с.

40. Евстигнеев, В.А. Итеративные алгоритмы глобального анализа графов. Пути и покрытия. Применение теории графов в программировании / В.А. Евстигнеев //Под ред. А. П. Ершова. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. – 1985. – С. 138 – 150.

41. Епишкина, К.М. Оценка общественной эффективности рельсового транспорта мегаполиса / К.М. Епишкина // Сибирский государственный университет путей сообщения. Регион: экономика и социология, – №1. – 2010. – С. 255 – 272.

42. Есипов, Б.А. Методы исследования операций: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 304 с.
43. Ефремов, И.С. Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта. Часть 1. Теория городских пассажирских перевозок и АСУ городского транспорта / И.С. Ефремов, Г.А. Гольц. – М.: МЭИ. – 1976. – 196 с.
44. Железнов, Д.В. Значение транспортно-пересадочных узлов для жителей района «Кошелев-проект» в Самаре / Д.В. Железнов, С.А. Леонова. Вестник транспорта Поволжья. – № 3 (69). – 2018. – С. 46 – 51.
45. Железнов, Д.В. О транспортных моделях Самарской области / Д.В. Железнов, С.А. Никищенко // Вестник транспорта Поволжья. – №5 (53). – 2015. – С.79 – 85.
46. Железнов, Д.В. Определение необходимого количества транспортно-пересадочных узлов в городах России / Д.В. Железнов, С.А. Леонова // Вестник транспорта Поволжья. – № 4 (64). – 2017. – С. 53 – 59.
47. Железнов, Д.В. Развитие транспортно-пересадочных узлов / Д.В. Железнов, С.А. Леонова // Транспортно-логистическая интеграция Забайкальского края в условиях российско-Китайско-Монгольского трансграничья: материалы междунар. научн.-практ. конф, Чита, 22 апр. 2016 г. / под науч. ред. Л.Б. Ковальчук. – Иркутск: Изд-во БГУ, 2016. – 148 с. – С.58 – 63.
48. Журавская, М.А. Пространственные решения организации ТПУ, важный элемент концепции дружелюбной транспортно-логистической сети города / М.А. Журавская, Я.А. Бучельникова, А.В. Кондратьева // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – Екатеринбург: ФГБОУ «УрГУПС». – 2017. – №3. – С.53 – 62.
49. Журавская, М.А. Моделирование работы транспортно-пересадочного узла мегаполиса как трехфазной системы массового обслуживания / М.А. Журавская, А.Л. Казаков, М.Л. Жарков, П.А. Парсюрова // Транспорт Урала. – №3 (46). – 2015. – с.17-22.

50. Зотов, В.В. Развитие транспортно-логистических систем мегаполисов на основе функционально-специализированного подхода: дисс. канд. экономических наук: 08.00.05 / СПбГЭУ. Санкт-Петербург, 2015 г. – 129 с.

51. Калашникова, Ю.С. Особенности построения транспортных инфраструктур в составе линейно-протяженных градостроительных образований (на примере г. Волгограда): дисс. канд. технич. наук: 05.23.22 / Калашникова Юлия Сергеевна. – Волгоград, 2012. – 171 с.

52. Калюжный, Н. А. Методика оптимизации размещения транспортно-пересадочных узлов в системе городского пассажирского транспорта / Дисс. канд. техн. наук // Н.А. Калюжный. – СПб.: ПГУПС. – 2019. – 254 с.

53. Калюжный, Н.А. Обоснование приоритетности мест размещения транспортно-пересадочных узлов в структуре агломерации методом математического моделирования / Н.А. Калюжный // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 5. – С.142-148.

54. Карманов, В.Г. Математическое программирование // В.Г. Карманов. — М.: Наука. – 1986. – 288 с.

55. Ковалева, Н.А. Пространственно-технологическое развитие городских пассажирских транспортных систем: автореф. дисс. канд. технич. наук / Н.А. Ковалева // 05.22.01. – Ростов-на-Дону, 2015. – 22 с.

56. Козлов, П.И. Оценка параметров качества обслуживания пассажиров в транспортно-пересадочных узлах / П.И. Козлов, Д.Н. Власов // Вестник МГСУ. Т. 12. – Вып. 5 (104). – С. 529 – 536.

57. Коротаев, А.В. Урбанизация и политическое развитие Мир-Системы: сравнительный количественный анализ /А.В. Коротаев, Л.Е. Гринин // Малков С.Ю., Гринин Л.Е., Коротаев А.В. (ред.). История и математика: Макроисторическая динамика общества и государства. – М.: КомКнига/URSS. – 2007. – С. 21 – 39.

58. Короткий, А.А. Транспортный мультимодальный комплекс / А.А. Короткий, В.Б. Маслов и др. // патент на полезную модель РФ № 113220, В61В 1/00, В61В 15/00, Е01С 1/04, опубл. 10.02.2012.

59. Короткий, А.А. Транспортный мультимодальный комплекс / А.А. Короткий, В.Б. Маслов и др. // патент на изобретение РФ № 2471661, В61В 1/00, В61В 15/00, Е01С 1/04, опубл. 10.01.2013.

60. Кофман, А. Методы и модели исследования операций. Целочисленное программирование / А. Кофман, А. Анри-Лабордер. – М., «Мир». – 1977.

61. Кочнев, Ф.П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте / Ф.П. Кочнев. – М.: Транспорт, 1980. – 496 с.

62. Курицкий, Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0. / Б.Я. Курицкий – СПб.: ВHV – Санкт-Петербург. – 1997. – 384 с.

63. Кучеренко, Н.Н. Новые подходы к проектированию транспортных пересадочных узлов в городах / Н.Н. Кучеренко, Е.А. Рейцен // Материалы XI международной (четырнадцатой Екатеринбургской) научно-практической конференции «Проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния». – Екатеринбург: изд-во АМБ. – 2005. – 245 с.

64. Левадная, Н.В. Влияние пригородного железнодорожного транспорта на транспортную систему городов (на примере Санкт-Петербурга): автореф. дисс. канд. технич. наук: 05.22.01 / Левадная Наталья Викторовна. – Санкт-Петербург. – 2005. – 25 с.

65. Левковская, Е.П. Транспортно-планировочные принципы организации пересадочных узлов пригородно-городского сообщения: автореф. дисс. канд. технич. наук: 18.00.04 / Левковская Елизавета Павловна. – М. – 1991. – 16 с.

66. Леонова, С.А. Выбор мест расположения пересадочных узлов сети городского пассажирского транспорта / С.А. Леонова // Транспорт Урала. – 2019. – № 4 (63). – С. 101 – 105.

67. Леонова, С.А. Математическое моделирование сетей городского транспорта / С.А. Леонова // Материалы 5-й международной научно-практической конференции «Технологии, материалы, транспорт и логистика: перспективы развития - ТМТЛ'19». – Луганск: Изд-во ЛНУ им.В.Даля. – 2019. – №6 (24). – С.111 – 115.

68. Леонова, С.А. Научные исследования в области транспортно-пересадочных узлов с участием железнодорожного транспорта в Самарском регионе / С.А. Леонова // «Железнодорожный транспорт: наука, техника, образование». VI Всероссийская научно-практическая конференция 25 ноября 2016 г. – Самара; Рузаевка: филиал СамГУПС в г. Рузаевке. – 2016. – 168 с. – С.8 – 11.

69. Леонова, С.А. Оптимальный выбор мест расположения транспортно-пересадочных узлов / С.А. Леонова // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике / Сб. научных трудов III международной научно-практ. конференции. – Ростов-на-Дону. – 2019. – С. 214 – 216.

70. Леонова, С.А. О роли транспортно-пересадочного узла «Смышляевка» в системе городского пассажирского транспорта / С.А. Леонова // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч. 2 / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ. – 2018 – 315 с. – С.286 – 288.

71. Леонова, С.А. О формировании системы транспортно-пересадочных узлов городского округа Самара / С.А. Леонова // Железнодорожный транспорт. – № 8. – 2019. – С. 58 – 61.

72. Леонова, С.А. Подходы и методы в области создания, развития и функционирования транспортно-пересадочных узлов / С.А. Леонова // Материалы международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» – Самара: Изд-во СамГУПС. – 2017. – С.99 – 101.

73. Леонова, С.А. Проблемы и перспективы развития ТПУ в России / С.А. Леонова // Материалы международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» – Самара: Изд-во СамГУПС. – 2016. – №1. – С.109 – 112.

74. Леонова, С.А. Развитие транспортной системы Самары / С.А. Леонова // Научные исследования и разработки молодых ученых: сборник материалов VII

Международной молодежной научно-практической конференции / Под общ. ред. С.С. Чернова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2015. – С.113 – 116.

75. Леонова, С.А. Транспортно-пересадочный узел «Пятилетка-Кировская» / С.А. Леонова // Наука и образование: достижения и перспективы (2018, Саратов). Материалы I Международной научно-практической конференции, 30 мая 2018 / редкол.: Л.И. Чирикова [и др.]. – Самара; Саратов: Филиал СамГУПС в г.Саратове. – 2018. – С.26 – 30.

76. Леонова, С.А. Транспортно-пересадочные узлы в местах пересечения кольцевой железной дороги и других видов наземного городского общественного транспорта в Казани / С.А. Леонова // Материалы международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту». – Самара: Изд-во СамГУПС, 2018. – С.93 – 95.

77. Леонтьев, В.К. Производящие функции в задаче о ранце. / В.К. Леонтьев, Э.Н. Гордеев // Доклады Академии наук. – Том 481. – № 5. – 2018. – С. 478 – 480.

78. Линейное и нелинейное программирование: Учебное пособие / И.Н. Ляшенко, Е.А. Карагодова [и др.]; под общ. ред. И.Н. Ляшенко. – Киев: Вища школа. – 1975. – 372 с.

79. Лозе, Д. Моделирование транспортного предложения и спроса на транспорт для пассажирского и служебного транспорта – Обзор теории моделирования [Электронный ресурс] / Д. Лозе. – Режим доступа: <http://www.ptv-vision.ru/assets/Uploads/data/publication-Lohse-Obsor-teorii-modelirovaniya.pdf>

80. Ломакина, Д.Ю. Концепция устойчивого развития в стратегии градостроительства Франции: автореф. дисс. канд. архитектуры: 05.23.22 / Ломакина Дарья Юрьевна. – М., 2010. – 26 с.

81. Ломотько, Д.В. Пути повышения уровня сервиса в условиях транспортно-пересадочных узлов скоростных железнодорожных магистралей / Д.В. Ломотько, М.С. Листопад: Сборник научных работ УкрГУЖТ. – 2017. – Вып. 168. – С.4 – 9.

82. Лужков, Ю.М. Транспортный комплекс мегаполиса / Ю.М. Лужков, Ю.С. Соломонов. и др. // патент на изобретение РФ № 2181328, В61В 13/04, В61В 5/00, E01С 1/00, опубл. 20.04.2002.
83. Ляшенко, И.Н. Линейное и нелинейное программирование / И.Н. Ляшенко. – Киев. – 1975.
84. Маташова, М.А. Эколого-градостроительная оптимизация приречных территорий крупного города (на примере г. Хабаровска): автореф. дисс. канд. архитектуры: 05.23.22 / Маташова Марина Александровна. – Санкт-Петербург, 2011. – 22 с.
85. Михайлов, А.Ю. Система критериев оценки транспортно-пересадочных узлов / А.Ю. Михайлов, Т.А. Копылова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – № 7 (102). – 2015. – С. 168 – 173.
86. Негрей, В.Я. Пропускная и перерабатывающая способность сооружений и устройств железнодорожного транспорта / В.Я. Негрей и др. // Учебное издание. – Гомель: БелГУТ. – 2013. – 183 с.
87. Опыт Японии по развитию транспортно-пересадочных узлов, сентябрь 2014. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.undergroundexpert.info/empty/item/1055-опыт-японии-по-разvitiyu-transportno-peresadochnykh-uzlov>
88. О формировании транспортно-пересадочных узлов в городе Москве (с изменениями на 22 сентября 2015 года) / Постановление Правительства Москвы от 6 сентября 2011 г. № 413-ПП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>
89. Пазойский, Ю.О. Организация пригородных перевозок на железнодорожном транспорте / Ю.О. Пазойский. – М.: МИИТ. – 1999. – 193 с.
90. Пазойский, Ю.О. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения) / Ю.О. Пазойский, В.Г. Шубко, С.П. Вакуленко. – М.: УМЦ ЖДТ. – 2009. – 342 с.
91. Персианов, В.А. Проект «Городские железные дороги России» / В.А. Персианов, П.В. Куренков и др. // Вестник транспорта. – 2014. – № 5. – С. 2 – 10.

92. Персианов, В.А. Проект «Городские железные дороги России» / В.А. Персианов, П.В. Куренков и др. // Вестник транспорта. – 2014. – № 6. – С. 6 – 11.

93. Петраков, Г.П. Организация взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта в транспортных узлах на основе мультимодальных логистических центров: автореф. дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Петраков Геннадий Петрович. – Москва. – 2014. – 25 с.

94. Пивоваров, Ю.Л. Урбанизация России в XX веке: представления и реальность. «Общественные науки и современность» / Ю.Л. Пивоваров – 2001. – №6 – С. 101 – 113.

95. Пиир, М.А. Вопросы формирования системы пассажирского транспорта крупного города / М.А. Пиир // Практика разработки и реализации генеральных планов городов. – Киев: Будівельник, 1975. – С. 96.

96. Пиир, М.А. Определение необходимого количества пересадочных узлов при формировании комплексной транспортной системы крупного города / М.А. Пиир // Труды второй Свердловской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы развития транспортных систем крупного города» / Свердловский институт народного хозяйства. – 1974. – Вып. 1: Методологические аспекты исследований и проектирования транспортных систем городов и агломераций. Исследования закономерностей расселения и передвижения населения в городах и агломерациях. – С. 21 – 24.

97. Повышение качества транспортного продукта для жителей Самарской области [Электронный ресурс] / Презентация заместителя начальника Куйбышевской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» Блохина С.Г. – 2014. – Режим доступа: <http://www.samara2025.ru/files/02.transport.pdf>

98. Поносов, Ю.К. Методологические основы формирования многоуровневых транспортных систем: автореф. дисс. д-ра технич. наук / Ю.К. Поносов // 05.22.01. – Москва. – 2009. – 38 с.

99. Поносов, Ю.К. Моделирование развития транспортной системы России / Ю.К. Поносов, С.А. Савушкин. – М., 2002. – 112 с.

100. Постановление Правительства Москвы от 06 сентября 2011 г. № 413 – ПП «О формировании транспортно-пересадочных узлов в городе Москве» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/537907102>

101. Постановление Правительства Москвы № 649-ПП от 15 ноября 2012 года «О внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 6 сентября 2011 г. №413-ПП» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mosopen.ru/document/649_pp_2012-11-15

102. Постановление от 27 ноября 2013 года N 677 «Об утверждении государственной программы Самарской области "Развитие транспортной системы Самарской области (2014 - 2025 годы)" (с изменениями на 27 ноября 2017 года) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/464008535>

103. Правдин, Н.В. Прогнозирование пассажирских потоков (методика, расчеты, примеры) / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей // Учебное издание.- М.: Транспорт. – 1980. – 223 с.

104. Правдин, Н.В. Технология работы вокзалов и пассажирских станций / Н.В. Правдин, Л.С. Рябуха, В.И. Лукашев. – М.: Транспорт. – 1990. – 319 с.

105. Прокофьева, Е.Ю. Социально-экологические инновации в планировке загородных поселений (на примере Московской области): автореф. дисс. кан-та архитектуры: 05.23.22 / Прокофьева Екатерина Юрьевна / Московский архитектурный институт (Государственная академия). – Москва. – 2010. – 22 с.

106. Пугачев, И.Н. Теоретические принципы и методы повышения эффективности функционирования транспортных систем городов: автореф. дисс. д-ра технич. наук: 05.22.01 / И.Н. Пугачев. – Екатеринбург. – 2010. – 40 с.

107. Резер С.М. Логистика пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте / Резер С.М. – М.: ВИНТИ РАН. – 2007. – 516 с.

108. Рейцен, Є.О. Міські транспортно-пересадочні вузли і логістика / Є.О. Рейцен, К.О. Томкевич // Містобудування та територіальне планування, №17. – К: 2004. – С.276 – 290.

109. Рекомендации по проектированию общественно-транспортных центров (узлов) в крупных городах. Разработаны ЦНИИП градостроительства Госстроя России (руководитель темы – канд. техн. наук, член Союза архитекторов России З.В. Азаренкова, Л.Н. Степанова). Одобрены письмом Госстроя России от 6 марта 1997 г. № 2-13/60 ПП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mtsk.mos.ru/Handlers/Files.ashx/Download?ID=11882>

110. Саати, Т. Целочисленные методы оптимизации и связанные с ними экстремальные проблемы / Т. Саати. – М.: – Мир. – 1973. – 302 с.

111. Садовский, А.Л. Беспересадочная модульная транспортная система / А.Л. Садовский: патент на полезную модель РФ № 58983, В60F 1/00, опубл. 10.12.2006.

112. Самарцев, П.В. Совершенствование организации перевозок пассажиров в крупных городах Сибири и Дальнего Востока: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Самарцев Павел Владимирович; СГУПС. – Новосибирск. – 2005. – – 233 с.

113. Свод правил СП 42.13330.2011 "СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений". Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* / (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 28 декабря 2010 г. N 820).

114. Селиверстов, Я.А. Модели управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды / Я.А. Селиверстов // дисс. к-та технич. наук. – 2015.

115. Семенов, Е.И. Рациональное совмещение транспортно-пересадочных узлов с торгово-развлекательными центрами / Е.И. Семенов // Научное обозрение, №13. – 2016. – с.271 – 274.

116. Смоляр, И.М. Принципы градостроительного проектирования и предложения по разработке генеральных планов городов в новых социально-экономических условиях / И.М.Смоляр — М.: Российская Академия архитектуры и строительных наук. – 1995. – 95 с.

117. Смыковская, Г.Ю. Формирование систем транспортно-планировочных узлов в крупнейших городах / Г.Ю. Смыковская // Проектирование сетей городского транспорта в генеральных планах городов. / Сб. научн. трудов Градостроительства. – М. – 1973. – С.72 – 81.

118. Солнцев, Е.А. Методические основы территориально-пространственного развития объектов олимпийских поселений (на примере транспортной инфраструктуры олимпийских объектов г. Сочи): автореф. канд. технич. наук: 05.23.22 / Солнцев Евгений Александрович. – Москва, 2010. – 21 с.

119. Сорокин, А.А. Моделирование городских пассажирских перевозок: дисс. канд. экономических наук: 08.00.13 / Сорокин Анатолий Александрович. – Ставрополь, Ставропольский государственный университет. – 2005. – 198 с.

120. Стратегия развития транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spbtrd.ru/program-development/>.

121. Тер-Восканян, О.Ш. Формирование системы общественно-транспортных узлов крупнейшего города: Автореферат дисс. канд. арх. наук / 18.00.04 / О.Ш. Тер-Восканян, – М., 1989. – 24 с.

122. Терехова, И. Долгая дорога на работу ведет к профессиональному выгоранию [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.vokrugsveta.ru/news/227235/>

123. Терзи, В.И. Повышение роли пассажирских перевозок в транспортных узлах мегаполисов / В.И. Терзи, П.В. Самарцев. Сб. статей региональной научно-практической конференции «Вузы Сибири и Дальнего Востока – Транссибу – 2002. – С. 102 – 104.

124. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: офиц. текст распор. Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734-р: на 11.06.2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://government.ru/dep_news/13190/.

125. Транспортные коллапсы крупных мегаполисов Самарской области: проблемы и решения. Аналитическая справка по результатам исследования /

СГОО «Исследовательская группа «Свободное мнение». Общественная палата Самарской области. Самара, Тольятти. – 2014 г. – 40 с.

126. Усанов, Б.П. Исследование закономерностей и методов совершенствования инженерной устойчивости природно-технических систем в развитии Санкт-Петербургской агломерации: автореф. доктора технич. наук: 05.23.22 / Усанов Борис Павлович. – Санкт-Петербург, 2009. – 48 с.

127. Федоров, В.П. Анализ проблем транспортной системы центра крупного города: опыт применения методов математического моделирования / В.П. Федоров, О.М. Пахомова, Л.А. Лосин, Н.В. Булычева // Управление развитием территории. – №4. – 2009. – С.18 – 25.

128. Федоров, С.В. Совершенствование методов проектирования транспортных сетей и маршрутных систем крупных городов: автореф. дисс. канд. технических наук: 05.22.01 / С.В. Федоров – Москва. – 2011. – 20 с.

129. Федосеев, А.В. Способ регулирования и разгрузки пассажирских, грузопассажирских и грузовых потоков транспортного комплекса города / А.В. Федосеев // патент на изобретение РФ № 2181399, E01C 1/00, опубл. 20.04.2002.

130. Фишельсон, М.С. Городские пути сообщения: учебное пособие / М.С. Фишельсон. – М.: Высш. школа, 1980. – 296 с.

131. Холщевников, В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дисс. д-ра технических наук: 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич. – Москва, 1983. – 486 с.

132. Хомицкая, А.А. Сокращение затрат времени на пересадку в транспортно-пересадочных узлах при трудовых поездках населения / А.А. Хомицкая // Архитектурно-планировочное формирование промышленных предприятий в застройке городов Поволжья. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та. – 1981. – С.37.

133. Хомицкая, А.А. Транспортно-пересадочные узлы в центральных районах города / А.А. Хомицкая // Задачи совершенствования организации движения в центрах городов / Тезисы респ. научн.- техн. конф. – Вильнюс. – 1980. – с.46 – 48.

134. Цибулка, Я. Качество пассажирских перевозок в городах.: Пер. с чеш. / Я. Цибулка. – М.: Транспорт. – 1987. – 239 с.

135. Черепок, А. Самара стала лидером по количеству автомобилей на душу населения [Электронный ресурс] / Аналитическое агентство «АВТОСТАТ». Данные от 13 апреля 2017 г. – Режим доступа: <http://drugoigorod.ru/carleader-13-04-17/>

136. Шагимуратова, А.А. Методика оценки развития транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта / А.А. Шагимуратова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» – Том 9. – №1. – 2017.

137. Шагимуратова, А.А. Развитие системы транспортно-пересадочных узлов железнодорожного транспорта с учетом градостроительных факторов: дисс. канд. технич. наук: 05.23.22 / Шагимуратова Анна Анатольевна. – Москва. – 2017. – 167 с.

138. Швецов, В.И. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей / В.И. Швецов, А.С. Алиев. – М.: URSS. – 2003. – 64 с.

139. Шемякина, В.А. Градостроительные структуры новых городов Великобритании (конец XIX – начало XXI века): автореф. канд. архитектуры: 05.23.22 / Шемякина Вероника Александровна. – М, 2014. – 25 с.

140. Шишов, Д.С. Мультимодульный пересадочный узел как элемент транспортной структуры города / Д.С. Шишов, Н.Н. Дорофеева // ТОГУ - Хабаровск, изд-во Тихоокеан. гос. ун-та. – 2012. – С.50 – 53.

141. Шмыголь, И.В. Перспективы развития транспортно-пересадочных узлов в Российской Федерации [Электронный ресурс] / Транспорт РФ №4 (53) 2014 // Портал для специалистов транспортной отрасли – Режим доступа: <http://www.rostransport.com/>

142. Шубко, В.Г. Совершенствование пассажирских перевозок / В.Г. Шубко, В.С. Колпаков. – М.: Транспорт. – 1983. – 191 с.

143. Шумилов, В.Н. Новосибирск: Генеральный план развития города на период 2007 – 2030 / В.Н. Шумилов, В.Т. Арбатский, С.В. Боярский – Новосибирск: Сибирское книжное издательство. – 2007. – 320 с.

144. Щурова, В.А. Роль мережі транспортно-пересадочних вузлів у функціонально-планувальній структурі міста / В.А. Щурова // Містобудування та територіальне планування. – № 13. – К.: КНУБА. – 2002. – С. 428 – 255.

145. Юнцзюнь, Г. Градостроительное планирование развитие функционально-планировочной структуры чжэнчжоуской агломерации (провинция Хэнань, Китай): автореф. канд. архитектуры: 05.23.22 / Го Юнцзюнь. Санкт-Петербург, 2015. – 32 с.

146. Якимов, М.Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города: автореф. дисс. д-ра технических наук: 05.22.01 /М.Р Якимов – М., 2011. – 46 с.

147. Якимов, М.Р. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М.Р. Якимов, А.А. Арепьева. – М.: Логос. – 2016. – 280 с.

148. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов – М.: Логос. – 2013. – 188 с.

149. Bracco, S. Creation of hubs for sustainable mobility / S. Bracco, M. Longo, A. Pastorelli, S. Ramundo // 2nd European Conference on Electrical Engineering and Computer Science, EECS 8910080. – 2018. – pp. 296 – 301.

150. Ciommo, F. Interchange place: Sustainable and Efficient Urban Transport Interchanges / Floridea Di Ciommo, Andrés Monzón, Ana BarberanChapter / In book: CITY-HUBS. – 2016. – pp. 37 – 50.

151. Chen, Y. Research on the General Layout of Passenger Transport System in Zhanjiang Railway Hub Based on New Concept / Y. Chen, S. Cai, H. Yan // Journal of Railway Engineering Society, Volume 36, Issue 10, 1. – 2019. – pp. 94 –101.

152. Danilina, N. Traffic flow organization in urban transport transit hubs / N. Danilina, I. Teplova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 365(2), 022015. – 2018.

153. Dell'Asin, G. Key quality factors at urban interchanges. / G. Dell'Asin, A. Monzón., M. E. Lopez-Lambas // Proceedings of the ICE – Transport, 1 – 10 . – 2014.

154. Jiang, JL. Study on Influencing Factors of Passenger Transfer and Transfer Volume in Comprehensive Passenger Transport Hub / JL. Jiang, CG. Jing // *Advances in transportation, PTS 1 AND 2 (505-506)*. – 2014. - pp. 1194 – 1198.
155. Fan, B. Integrated optimization of urban agglomeration passenger transport hub location and network design / Bofeng Fan, Yuling Yang, Liang Li // *URASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 168. – 2018.
156. Fen, L-L. Analysis of Urban Rail Transit Seamless Transfer Standard / Liu Li Fen, Wang Wen // *MATEC Web of Conferences* 81, 03002. – 2016.
157. Harney, D. Pedestrian modeling: current methods and future directions / D. Harney // *Road & Transport Research*. 11 (4). – 2002. – pp. 2 – 12.
158. Heddebaut, O. City-hubs for smarter cities. The case of Lille "EuraFlandres" interchange / O. Heddebaut // *European transport research review*, Volume 10. – 2018.
159. Helbing, D. Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations, *Pedestrian and Evacuation Dynamics* Springer-Verlag / D. Helbing // New York, 2002. – pp. 21 – 58.
160. Hernandez, S. Urban transport interchanges: methodology for evaluating perceived quality / Sara Hernandez, Andres Monzon and Rocío de Oña // Accepted for publication in *Transportation Research A: Policy and Practice*. – 2016. – pp. 31 – 43.
161. Kristersson, P. The role of public transport interchanges in regional planning / Per Kristersson // *Regions Magazine* 285(1). – 2012. – pp. 16 – 17.
162. Labuz, R. Shopping centre vs. railway station. Selected examples in Poland / R. Labuz // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Volume 603 (3), 032007. – 2019.
163. Levi, Y. A multi-objective optimization model for urban planning: The case of a very large floating structure / Yedidya Levi, Shlomo Bekhor, Yehiel Rosenfeld // *Transportation Research Part*, 98. – 2019. – pp. 85 – 100.
164. Li, LN. Towards people-centered integrated transport: A case study of Shanghai Hongqiao Comprehensive Transport Hub / LN. Li, BPY. Loo // *CITIES*, 58. – 2016. – pp. 50 – 58.

165. Li, Z.–C. Modeling intermodal equilibrium for bimodal transportation system design problems in a linear monocentric city / Zhi-Chun Li, William H.K. Lam, S.C.Wong // *Transportation Research Part B.*, 46. – 2012.
166. Ludan, I. Integrated approach to building a microscopic city model / I. Ludan, E.Maiorov, J.D.M. Santana, O.Saprykin // *In Proceedings of the 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems.* – 2018. – 8 pp.
167. Martello, S. Knapsack problems: algorithms and computer implementations / S. Martello, P. Toth. // *John Wiley & Sons Ltd.* – 1990. – 296 p.
168. Monzón, A. Efficient urban interchanges: the City-HUB model / Andrés Monzón, Sara Hernández, Florida Di Ciommo // *Transportation Research Procedia* 14. – 2016. – pp. 1124 – 1133.
169. Monzon, A. Joint analysis of intermodal long distance-last mile trips using urban interchanges in EU cities / A. Monzon, A. Alonso, M. Lopez-Lambas // *20th EURO working group on transportation meeting, EWGT*, 27. – 2017. – pp. 1074 – 1079.
170. Noichan, R. Analysis of accessibility in an urban mass transit node: A case study in a Bangkok transit station / R. Noichan, B. Dewancker // *Sustainability (Switzerland)* 10(12), 4819. – 2018.
171. Pitsiava-Latinopoulou, M. Intermodal Passengers Terminals: Design Standards for Better Level of Service / M. Pitsiava-Latinopoulou // *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Transport Research Arena.* – 2012, 48. – pp. 3297 – 3306.
172. Redman, L. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review / L. Redman, M. Friman, T. Gärling, T. Hartig // *Transport Policy*, 25. – 2013. – pp. 119 – 127.
173. Sherbina, E.V. City planning issues for sustainable development / E.V. Sherbina, N.V. Danilina, D.N. Vlasov // *International Journal of Applied Engineering Research.* – ISSN 0973 – 4562. – Volume 10, Number 22. – 2015. – pp. 43131 – 43138.

174. Sperati, S. Transportation system planning and town center: Case study of Bologna. *Town and Infrastructure Planning for Safety and Urban Quality* / S. Sperati, V. Colazzo // *Proceedings of the 23rd International Conference on Living and Walking in Cities, LWC*. – 2017. – pp. 351 – 356.

175. Sun, C. An Evaluation Method of Urban Public Transport Facilities Resource Supply Based on Accessibility / Chao Sun, Xiaohong Chen, H. Michael Zhang, Ze Huang // *Hindawi Journal of Advanced Transportation*. Article 3754205. – 2018. – 11 p.

176. Su, YY. Study on Modeling and Simulation Technology of Comprehensive Passenger Hub System / YY. Su, LS. Qu, ML. Huang // *Proceedings of the 6th international conference on machinery, materials, environment, biotechnology and computer (MMEBC)*. Volume 88. – 2016.

177. Tian, G. Banded transportation junction formed by paralleling parallel elevated road stations and elevated railway stations: patent for the invention CN № 101870294, B61B 1/00, B61B 5/00, 27.10.2010.

178. Vlasov, D. The Priority Directions of Public Transport Transit Hubs Development on Commuter Railways / D. Vlasov, N. Danilina, A. Shagimuratova // *Advances in Intelligent Systems and Computing* 692. – 2018. – pp. 299 – 309.

179. Wen, Y. Arrangement method of public transit hub station under trestle: patent for the invention CN № 101392482, E01C 1/00, 06.11.2008.

180. Yao, LY. Transfer Scheme Evaluation Model for a Transportation Hub based on Vectorial Angle Cosine / LY. Yao, XF. Xia, LS. Sun // *Volume 6 (7)*. – 2014. – pp. 4152 – 4162.

181. Yap, M. Where shall we sync? Clustering passenger flows to identify urban public transport hubs and their key synchronization priorities / Menno Yap, Ding Luo, Oded Cats, Niels van Oort // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* Volume 98. – 2019. – pp. 433 – 448.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Суммарные суточные пассажиропотоки прибытия и отправления по каждому району городского округа Самара

Из	Из района	В район
1	367,6981571	366,0609594
2	970,566925	1148,604612
3	1657,162856	2179,894146
4	1550,450973	1804,190455
5	2364,76346	2764,115628
6	1830,521642	2191,98058
7	1115,424017	1366,865685
8	903,4514396	1034,097576
9	674,8935395	810,8639029
10	1715,482773	1998,535102
11	10627,80307	13683,3646
12	2279,869615	2129,34327
13	986,2714506	2501,711128
14	532,7029896	724,0126183
15	4375,283306	5301,487478
16	4399,747831	4398,466661
17	6829,449089	7486,610071
18	2507,079553	2417,438543
19	2045,781623	1973,40371
20	2237,156898	2617,06451
21	3871,323785	3195,990288
22	763,1486265	819,8235051
23	3310,330362	3631,926166
25	2888,009624	2617,298385
26	1329,933803	1270,079294
27	4842,646981	4466,112522
28	449,0416147	494,8246301
29	1199,406381	1112,478271
30	2727,254463	2541,626353
31	2526,635023	1954,034905
32	5969,024911	6442,24432
33	6413,901171	5440,644871
37	852,9713528	1332,164717
38	1433,391645	1559,603891
39	1816,693905	1657,6257
40	5524,7477	5093,772883
43	312,0324563	310,4677874
44	620,795044	704,2827869
45	4714,503626	5403,166878

46	9069,079457	7816,908607
47	6086,267372	5310,728806
51	3554,221401	2909,092772
52	2312,856164	2178,65227
53	8773,357044	11524,24501
54	3497,240622	4508,194405
55	4245,073531	4875,190316
56	4327,487918	3392,310109
57	3371,56073	3045,03829
58	1059,622017	908,7716241
60	11102,12564	10047,46406
61	5377,682836	4493,662223
62	7051,116375	5925,351101
63	558,1413872	819,4614479
64	101,9084747	160,6757778
65	939,9122769	810,2777997
66	9509,539543	7749,665945
67	7914,025122	6693,635762
71	4179,882695	3620,311021
74	8556,560347	7239,746453
75	112,8279776	134,4774958
76	51,46275852	38,76882789
77	2926,144509	3721,573247
79	189,4183663	292,0394722
81	4833,820401	8400,662814
82	1181,218992	838,9942849
83	1849,259835	1476,754484
84	5411,590702	4933,983249
86	3597,586115	4344,026851
88	0	0
90	564,7008072	527,792304
91	105,3414967	68,19496702
93	2439,795019	1311,304231
94	9,408602476	6,813431384
95	1650,509943	1513,737775
97	1983,948888	1318,938642
99	1523,14422	1976,986646
100	656,1166682	651,4786342
101	645,3832453	683,9876599
102	926,4110361	1004,025896
103	503,3279455	468,5027411
104	700,4512842	656,7618565
105	2326,937063	2516,16635

106	375,399131	371,6548001
107	1877,071154	2130,462355
108	1536,377608	1786,322106
109	3079,837942	3667,344582
110	1798,26768	1783,048818
111	1072,423261	1090,456455
112	3539,735017	4299,176084
113	2115,858804	2391,750012
114	1071,876111	1222,951724
115	1035,652631	1142,185726
116	1580,471034	1834,103346
117	743,2717658	855,7378908
118	768,1122365	891,2718692
119	698,9192052	683,2126316
120	3879,748531	4889,61966
121	1095,651456	1080,905935
122	9960,248105	11649,81794
123	3592,019572	3524,297568
124	6149,209155	7655,298714
125	2971,854088	3461,556817
127	3209,035118	4000,637146
128	563,9933522	587,3210669
129	1182,6096	1318,894465
130	1616,833794	1960,004074
131	5152,685469	6493,005152
132	4149,016252	4507,954777
133	5360,455619	5913,950745
134	2184,231071	2396,340966
135	8392,917211	9376,464284
136	1024,700445	1060,560102
137	4536,31423	5068,794956
138	999,3065707	967,4703842
139	7146,943971	8089,96606
140	2868,160723	2870,531444
141	8864,646096	10397,758
142	11295,93443	13392,297
143	12434,99661	13372,8729
145	417,1866173	413,4249601
146	2436,609773	2586,463508
147	4205,458034	4240,886435
148	2313,840125	2321,045427
149	837,8692847	790,3027959
150	3865,105032	3776,793473

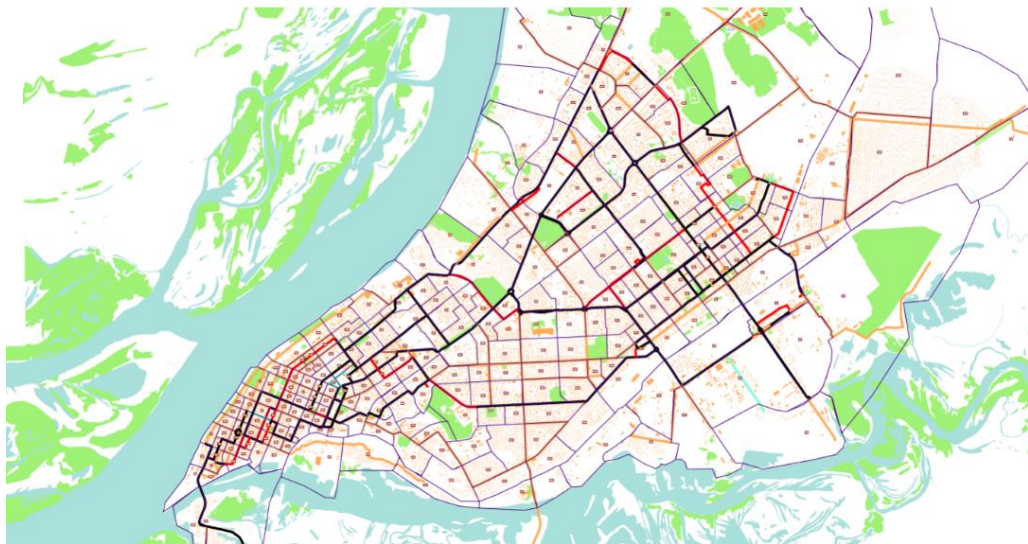
151	1412,328383	1531,000209
152	1882,661153	1575,894416
153	951,194025	1081,152978
154	709,0751758	810,3925656
155	329,0256857	334,4200582
156	477,6313436	342,6411786
157	1254,234544	1023,493052
158	3582,488863	3362,027858
160	3647,989778	3335,896578
161	5359,794127	4320,801116
162	3906,442805	3244,63879
163	2498,022516	2033,879121
164	3571,303838	3131,280802
165	3104,966057	2739,81204
166	6248,533417	5332,254888
167	5493,325788	4679,908657
168	8377,178793	6693,442866
170	4584,231815	4215,135215
171	2606,510586	2465,241268
172	2373,726933	2361,481308
173	1456,847767	1407,107784
175	4170,712849	3361,838305
176	5887,490869	5027,940157
178	4837,508453	4023,74604
181	3247,583601	2600,051559
182	756,2249886	704,0358729
183	6593,819535	5579,794364
184	2907,381092	2401,040275
185	240,0759839	453,4328009
186	3409,09484	4697,818124
187	1271,996674	1685,406012
188	1728,566011	1652,03672
189	4749,694591	4607,943189
190	2200,015948	1952,833298
191	4715,743858	4266,937252
192	2714,485377	2520,983323
193	1673,714862	1335,146675
194	2405,46244	2429,960858
195	3258,544805	2842,28352
197	2074,596818	1794,469296
198	1690,897914	1344,245371
199	1981,491393	1938,389628
200	1081,943504	1115,08836

201	2555,330084	2252,266507
202	4853,827163	3895,011938
203	2826,96976	2933,430224
204	1389,110255	1302,252941
205	1219,19534	943,4224656
207	2203,353629	2034,673017
209	2503,52803	1976,970117
210	799,6797312	639,1103507
211	3015,984005	2527,089542
212	2366,694308	1825,248803
213	3130,45853	2971,637388
214	1040,199873	1022,524323
215	2639,914722	2586,652104
218	6472,463003	6226,488288
219	5716,074211	4957,85994
220	4902,13358	4526,510289
221	2977,666001	2679,56615
223	1376,759913	1668,712926
224	988,5614062	1411,676879
225	6504,012678	6658,827569
226	1121,029799	1007,361604
227	3382,410684	2742,637623
228	63,750434	50,37982026
229	346,5147386	246,669704
230	863,939759	692,6922219
231	7723,828414	5964,361026
232	853,1312845	847,3718411
233	681,1158532	1509,229309
234	5887,26242	5523,102744
235	498,3983702	257,4867684
236	5293,557659	4868,058074
237	3173,59259	2848,759577
240	4195,682898	3689,858286
241	1249,924773	1412,236383
242	3754,238127	3707,843531
243	864,1586175	760,2475861
244	2146,491445	1947,812087
245	2214,86823	2211,247082
246	770,6929446	715,7149317
247	10,31661244	10,31661244
248	185,6131886	127,3760694
249	110,0381081	50,62247943
250	489,3859132	307,788531

251	2665,285225	1933,151139
252	1302,02689	988,8944503
253	1927,70515	1775,052952
254	1748,908389	1564,560261
255	680,3947707	615,9153421
256	857,1516885	810,1549323
257	919,1390354	877,686955
258	2842,640467	2555,301891
259	4858,90074	4233,410916
260	2291,153394	1999,323161
261	6569,710534	6558,558251
262	2362,644706	2066,544784
263	6601,514516	5835,596404
264	2020,907251	1746,112135
265	3631,278816	3162,046503
266	5184,717119	4316,430665
267	3114,933777	3182,182723
268	1546,283953	1230,335248
269	1685,037602	1357,602425
270	2088,630614	2274,536631
271	3665,818873	3991,807008
272	2449,869312	2414,643145
273	2201,651936	1951,907669
274	908,1174335	768,3524997
275	62,00031118	82,08960617
276	832,6106658	573,0611671
277	9,677110242	6,589995284
278	40,21788445	43,57000855
279	3047,496741	3670,58937
280	1331,709089	1426,445781
281	2112,257062	2659,082931
282	9389,068403	11676,40942
283	2376,841323	2782,936225
284	3630,000247	4207,798216
285	1444,579325	1749,599517
286	1680,293043	2030,970368
287	5230,949878	6500,059303
288	1545,083907	1832,470546
289	1485,803886	1472,222796
290	2430,284039	2849,220643
291	1548,136306	1806,579955
292	2156,90549	2643,237829
293	1219,068917	1355,493693

294	563,3648206	634,3173155
295	639,6227971	666,0873911
296	2581,97761	2477,784704
297	1425,691456	1898,078822
298	1621,646973	1983,008584
299	1686,692854	1883,3715
300	1701,364069	1950,686689
301	1120,217203	1131,231712
302	1587,669826	1681,374235
303	878,9741055	772,7060818
304	2805,644089	2948,591469
305	382,8016222	374,3462682
306	1430,602967	1679,361039
307	4779,173926	5777,951717
308	137,2328253	163,6044736
309	297,5679577	303,7701842
310	2840,618417	2469,090077
311	800,0078212	790,3368481
312	1912,684744	1821,599697
313	3030,892837	2748,364234
314	81,43614831	60,61945923
315	998,6686142	1564,043892
316	2066,205976	1835,480609
317	1921,984716	1884,154762
318	2147,332338	1788,605738
319	1988,941892	2103,238285
320	2074,890444	1646,115024
321	966,2454809	992,3256956
322	3451,950976	2617,840392
323	2791,834739	2512,395654
324	2520,168119	2030,635317
325	1084,619162	754,4102562
326	5195,266102	5286,833018
327	1888,78455	1539,161382
1001	1765,543369	1727,106815
1002	629,316463	616,9145935
1003	5890,959111	5974,214133
1004	913,6297019	898,0681127
1005	2067,186422	1999,037304
1006	4421,21297	4250,746787
Σ	796889,1253	796889,1253

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Сеть городского общественного транспорта Самары с размещением остановок и с учетом районирования города



Сеть городского общественного транспорта Самары с размещением остановок и с учетом районирования города (центральная часть)



Сеть городского общественного транспорта Самары с размещением остановок и с учетом районирования города (часть города в сторону аэропорта)



Сеть городского общественного транспорта Самары с размещением остановок и с учетом районирования города (часть города за рекой Самара)

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Рейтинг эффективных пересадочных узлов
по величине пассажиропотока

№п/п	№ остановки	Название	Пассажиропоток (c_r), пасс.
1	122	Железнодорожный вокзал	92154,5
2	183	Автостанция Аврора	88150,76
3	257	пл. Кирова	78206,33
4	163	Барбошина Поляна	76829,26
5	292	Галактионовская (ул. Красноармейская)	71891
6	46	Ново-Вокзальная (Московское шоссе)	69064,28
7	265	Московское шоссе (ул. Ташкентская)	68801,35
8	220	пр. Metallургов (ул. Советская)	63937,97
9	269	Победа	62279,45
10	60	Стара-Загора (пр. Кирова)	60913,49
11	133	Полевая	60003,01
12	297	Железнодорожный вокзал	59221,62
13	323	Автостанция Вольская	57061,23
14	236	Тухачевского	54994,64
15	199	Дом печати	53717
16	47	Ново-Вокзальная (ул. Стара-Загора)	52732,45
17	266	Стара-Загора (ул. Ташкентская)	51049,21
18	213	Безымянка	50647,14
19	212	Вольская	48198,67
20	143	Дачная (трамвай)	47989,96
21	67	14-й микрорайон	47353,43
22	139	КРЦ Звезда	47155,39
23	259	Ставропольская (пр. Кирова)	44449,25
24	146	Аэрокосмический Университет	44221,95
25	151	Автовокзал Центральный	43761,38
26	55	Заводское шоссе (ул. 22-го Партсъезда)	43232,03
27	280	пл. Революции	40971,51
28	20	Соколова	40009,63
29	26	Постников Овраг	39317,42
30	319	Революционная (Московское)	37654,56
31	120	Поликлиника (ул. Агибалова)	37383,88
32	190	Аврора (Гагарина)	36679,66

33	327	Московское шоссе (ул. Георгия Димитрова)	35084,85
34	61	Московское шоссе (пр. Кирова)	32715,4
35	135	ТЦ Аквариум	32214,32
36	176	Александра Матросова (ул. Вольская)	31440,17
37	161	ТЦ Апельсин/завод Тарасова	30997,1
38	160	Дом молодёжи	29977,68
39	142	ТЦ Аквариум	29766,83
40	168	Фадеева (ул. Ново-Вокзальная)	29151,05
41	5	Венцека/Фрунзе	29044,36
42	18	ул. Клиническая	28766,29
43	219	Хлебозавод №5	28677,73
44	201	Советской Армии (ул. Антонова-Овсеенко)	28500,45
45	282	Ленинградская	28203,18
46	66	Демократическая (ул. Ташкентская)	28183,38
47	141	Киевская	27890,05
48	51	Красных Коммунаров (ул. 22-го Партсъезда)	27697,74
49	17	Алабинская	27685,95
50	31	Советской Армии (ул. Ново-Садовая)	27289,06
51	124	Губернский рынок	27287,07
52	189	Мориса Тореза (ул. Авроры)	26957,95
53	40	Парк Гагарина	26365,95
54	258	Юбилейная	25895,21
55	33	Карбышева (ул. Гагарина)	24969,76
56	32	Потапова (ул. Ново-Садовая)	24467,6
57	200	Педагогический университет	24412,9
58	166	Приволжский микрорайон (ул. Зои Космодемьянской)	24283,95
59	320	Телецентр	23626,84
60	4	Галактионовская (ул. Красноармейская)	23521,26
61	57	Дом дружбы народов (ул. Победы)	23339,4
62	53	Кабельная (Заводское шоссе)	23134,6
63	225	15-й микрорайон (ул. Стара-Загора)	23122,64
64	263	Кинотеатр Самара	23118,28
65	138	Николая Панова	22977,76
66	261	Кинотеатр Огонек	22715,17

67	121	ЦУМ Самара	21996,64
68	287	Фрунзе (ул. Венцека)	21469,17
69	317	Волгина	21349,2
70	130	Сквер Мичурина	20675,95
71	294	Музей им. П.В. Алабина	20494,99
72	171	Кинотеатр Шипка	20455,61
73	134	Первомайская (пр. Ленина)	20222,33
74	21	Владимирская (ул. Пензенская)	20087,51
75	253	Севастопольская	19592,74
76	129	пл. Сельского хозяйства (ул. Ново-Садовая)	19474,6
77	62	7-й микрорайон	19278,65
78	240	15 микрорайон	19167,69
79	44	Солнечная (ул. Ново-Вокзальная)	19012,72
80	65	Силина	18718,24
81	303	ЦУМ Самара	18690,29
82	214	Калинина	18490,18
83	162	Аминева	18482,31
84	74	15-й микрорайон (пр. Карла Маркса)	18184,3
85	45	Детская больница	18036,06
86	15	Ульяновская (ул. Арцыбушевская)	17933,74
87	204	Победы (ул. Воронежская)	17697,69
88	221	Свободы (ул. Елизарова)	17626,58
89	71	Восточный пос.	17569,22
90	11	Гостиница Волга	17526,46
91	210	Ново-Вокзальная (ул. Ставропольская)	17348,96
92	224	Авиационный завод	17164,6
93	298	Поликлиника (ул. Агибалова)	17081,48
94	237	Техникум легкой промышленности	16621,55
95	136	Челюскинцев (ул. Ново-Садовая)	16368,56
96	112	Филармония	16295,83
97	147	Клиники Медуниверситета (ул. Московское шоссе)	15940,47
98	300	Крымская пл. (пл. Урицкого)	15870,25
99	186	Рынок Норд	15668,32
100	218	Юных Пионеров	15523,48
101	231	Гастроном	15338,88
102	107	Площадь Революции	15141,59

103	132	пл. Сельского хозяйства (ул. Ново-Садовая)	14953,4
104	304	Владимирская (ул. Коммунистическая)	14874,97
105	299	Буянова (ул. Красноармейская)	14861,12
106	110	Самарская	14842,8
107	192	Дыбенко (ул. Авроры)	14497,04
108	23	Мебельный комбинат	14450,29
109	99	Пионерская (ул. Водников)	14069,14
110	307	Самарская пл. (ул. Молодогвардейская)	14034,84
111	131	Осипенко (ул. Лесная)	13811,43
112	264	Стара-Загора (ул. Ташкентская)	13721,07
113	56	Юнгородок	13665,87
114	170	Калинина	13558,19
115	164	Молодёжная	13327,34
116	19	Клиники Медуниверситета (ул. Московское шоссе)	13276,16
117	286	Льва Толстого	13185,79
118	301	Вилоновская (ул. Самарская)	13070,58
119	267	Советской Армии (ул. Промышленности)	12970,21
120	158	Энтузиастов (ул. Мориса Тореза)	12919,99
121	184	Аэродромная (ул. Промышленности)	12747,36
122	77	18-й км (по требованию)	12639,81
123	58	Безымянский рынок	12506,41
124	285	Филармония	12417,17
125	284	Молодогвардейская (ул. Некрасовская)	12347,11
126	313	Автосервис (ул. Клиническая)	12334,56
127	288	Некрасовская (ул. Куйбышева)	12210,73
128	125	Вилоновская (ул. Самарская)	12160,06
129	268	Проезд 9 Мая	12132,37
130	234	Фасадная	12007,63
131	145	Дачная (трамвай)	11716,1
132	172	Экономическая академия	11464,86
133	1003	Промзона	11307,42
134	2	пл. Дзержинского	11172,39
135	84	СПТУ-50	11149,8
136	148	Московская	11017,37

137	54	Завод Экран	10865,25
138	272	Киевская	10825,01
139	191	Спортивная	10804,94
140	326	пос. Управленческий	10777,49
141	194	Дыбенко (ул. Советской Армии)	10736
142	86	Горелый Хутор	10666,86
143	251	22 Партсъезда (ул. Ставропольская)	10638,11
144	30	Университет (Глазная больница)	10527,25
145	167	Северное трамвайное депо	10522,87
146	3	6-й причал	10380,1
147	254	Каховская (трамвай)	10357,42
148	27	Мичурина (пр. Масленникова)	10274,09
149	290	Самарская	10172,61
150	178	Советская	10127,06
151	230	Ильинская церковь	10093,02
152	63	ТЦ Пирамида	10064,75
153	90	Заливная	10058,59
154	260	Советская (ул. Ставропольская)	10043,23
155	102	Куйбышева (ул. Некрасовская)	9832,847
156	16	Октябрьская набережная	9689,406
157	242	Железнодорожный музей	9666,761
158	137	Мичурина (пр. Масленникова)	9564,626
159	203	Машиностроительный колледж	9402,448
160	209	Школа (ул. Ставропольская)	8995,259
161	127	Ярмарочная	8901,737
162	302	Губернский рынок	8893,518
163	310	Пензенская	8843,936
164	28	Центральный парк	8607,718
165	13	Перекидной мост	8503,806
166	296	Вилоновская (ул. Самарская)	8096,703
167	97	Бакинская	7944,702
168	306	Самарская пл. (ул. Самарская)	7883,684
169	188	Революционная (ул. Гагарина)	7843,619
170	52	Кировская	7831,059
171	279	Степана Разина	7816,742
172	211	Александра Матросова (ул. Вольская)	7635,932
173	197	Гагарина (ул. Промышленности)	7377,489

174	105	Речной вокзал (автобус)	7256,932
175	150	Авторемонтный завод	7060,794
176	12	Пензенская	6976,278
177	39	Московское шоссе, 126 лит А	6817,792
178	195	Самарский торгово-экономический колледж	6799,495
179	83	Мехзавод (4-й квартал)	6763,563
180	82	Транзитная	6757,126
181	108	Троицкий рынок	6690,946
182	283	пл. Революции	6646,265
183	312	Универсам Мичуринский	6589,642
184	316	Гагаринская	6580,601
185	322	Школа (ул. Транзитная)	6548,158
186	245	Завод Электроцит	6416,791
187	289	Чапаевская	6241,659
188	273	пр. Карла Маркса (ул. Киевская)	6205,152
189	95	Соцгород	6089,625
190	29	Гастелло	5965,669
191	207	Воронежская (ул. Ставропольская)	5888,156
192	227	Школа (ж/м Сухая Самарка)	5777,546
193	116	Красноармейская (ул. Самарская)	5729,602
194	205	пр. Карла Маркса (ул. Киевская)	5712,924
195	305	Чкалова	5627,689
196	262	Черемшанская (ул. Советская)	5617,364
197	252	Нагорная	5444,671
198	246	Дома ЭМО	5164,883
199	243	Магистральная	5156,882
200	181	Партизанская (ул. Авроры)	5125,94
201	6	Молодогвардейская (ул. Венцека)	4966,684
202	103	Пионерская (ул. Фрунзе)	4936,161
203	244	Костромской пер.	4931,383
204	324	Средневолжская	4844,765
205	281	Некрасовская (ул. Куйбышева)	4804,611
206	1001	Стромилово	4767,409
207	25	Гагаринская	4760,168
208	140	Российская	4661,148
209	295	Вилоновская	4544,045

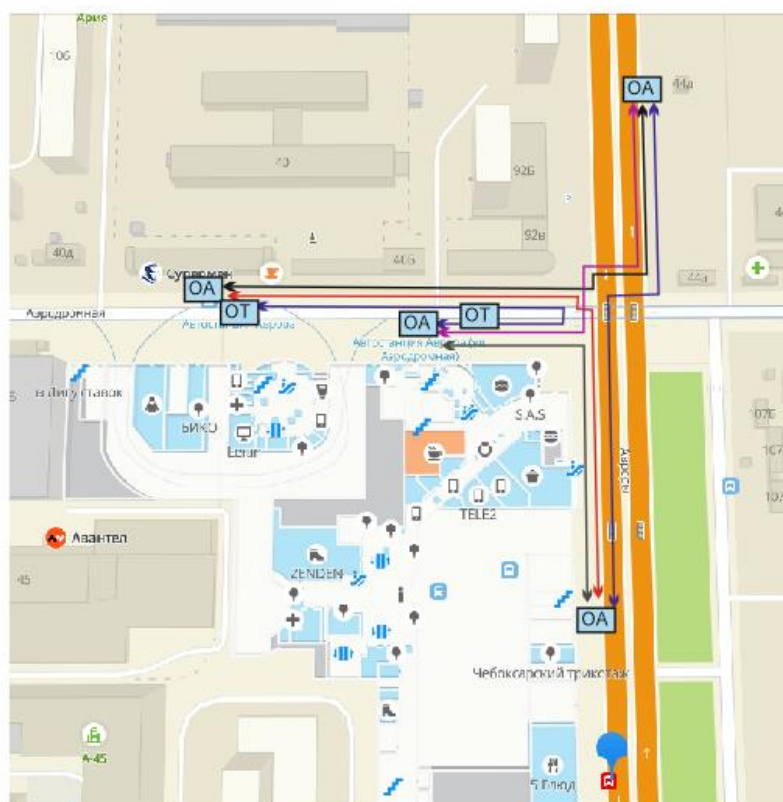
210	325	Пост ГИБДД	4499,674
211	118	Буянова (ул. Красноармейская)	4390,676
212	182	Авроры (ул. Гагарина)	3976,393
213	291	Ленинградская (ул. Братьев Коростелевых)	3935,248
214	113	пл. Куйбышева	3907,309
215	111	Братьев Коростелевых (ул. Красноармейская)	3907,27
216	274	Клуб Знамя	3809,242
217	157	Партизанская (ул. Авроры)	3768,197
218	100	Куйбышева (ул. Некрасовская)	3577,353
219	278	Хлебная пл.	3565,943
220	198	Гагарина (ул. Победы)	3508,478
221	93	с/х Кряж 2 (ул. Центральная)	3456,318
222	223	Кинотеатр Луч	3393,875
223	270	Дворец спорта	3352,994
224	114	Ульяновская (ул. Молодогвардейская)	3130,837
225	117	Стадион Динамо	3002,58
226	152	Пятигорская	2999,463
227	241	пр. Карла Маркса (ул. Ташкентская)	2975,471
228	318	Мичурина (пр. Масленникова)	2939,741
229	277	Сорокины Хутора	2931,529
230	321	Тракторная	2685,457
231	153	Шиноремонтный завод	2606,404
232	75	9-я просека	2541,96
233	79	Ракитовский рынок	2313,923
234	233	Стромилово	2227,62
235	193	Антонова-Овсенко (ул. Советской Армии)	2193,436
236	106	Некрасовская	2153,61
237	315	Автосервис (ул. Клиническая)	2123,592
238	187	Кабельная (Заводское шоссе)	2077,143
239	173	Юных Пионеров	2026,747
240	276	Чекистов	2019,924
241	7	Ленинградская (ул. Братьев Коростелевых)	1908,687
242	38	НФС	1883,848
243	1	Кутякова	1873,363

244	293	Чапаевская	1861,732
245	226	Заливная	1710,376
246	101	Клуб Дзержинского	1666,352
247	104	Братьев Коростелевых (ул. Ленинградская)	1143,985
248	128	Ульяновская (ул. Арцыбушевская)	1099,798
249	8	Иверский монастырь	1095,573
250	149	Гаражная	1093,134
251	248	бул. Финютина	1052,188
252	119	Ульяновская (ул. Арцыбушевская)	1046,139
253	250	9-й микрорайон	937,682
254	14	Железноводская	922,87
255	229	Казачий переезд	810,907
256	1004	Военный городок (ул. Дорожная)	767,353
257	94	Сельхозярмарка	732,357
258	9	Вилоновская, 62	723,847
259	91	Обувная	561,012
260	309	Пятигорская	535,5223
261	1002	Поворот на с. Лопатино	514,832
262	308	Речная	319,548
263	76	Дачи	259,396
264	185	Киркомбинат	234,807
265	247	Дмитрия Устинова	171,979
266	43	Монтажная	168,599
267	249	Пансионат	159,717
268	235	Кладбище Рубёжное	150,548
269	156	Школа №18	123,0108
270	88	Курумьч	102,012
271	155	Уфимская	96,73184
272	314	ГАТП-3	84,437

ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Примерная стоимость строительства ТПУ Аврора

№п/п	Элемент ТПУ	Вид работ	Стоимость, млн. руб.	Примечания
1	2	3	4	5
Создание проекта			25	
1	Вид транспорта - трамвай	Демонтаж выбранных участков рельсового полотна, установка систем автоматического регулирования на территории ТПУ	32	Организация беспрепятственного подхода и подъезда к остановочным пунктам, разделение всех видов движения
2	Вид транспорта - автобус	Строительство/реконструкция дорожного полотна с покрытием асфальтового слоя и установкой бордюрного камня	28	Организация беспрепятственного подхода и подъезда к остановочным пунктам, разделение всех видов движения
3	Остановочные пункты	Перенос остановочных пунктов, оборудование их навесами в ветро- и влагозащитном исполнении	10,625	Размещение остановочных пунктов таким образом, чтобы расстояние пешего перехода было не более 150м
4	Стоянка для краткосрочной остановки автотранспорта и стоянка такси	Реконструкция имеющихся стоянок, организация велосипедных дорожек и велосипедных парковок	15	
	Стоянки для велосипедов, велосипедное пространство на территории ТПУ			
5	Перехватывающая парковка	-	-	Возможно использование имеющегося паркинга Аврора Молл
6	Информационные офисы, билетные терминалы, организация информационного пространства	Размещение на путях движения пешеходов билетных и информационных терминалов, специальных указателей	2	Для обслуживания пассажиров и обеспечения быстрой ориентации на территории ТПУ
7	Обустройство территории	Устройство специальных покрытий, газонов. Оборудование пешеходных переходов. Организация доступной среды. Устройство зон отдыха.	60	Предполагается снос рынка, обустройство территории ТПУ и вблизи пересадочного узла

1	2	3	4	5
8	Антитеррористическая и противопожарная безопасность	Установка и подключение всего оборудования, включая камеры видеонаблюдения	0,44	
9	Освещение	Установка опор, светильников и т.д.	0,22	Фасадное, уличное освещение и т.д.
Итого				173,285
Сокращение времени на пересадку				3 мин



←→ Направление движения пассажиров при пересадке

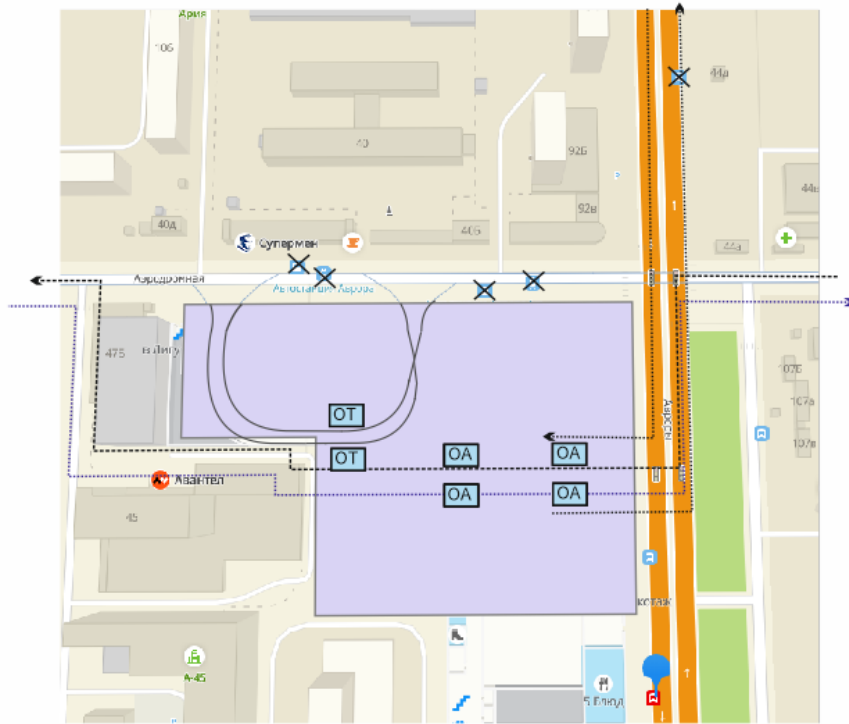
OA остановки автобуса

OT остановки трамвая

Существующая остановка Аврора Молл с указанием основных направлений движения пассажиров, осуществляющих пересадку

В настоящее время со стороны улицы Аэродромная существует проблема подхода к остановочным пунктам, нет специальной площадки на рельсовом полотне для посадки/высадки пассажиров. Предлагается вариант размещения

остановок в ТПУ с учетом правил и СНИПов таким образом, чтоб обеспечить максимальный комфорт и безопасность пассажиров, сократить время пересадки.



- направление движения общественного транспорта со стороны ул.Аэродромная
- реконструкция трамвайных путей
- ОА остановки автобуса
- ОТ остановки трамвая

ТПУ Аврора с указанием пунктов остановки общественного транспорта

ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Решение задачи оптимального выбора мест размещения ТПУ на основе математической модели при ограниченных денежных средствах с помощью пакета прикладных программ

Список ТПУ, рекомендованных к строительству при ограниченных денежных средствах с учетом величины сокращения времени поездки и количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ

расчет ТПУ 2 - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
1		переменные																											
2		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	
3	значение	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4																													
5	коэф-ты в ЦФ	51	39	31	29	28	27	27	26	25	25	24	22	21	21	20	20	20	19	19	18	16	16	15	15	15	13	12	
6	ограничение																												
7		17	20	23	14	20	18	20	29	20	19	15	20	19	29	19	20	20	20	20	21	17	22	17	20	18	22	20	
8																													

расчет ТПУ 2 - Excel

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB
	X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X40	X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49	X50			
1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0			
2	12	12	12	11	11	11	11	10	10	10	10	10	9	9	9	8	8	8	7	7	7	6	6	целевая ф-я	741	max
0	28	26	22	25	20	23	19	22	20	19	20	24	18	18	20	20	20	19	20	25	23	24	25	800		800

Список ТПУ, рекомендованных к строительству при ограниченных денежных средствах с учетом количества пассажиров, пользующихся этими ТПУ

расчет ТПУ 3 - Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1		переменные																										
2		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27
3	значение	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4																												
5	коэф-ты в ЦФ	51	39	34	37	35	34	34	32	36	31	40	28	21	21	29	22	25	32	27	20	27	23	26	24	16	14	
6	ограничение																											
7		17	20	23	14	20	18	20	29	20	19	15	20	19	29	19	20	20	20	20	21	17	22	17	20	18	22	
8																												
9																												
10																												
11																												

расчет ТПУ 3 - Excel

	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB
X28	X29	X30	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X40	X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49	X50				
0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0				
20	17	17	19	16	14	16	20	20	16	16	16	16	15	14	14	14	15	15	15	12	12	12	990	целевая ф-я		max
28	26	22	25	20	23	19	22	20	19	20	24	18	18	20	20	20	19	20	25	23	24	25	799		800	

ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Инструкция по использованию программы ParetoSet

Компьютерная программа ParetoSet для определения Парето-оптимальных вариантов ТПУ описываемых в виде таблицы, где строками являются подоптимальные ТПУ, а столбцами стандартизированные значения критериев z . Программа ParetoSet предназначена для поиска множества Парето некоторых объектов в дискретном пространстве характеристик.

Требования: java 1.8 (JRE)

Инструкция

– Программа запускается по двойному щелчку на ParetoSet.bat, после нажатия она открывается в командной строке Windows.

– Ввод данных:

1) Размерность пространства характеристик – целое число от 1 до 20, количество характеристик у сравниваемых объектов, ввод числа оканчивается нажатием клавиши Enter.

2) Количество сравниваемых объектов – целое число от 1 до 30, ввод числа оканчивается нажатием клавиши Enter.

3) Ввод значений характеристик каждого объекта – значение характеристики это целое число от 0 до 999, значения характеристик вводятся последовательно для каждого объекта, для завершения ввода значения одной характеристики нажимается клавиша Enter.

– Вывод результатов:

После ввода всех данных программа находит множество объектов, которые являются безусловно несравнимыми и отображает их в формате:

объект[1]:[значения характеристик]

...

объект[P]:[значения характеристик],

где P – размер множества Парето.

После вывода результатов программа предложит решить новую задачу. Чтобы продолжить необходимо ввести слово "yes", при вводе любых других слов программа закончит свою работу.

– Исключительные ситуации:

Программа обрабатывает следующие исключительные ситуации:

- 1) Некорректный размер пространства характеристик.
- 2) Некорректное количество объектов.
- 3) Некорректное значение характеристики.
- 4) Введено не целое число.

```
-----  
Введите размерность пространства характеристик: 3  
Введите количество объектов: 5  
Введите значения характеристик каждого объекта  
Объект 1:  
x1=1  
x2=2  
x3=3  
Объект 2:  
x1=2  
x2=3  
x3=4  
Объект 3:  
x1=2  
x2=1  
x3=3  
Объект 4:  
x1=3  
x2=4  
x3=5  
Объект 5:  
x1=4  
x2=3  
x3=2  
Множество Парето:  
Объект4: 3 4 5  
Объект5: 4 3 2  
Произвести новый поиск?
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Выбор ТПУ с помощью программы PARETOSet

С использованием программы PARETOSet определяем, что «лучшим» вариантом является создание ТПУ 151 Автовокзал Центральный.

Величина Z позволяет определить рейтинг объектов, если их нужно выбрать два, три и так далее.

```
Введите размерность пространства характеристик: 3
Введите количество объектов: 8
Введите значения характеристик каждого объекта
Объект 1:
x1=44
x2=1
x3=3
Объект 2:
x1=81
x2=0
x3=2
Объект 3:
x1=30
x2=1
x3=2
Объект 4:
x1=28
x2=0
x3=4
Объект 5:
x1=62
x2=1
x3=2
Объект 6:
x1=82
x2=0
x3=2
Объект 7:
x1=45
x2=0
x3=3
Объект 8:
x1=70
x2=1
x3=2
Множество Парето:
Объект1: 44 1 3
Объект4: 28 0 4
Объект6: 82 0 2
Объект7: 45 0 3
Объект8: 70 1 2
Произвести новый поиск?
```

То есть объекты 2,3,5 безусловно «хуже» остальных.

Применим условный критерий линейной свёртки с весами μ_i – формула (3.28) получим для Парето-оптимальных объектов величины Z . Подсчитано для $\mu_i=1$.

1. $Z=2.29$

4. $Z=1.34$

6. $Z=1.5$

7. $Z=1.3$

8. $Z=2.35$

Таким образом «лучшим» является объект №8.

Величина Z позволяет определить рейтинг объектов, если их нужно выбрать два, три и так далее.