

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ  
МГУПС (МИИТ)

---

На правах рукописи

Евреенова Надежда Юрьевна

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ  
ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ, ФОРМИРУЕМЫХ  
С УЧАСТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

*Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок*

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
кандидат технических наук,  
профессор Вакуленко Сергей Петрович

Москва - 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В КРУПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ, ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ, РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО- ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ.....	10
1.1 Краткий анализ исследований в области формирования, развития и функционирования ТПУ – ключевого элемента пассажирского комплекса....	10
1.2 Состояние и тенденции развития внутригородских и пригородно- городских перевозок в крупных транспортных узлах.....	14
1.3 Анализ современных мировых тенденций формирования и развития ТПУ.....	20
1.4 История и перспективы формирования и развития ТПУ в России.....	34
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1.....	49
2 ПАРАМЕТРЫ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ, ФОРМИРУЕМЫХ С УЧАСТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	52
2.1 Определение термина и уточнение признаков классификации ТПУ.....	52
2.2 Классификация ТПУ, сформированных с участием железнодорожного транспорта.....	61
2.3 Элементы инфраструктуры ТПУ, выделение параметров ТПУ.....	71
2.4 Структурные схемы ТПУ, формируемых с участием железнодорожного транспорта .....	85
2.5 Анализ методик и методологий проведения обследований пассажиропотоков в ТПУ и обработки их результатов.....	93
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2.....	100
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНО-	

ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ.....	102
3.1 Выбор математического аппарата и системы моделирования пассажиропотоков.....	102
3.2 Описание математической модели функционирования ТПУ.....	111
3.3 Компьютерная реализация математической модели функционирования ТПУ.....	124
3.4 Практическое применение моделируемых характеристик пассажиропотока .....	136
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3.....	142
4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ.....	144
4.1 Оценка эффективности формирования и функционирования ТПУ.....	144
4.2 Управление качеством обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ....	157
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4.....	169
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	170
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Анкета оценки качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ.....	186
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Результаты анализа экспертных оценок.....	187
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Копии документов, подтверждающих практическое использование результатов исследований.....	195

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования** определяется необходимостью комплексной модернизации и новой структуризации транспортных сетей и инфраструктуры транспорта Российской Федерации путем формирования и развития транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), обеспечивающих наиболее эффективное взаимодействие всех элементов транспортной системы.

Основной задачей пассажирского транспорта является полное удовлетворение потребностей населения в перевозках. Транспортная проблема одна из важнейших проблем крупных городов, мегаполисов, которая с их ростом и развитием приобретает все более острый социальный, градостроительный и экономический характер.

Несмотря на совершенствование процессов проектирования и эксплуатации транспортных систем пассажирского транспорта крупных городов, продолжительность перемещения пассажира из начального пункта в конечный в них остается значительной и колеблется в зависимости от размеров города, мегаполиса в пределах 35-90 минут. Время нахождения пассажира в ТПУ составляет примерно четверть общего времени перемещения [1].

При формировании комплексной транспортной системы крупных городов следует учитывать причины, определяющие выбор пассажиром способа перемещения и вида транспортных средств, а именно: социальные, психологические и демографические. В первую очередь пассажир мегаполиса, крупного города при выборе маршрута передвижения просчитывает затрачиваемое на поездку время. Поэтому фактор времени является одним из основных параметров, влияющих на выбор вида транспорта, при условии, что пассажира удовлетворяет стоимость проезда этим видом транспорта и качество обслуживания в нем.

Сокращение времени поездки внутри города, мегаполиса, пригорода возможно за счёт увеличения скоростей движения транспортных средств при организации скоростных внутригородских и пригородно-городских перевозок

железнодорожным, автомобильным или другим видом транспорта с минимальным числом остановок, реализация которого потребует существенных капиталовложений. Для организации скоростных городских, пригородно-городских и пригородных перевозок, как правило, необходимо сооружение: дополнительных главных путей на головных участках (ж.-д. транспорт); дополнительных полос на автотрассах и автодорожных развязок (автомобильный транспорт); отдельных обособленных линий, путепроводных развязок (скоростной трамвай, метрополитен) и др.

Однако, существенного сокращения времени поездки пассажира из начального пункта в конечный, за счет увеличения скоростей движения транспортных средств на отдельных участках общего пути, может не произойти из-за значительного времени нахождения пассажира в ТПУ при пересадке между взаимодействующими видами транспорта. В большинстве случаев это время непосредственно определяется нерациональной планировочной организацией ТПУ и недостаточной координацией в работе взаимодействующих в ТПУ видов транспорта. Поэтому одной из главных задач, решение которой позволит сократить общее время поездки пассажира, является выбор рациональных параметров ТПУ, как центров взаимодействия видов пассажирского транспорта.

Выполненные ранее научные исследования в данной области не достаточно учитывали специфики рыночной экономики, влияющей на функционирование и развитие ТПУ, а также зарубежный опыт формирования ТПУ, их проектирования и развития в увязке с дальнейшим развитием крупных городов и агломераций во взаимодействии с различными видами пассажирского транспорта. В недостаточной мере использовались методы логического и математического анализа для прогнозирования и моделирования динамики и взаимодействия пассажиропотоков в ТПУ.

Решение задачи выбора параметров ТПУ, в том числе формируемых с участием железнодорожного транспорта, является составной частью научной проблемы рационализации структуры ТПУ на основе закономерностей

формирования пассажиропотоков, направленной на повышение эффективности управления пассажирскими перевозками.

### **Степень научной разработанности темы.**

Вопросы функционирования, формирования и развития ТПУ стали широко рассматриваться в научной специализированной литературе с середины 60-х годов XX века. Научно-теоретическая база исследований в этой области включает в себя научные труды учёных:

- по технико-технологическим вопросам: З.В. Азаренковой, А.П. Артынова, Е.В. Архангельского, В.М. Батырёва, И.А. Боженко, А.А. Бычковой, С.П. Вакуленко, Д.Н. Власова, П.В. Голубева, С.В. Земблинова, И.А. Илюхиной, А.Д. Каретникова, Е.В. Копыловой, Ф.П. Кочнева, Е.П. Левковской, И.А. Молодых, В.Я. Негрея, Е.А. Овчинниковой, Ю.О. Пазойского, В.А. Персианова, М.А. Пиир, В.В. Повореженко, Н.В. Правдина, С.М. Резера, И.Е. Савченко, Ю.А. Савчук, К.Ю. Скалова, А.К. Угрюмова, М.С. Фишельсона, А.Д. Чернюгова, Н.М. Христюк, А.А. Шрейдер, В.Г. Шубко, В.А. Щуровой и др.;

- по вопросам моделирования пассажиропотоков объектов транспортной инфраструктуры: В.В. Доенина, Т.Ю. Константиновой, А.А. Сорокина, Б.И. Торопова, Д. Хелбинга, В.В. Холщевникова и др.;

- по экономическим вопросам функционирования объектов транспортной инфраструктуры: А.В. Андреева, Р.Л. Бранзия, В.Г. Галабурды, В.Н. Голоскокова, А.В. Гузенко, М.Ю. Елизарьева, В.Р. Захарова, Н.Н. Зюзиной, В.В. Кондратенко, П.В. Куренкова, О.А. Олениной, К.А. Сенцовой, А.В. Шабанова, Е.А. Юрковой.

Степень важности и необходимости разработки данной тематики подтверждается материалами международных и российских научно-практических конференций: «Транспортная инфраструктура МГУ: потенциал развития» (Москва, 2014 г.); «Next Station» (Москва, 2013 г.); «Успешные инвестиции в транспортно-пересадочные узлы. Идеи и практика» (Москва, 2014 г.).

**Цель и задачи исследования.** Цель исследования – выбор параметров ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, с использованием логических закономерностей формирования и моделирования пассажиропотоков.

Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать научные исследования, а также отечественный и зарубежный опыт формирования, функционирования и развития ТПУ;
- систематизировать ТПУ, формируемые с участием ж.-д. транспорта;
- определить параметры, характеризующие пассажиропотоки ТПУ, и закономерности их формирования;
- изучить методики проведения и обработки результатов обследований пассажиропотоков в ТПУ;
- формализовать описание поведения пассажиропотоков в ТПУ, учитывая логические зависимости в их перемещении, выполнить компьютерную реализацию разработанной модели;
- выполнить оценку эффективности формирования и функционирования ТПУ;
- сформировать критерии и показатели оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса пассажирам и посетителям ТПУ.

**Объектом исследования** являются ТПУ, формируемые с участием ж.-д. транспорта.

**Предмет исследования** – процессы функционирования объектов инфраструктуры ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта, логические закономерности формирования и моделирования пассажиропотоков.

**Научная новизна исследования** состоит в следующем:

- предложен классификатор ТПУ по их группам и категориям;
- выполнена систематизация ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта;
- выделены и обоснованы параметры, характеризующие ТПУ;
- предложена технология и осуществлено формализованное описание пассажиропотоков, возникающих в моделируемом пространстве ТПУ, учитывающее логические зависимости в организации движения пассажиропотоков и перемещении пассажиров;

- выполнена компьютерная реализация разработанной модели в виде модельного примера ТПУ «Тимирязевская»;
- определены зависимости между входными (внешними) параметрами ТПУ, позволяющие выбрать окончательные значения внутренних параметров ТПУ;
- разработаны методические рекомендации по оценке эффективности функционирования ТПУ, учитывающие интересы пассажиров, и компаний, осуществляющих перевозку пассажиров, городов и пригородов, на территории которых размещаются ТПУ;
- сформированы критерии и показатели оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса пассажирам и посетителям ТПУ.

**Теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования** заключается в возможности использования предложенных научных подходов, методологии и методов, результатов обработки полученных в ходе исследования данных в программах и проектах развития транспортной инфраструктуры. Реализация результатов диссертационного исследования ляжет основой для разработки единых требований к формированию ТПУ на сети железных дорог ОАО «РЖД». Основные положения диссертации могут быть использованы для научно-обоснованной оценки проектов и предпроектных проработок при принятии решений по развитию и формированию ТПУ с участием ж.-д. транспорта. Практическое использование результатов диссертации, подтверждается актами внедрения, приведенными в приложении 3.

**Методология и методы проведенного исследования основываются на:** системном анализе и научном обобщении отечественного и зарубежного опыта в области формирования, функционирования и развития ТПУ; методах математической статистики; методах экспертной оценки; теории вероятности; имитационном моделировании сложных динамических систем с использованием логико-разностных подходов и многоподходного инструмента имитационного моделирования AnyLogic.

**Положения, выносимые на защиту:**

- классификатор ТПУ по группам и категориям;

- систематизация ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта;
- сформированные параметры, характеризующие ТПУ, методика и алгоритмы моделирования пассажиропотоков в ТПУ, зависимости между входными (внешними) параметрами ТПУ;
- методические рекомендации по оценке эффективности функционирования ТПУ;
- сформированные критерии и показатели оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса пассажирам и посетителям ТПУ.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.**

Достоверность результатов работы определяется: строгостью применяемых методов математической статистики и моделирования сложных динамических систем; реализацией разработанной модели функционирования ТПУ на модельном примере конкретного ТПУ с использованием реальных параметров пассажиропотока; обобщением отечественного и зарубежного многолетнего опыта формирования, функционирования и развития ТПУ; контролем сходимости результатов экспериментальных исследований со статистическими данными.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались на 12-й научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» в 2011 г., на международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта» (2012 и 2013 гг.); на научно-практической конференции «Наука МИИТа – транспорту» (Москва, 2014 г.). Основные результаты работы опубликованы в десяти научных статьях, в том числе четыре работы в журналах, рекомендованных в действующем перечне ВАК.

# 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В КРУПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛАХ, ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ, РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ

## 1.1 Краткий анализ исследований в области формирования, развития и функционирования ТПУ – ключевого элемента пассажирского комплекса

Исследованиям отдельных аспектов организации пассажирских перевозок на ж.-д. транспорте, технологии работы ТПУ и ж.-д. вокзальных комплексов, анализу схем и технологии работы пассажирских станций, их размещения в пределах ТПУ и на территории города, взаимодействия с другими видами транспорта были посвящены многие научные труды, которые можно разделить на три группы.

Первая группа научных трудов охватывает, главным образом, вопросы организации пассажирских перевозок на ж.-д. транспорте вообще и в крупных транспортных и ж.-д. узлах в частности, а также проблемы технологии работы пассажирских комплексов, и включает труды А.П. Артынова [2], А.Д. Каретникова [3], Ф.П. Кочнева [4], Пазойского Ю.О. [5-6], С.М. Резера [7], А.К. Угрюмова [8], А.Д. Чернюгова [9], В.Г. Шубко [5, 10] и др.

Так, в трудах Ф.П. Кочнева впервые в наиболее полном и систематизированном виде дано научное обоснование вопросов организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте. А.П. Артыновым выполнены научные исследования по вопросам организации пригородных перевозок в крупных транспортных узлах. Рационализации размеров движения пригородных поездов на полигонах сети и в крупных ж.-д. узлах посвящены работы Шубко В.Г. и Пазойского Ю.О.

Пазойским Ю.О. впервые было введено понятие плотности пассажиропотока в работах, посвященных определению оптимального размещения технических зонных станций.

Вторая группа научных трудов посвящена, главным образом, развитию пассажирских станций, вокзалов, как базовых элементов ТПУ, размещению их в пределах города, увязке схем ТПУ с планировочной структурой городов и городским пассажирским транспортом, включая метрополитен, вопросам взаимодействия видов транспорта в узлах, проектированию новых ж.-д. вокзальных комплексов и включает работы Е.В. Архангельского [11], А.А. Бычковой [12], С.П. Вакуленко [13], П.В. Голубева [14], С.В. Земблинова [15-16], И.А. Илюхиной [17], Е.В. Копыловой [18], И.А. Молодых [19-20], В.Я. Негрея [21], Е.А. Овчинниковой [22], В.А. Персианова [16, 23-27], Н.В. Правдина [21, 28-29], В.В. Повороженко [30], И.Е. Савченко [15], К.Ю. Скалова [24, 31-32], М.С. Фишельсон [33-34] и др.

В работах В.Я. Негрея, Н.В. Правдина приведена методика определения рационального числа остановочных пунктов и их размещение в пределах пригородных участков ж.-д. линий, путем минимизации затрат времени пассажира на поездку и её стоимости. Достаточно подробно исследована целесообразность использования отдельных видов пассажирского транспорта в зависимости от интенсивности пассажиропотока.

Н.В. Правдиным и В.Я. Негреем большое внимание уделено проблемам расчета пропускной способности ключевых элементов пассажирской инфраструктуры, разработке требований к сооружению ТПУ. Также в работе [28] приведены основные признаки классификации ТПУ по взаимному расположению устройств.

С.В. Земблиновым [16] были подробно проанализированы схемы и технология работы пассажирских станций в различных условиях функционирования, обеспечивающих взаимодействие ж.-д. транспорта с другими видами транспорта. Вопросы развития ж.-д. узлов с учетом взаимодействующих в них видов транспорта были исследованы также в трудах К.Ю. Скалова [24, 31-32].

В трудах И.Е. Савченко [15] определены преимущества и недостатки существующих схем пассажирских станций, даны предложения по выбору рациональных схем в зависимости от условий их функционирования, обобщены

вопросы взаимной увязки проектов развития пассажирских станций и ж.-д. вокзальных комплексов, исследованы вопросы формирования пассажиропотоков в транспортном узле, обобщен отечественный и зарубежный опыт размещения и развития пассажирских станций в крупных транспортных узлах, установлены основные виды мероприятий по развитию пассажирских устройств транспортного узла.

Работы И.А. Молодых, М.С. Фишельсона [19-20, 33-34] в основном посвящены пассажирским перевозкам городскими видами транспорта и определению оптимального режима взаимодействия наземных пассажирских видов транспорта и ж.-д. транспорта, расчёту оптимальных интервалов движения наземных городских видов пассажирского транспорта.

В работе Голубева П.В. [14] рассмотрено взаимодействие станций стыкования (пересадки) железной дороги и метрополитена, определены параметры технического оснащения этих станций, эффективность формирования зонных станций пригородного участка в месте стыкования станций железной дороги и метрополитена. Однако станции пересадки пассажиров с железной дороги на метрополитен не рассматривались как целостный объект ТПУ и место стыкования других видов транспорта с детализацией корреспондирующих пассажиропотоков.

Организация движения пригородных поездов на Малом кольце Московского ж.-д. узла в условиях пригородно-городских перевозок рассмотрена в исследовании И.А. Илюхиной [17]. В работе сформулированы рекомендации по развитию и реконструкции станционных устройств Малого кольца Московского ж.-д. узла для организации пассажирского движения, методические основы использования внутригородских участков железных дорог для организации совмещённого грузового и пассажирского движения при совместном использовании путевого развития станций Малого кольца в освоении пассажиропотоков внутригородского сообщения, рекомендации по оптимальному расположению остановочных пунктов на кольцевой ж.-д. линии.

К третьей группе научных трудов можно отнести исследования, в которых ТПУ рассматриваются, в качестве городских образований и ключевых элементов городской транспортной инфраструктуры. Результаты этих исследований нашли отражение в работах следующих исследователей: З.В. Азаренкова [35-36], В.М. Батырёв [37], И.А. Боженко [38], Власов Д.Н. [39-40], Е.П. Левковская [41], М.А. Пиир [42], Ю.А. Савчук [43], Н.М. Христюк [41], А.А. Шрейдер [41], В.А. Щурова [44] и др.

Азаренкова З.В. [35-36], учитывая, что в современных социально-экономических условиях ТПУ формируются очень быстро и без учета общей градостроительной ситуации дала рекомендации по этапности разработки проектов на всех стадиях градостроительного проектирования.

Власовым Д.Н. разработаны научно-методологические основы развития систем ТПУ, формирующих транспортный каркас агломераций и обеспечивающих приоритетное развитие общественного транспорта [39-40]. Также в его работах предложены типовые планировочные схемы ТПУ, даны предложения по расчету основных планировочных элементов ТПУ, разработаны целевые показатели, характеризующие транспортную и социально-экономическую эффективность формирования системы ТПУ. Работы Щуровой В.А. [44] посвящены роли ТПУ в развитии системы городских центров и их планировочной организации.

Однако, прикладные средства прогнозирования, моделирования динамики формирования и взаимодействия пассажиропотоков в ТПУ, используемые авторами ранее выполненных исследований не позволяли оперативно и с достаточной степенью точности решать рассматриваемые задачи.

Выполненные ранее исследования, как правило, были посвящены оптимизации структуры объекта и его функций, совершенствованию качественных и количественных параметров отдельных устройств инфраструктуры ТПУ, без учёта его целостности. Сегодня ТПУ – многомерный по параметрам и многофункциональный по функциям и структуре объект с определенными транспортными функциями.

Таким образом, проблемы формирования, функционирования и развития ТПУ крупных городов и мегаполисов находятся в области наложения зон специализации и специфики функционирования отдельных их групп представляемых как:

- пункты взаимодействия различных видов пассажирского транспорта как внешних, так и внутренних;
- элементы пассажирского комплекса железнодорожного транспорта;
- ключевые элементы городской транспортной инфраструктуры.

Графическая интерпретация области исследования формирования и функционирования ТПУ крупных транспортных узлов представлена на рисунке 1.1.

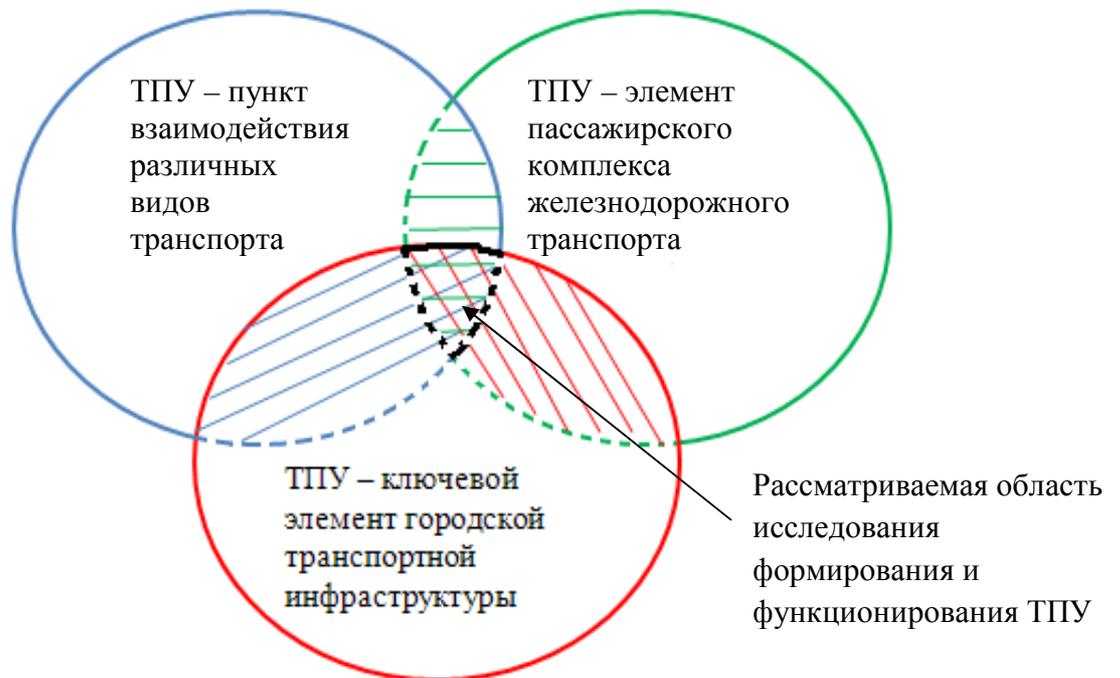


Рисунок 1.1 – Область исследования формирования и функционирования ТПУ крупных транспортных узлов

## 1.2 Состояние и тенденции развития внутригородских и пригородно-городских перевозок в крупных транспортных узлах

Одним из основных направлений социально-экономической политики любого крупного города является повышение уровня комфортности проживания

населения. Важнейшим фактором, определяющим уровень комфортных условий проживания в городе является степень развития его транспортной сети, состояние и качество работы внутригородского (наземного и подземного) и пригородно-городского пассажирского транспорта. От уровня развития и надежности работы транспортного комплекса крупного города в значительной степени зависит нормальная деятельность его предприятий, организаций и учреждений.

Структура, характер и направление транспортных потоков представляют собой главные факторы, определяющие транспортно-планировочную структуру городов, поэтому проблему организации внутригородских и пригородно-городских перевозок следует рассматривать только исходя из характерных особенностей конкретного города.

Выбор вида или видов транспорта потенциальным пассажиром для осуществления поездки - это параметральный отбор отдельных видов транспорта, различающихся периодичностью функционирования, графиком движения транспортных средств, стоимостью и качеством предоставляемых транспортных услуг. Все эти параметры оцениваются пассажиром с точки зрения возможности использования для перемещения отдельным или несколькими видами транспорта, что в свою очередь определяется целями, расстоянием поездки и др.

В настоящее время пассажиров, пользующихся внутригородским и пригородно-городским транспортом можно поделить на три группы в зависимости от их приоритетов, определяющих привлекательность того или иного вида транспорта:

- стоимость поездки от пункта отправления до пункта назначения;
- время, затрачиваемое на поездку от пункта отправления до пункта назначения пассажира (с учётом времени на пересадку между видами транспорта и ожидания транспорта);
- комфорт.

Критерий оценки распределения пассажиропотока между видами транспорта следует рассматривать не только с позиции прибыльности общественного транспорта. Оптимальная организация работы общественного

транспорта в большой степени зависит от внутранспортных факторов. В случае бесконтрольного развития индивидуального транспорта, приводящего к перегрузке улично-дорожной сети и ухудшению экологической обстановки, меры по улучшению транспортной ситуации должны быть одновременно направлены на ограничение использования индивидуального транспорта (прямые ограничения пользования автомобилем, повышение налогов на владельцев автомобилей и т.д.) и на развитие общественного транспорта (сокращение общего времени, затрачиваемого на поездку; снижение тарифов; повышение качества перевозочного процесса).

Учитывается также и внутранспортная эффективность, ради достижения которой приходится иногда идти на ухудшение транспортных показателей и снижение качества обслуживания (снижение скорости, повышение транспортных затрат в целях обеспечения безопасности движения, защиты окружающей среды или защиты от шума).

Внутранспортную эффективность, однако, трудно квалифицировать, только некоторые факторы можно оценить количественно: потребность в территории, транспортная доступность ТПУ и т.д.

Капиталовложения в транспортные сети (автодороги, железные дороги) и в такие транспортные объекты, как ТПУ, парковки, железнодорожные станции и вокзалы, аэропорты, воздействуют на все статьи затрат и доходов. Положительный эффект ограничивает высокая капиталоемкость инфраструктуры и невозобновляемость такого значимого ресурса как земля (территория), поэтому меры в области тарифной политики должны быть направлены в пользу общественного городского и пригородно-городского транспорта.

Высокие темпы урбанизации, увеличение дальности поездок, возрастающий пассажиропоток перевозимый всеми видами транспорта, делают необходимым совершенствование транспортных систем всех видов транспорта крупных городов и их пригородов, в том числе железнодорожного транспорта, обслуживающего массовые пассажирские перевозки в пригородно-городском сообщении.

Продолжительность трудовых поездок должна составлять 40-50 минут в одну сторону [45]. Однако, как правило, она значительно превышает установленные нормативы. Время, затрачиваемое пассажиром на поездку, в час-пик в городах мира приведено на рисунке 1.2.

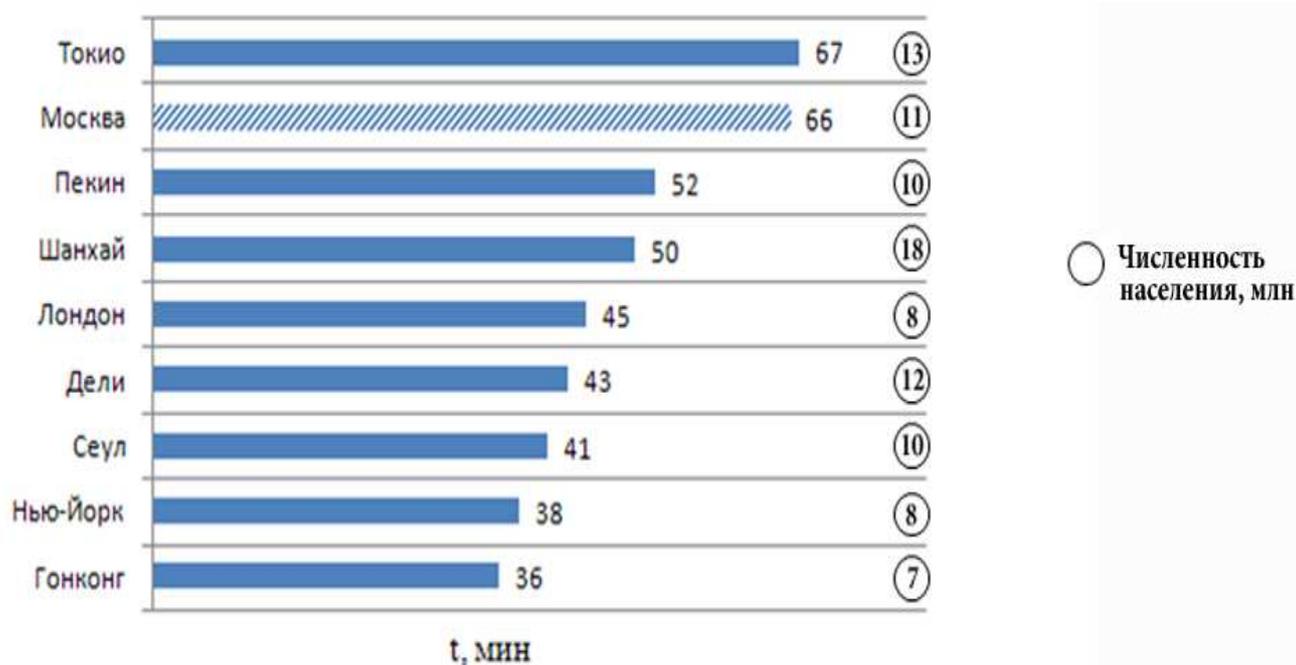


Рисунок 1.2 – Время, затрачиваемое пассажиром на поездку в час-пик, в городах мира [1]

Время, затрачиваемое пассажиром на поездку в час-пик в Москве, превышает установленные [45] нормативы на 46%.

Процент использования ж.-д. транспорта в Москве во внутригородских перевозках в настоящее время невелик. На рисунках 1.3 и 1.4 приведено распределение пассажиропотока по видам транспорта при въезде в пределы Московской кольцевой автодороги и Третьего транспортного кольца для разных временных периодов.

Ж.-д. транспортом в утренний час-пик в пригородно-городском сообщении (въезд в пределы Московской кольцевой автодороги) осваивается 58% общего пассажиропотока, тогда как во внутригородском сообщении (въезде в пределы Третьего транспортного кольца) только 13 % (рисунки 1.3 и 1.4).

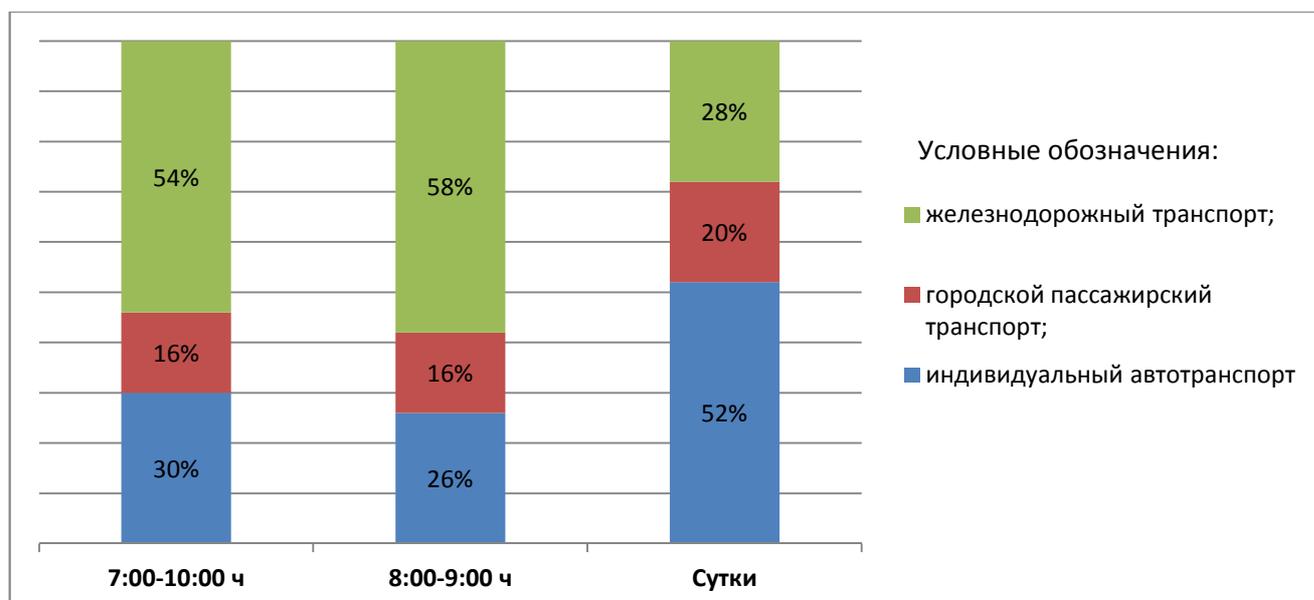


Рисунок 1.3 – Распределение пассажиропотока по видам транспорта при въезде в пределы Московской кольцевой автодороги [1]

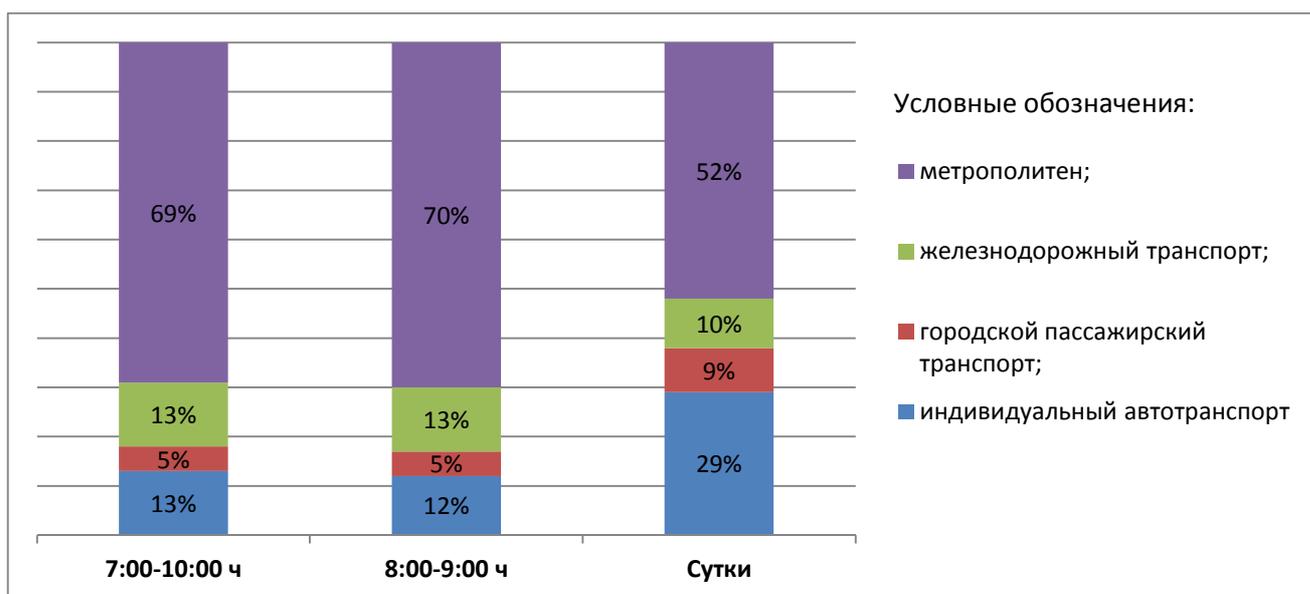


Рисунок 1.4 – Распределение пассажиропотока по видам транспорта при въезде в пределы Третьего транспортного кольца г. Москвы [1]

Несмотря на значительную протяженность железных дорог в пределах Москвы, процент пассажиров пользующихся ж.-д. транспортом во внутригородских перевозках невелик. К основным причинам недостаточного использования ж.-д. транспорта для пассажирских перевозок являются:

– отсутствие на радиальных ж.-д. направлениях специализированных главных путей, выделенных для пассажирского внутригородского и пригородно-городского движения;

– неудачное размещение существующей железнодорожной сети на карте города (железная дорога проходит по промышленным районам, вдали от жилой застройки);

– наличие пассажирских станций тупикового типа, ограничивающих использование хордовых и диаметральных ж.-д. маршрутов транспортного узла;

– отсутствие достаточного числа удобных и функциональных ТПУ в пунктах взаимодействия пригородно-городского и внутригородского транспорта;

– дневные перерывы в движении электропоездов, оперативные отмены электропоездов, отсутствие интегрированной с городским пассажирским транспортом системы оплаты проезда.

В современных условиях к основным направлениям развития внутригородских и пригородно-городских пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах относят:

- расширение транспортной сети внутригородских ж.-д. перевозок;
- расширение сети метрополитена;
- создание системы «перехватывающих» парковок;
- развитие таксомоторных услуг (легализация рынка таксомоторных услуг, повышение качества предоставляемых услуг и стимулирование поездок на короткие расстояния);

- развитие интеллектуальных транспортных систем (установка детекторов движения, информационных табло, перевод светофоров в адаптивный режим, установка на светофорах средств удаленной диагностики);

- интеграция решений в области проездных документов и тарифной политики (создание единого интермодального билета и автоматизация системы продаж для повышения удобства пользования и сокращения затрат на дистрибуцию билетов);

- увеличение провозной и пропускной способности автодорог;

- сооружение ТПУ и перехватывающих парковок личного автотранспорта с целью стимулирования использования общественного транспорта в черте города;

- развитие новых магистральных видов транспорта (скоростной трамвай на обособленном и самостоятельном полотне, организация экспрессного автобусного сообщения по выделенным полосам);

- внедрение современных методов, техники и технологий для анализа и прогнозирования транспортных ситуаций в городе на основе разработок перспективного программного обеспечения и создания моделей транспортных потоков, позволяющих сформировать граф улично-дорожной сети с расположением объектов транспортной инфраструктуры, собрать данные о спросе и предложении на транспортные услуги;

- создание велосипедного пространства.

Все решения должны быть направлены на общую задачу повышения популярности общественного транспорта, в том числе за счет сокращения использования личного автотранспорта, расширения провозной способности общественного транспорта, повышения уровня сервиса общественного транспорта.

### 1.3 Анализ современных мировых тенденций формирования и развития ТПУ

В зарубежной практике проектирования планировочной структуры ТПУ накоплен богатый опыт формирования многофункциональных ТПУ. Так комплексная модернизация транспортной инфраструктуры, проводимая в Японии в последние годы, позволила достигнуть глубокой интеграции систем внешнего (межрегионального), регионального железнодорожного, автомобильного и городских видов пассажирского транспорта.

При разработке крупных градостроительных проектов в Японии первостепенное внимание уделяется развитию именно ТПУ. Такой подход является основным и реализуется в ходе практически всех крупных

градостроительных решений и разработок в области развития их транспортных систем.

Характерный пример - планировочное решение одного из центральных районов Токио – Марунауци, на территории которого (120 га) размещены преимущественно офисные здания общей площадью 2,4 млн. м<sup>2</sup>, с перспективой размещения еще 0,5 млн. м<sup>2</sup>. Основой транспортного обслуживания этого района служат четыре ТПУ, одним из которых является ТПУ на базе вокзального комплекса «Токийский вокзал», где взаимодействуют различные виды городского (скоростного внеуличного и наземного пассажирского транспорта), регионального (пригородные электропоезда) и внешнего (поезда скоростной системы «Синкансен») транспорта, что обеспечивает транспортную доступность объектов, расположенных в узле, практически со всей территории Японии. Выполненный анализ планировочных решений ТПУ города Токио позволил подразделить их на три основных типа:

- межрегионального значения, обеспечивающих взаимодействие всех видов внешнего, регионального и городского пассажирского транспорта;
- регионального значения;
- локального значения.

Характерным примером ТПУ межрегионального значения (первого типа) служит узел «Шинагава», где взаимодействуют:

- скоростная транспортная система «Синкансен» - линия «Токайдо», ведущая на запад страны (межрегиональный транспорт);
- 4 линии экспрессных и магистральных железных дорог (межрегиональный транспорт);
- 2 линии метрополитена (городской транспорт).

За счет организации маршрутного движения по линиям метрополитена через ТПУ проходят 10 линий городской системы скоростного внеуличного транспорта, а также городского пассажирского транспорта (автобусные маршруты, такси). Планировочное решение ТПУ «Шинагава» приведено на рисунке 1.5.

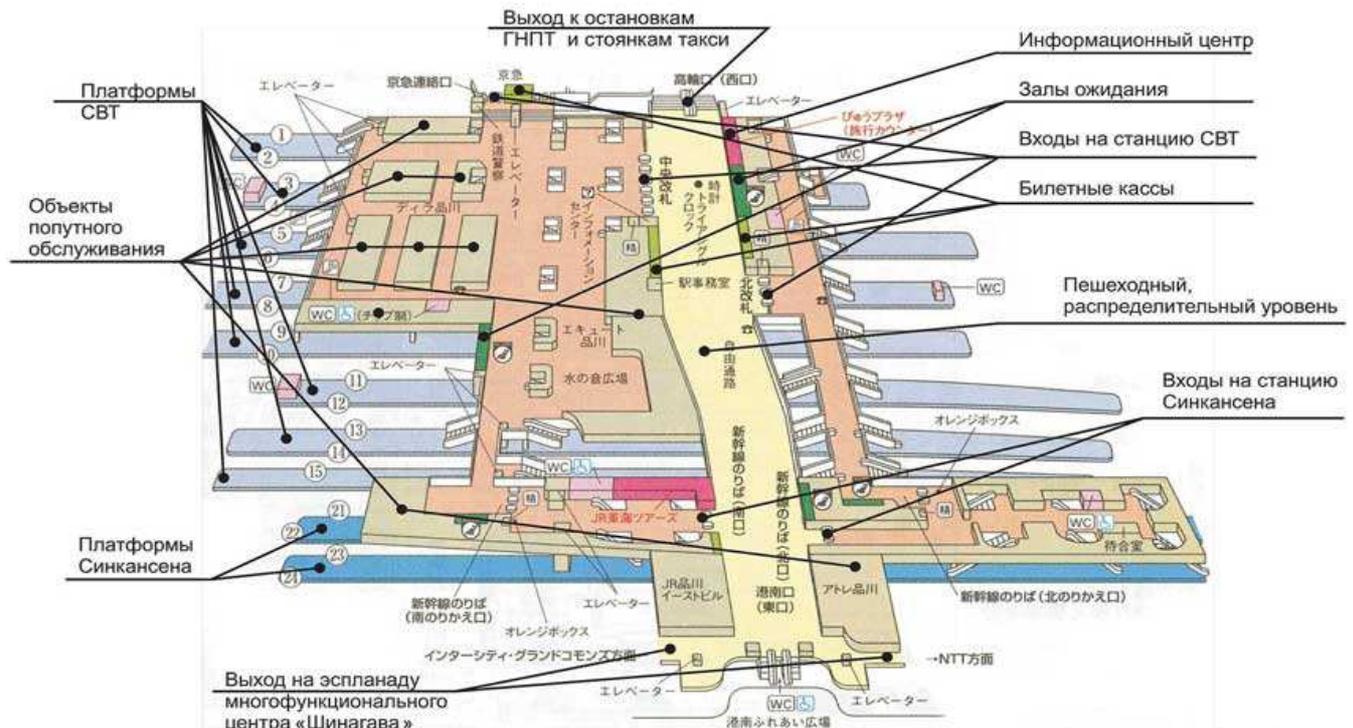


Рисунок 1.5 – Планировочное решение ТПУ «Шинагава» [39]

ТПУ «Шинагава» объединен с крупным многофункциональным центром, планировочное единство которого достигается за счет распределительной платформы, расположенной на проектном уровне над землей, обеспечивающей пешеходные связи между западной и восточной частью узла, а также проход к основным инфраструктурным составляющим ТПУ (рисунок 1.5).

На распределительной платформе расположены: входы и выходы к каждой из вышеперечисленных систем пассажирского транспорта; билетные кассы, залы ожидания, объекты сервисного обслуживания - мелкорозничная торговля, кафе, информационные службы.

В западной части ТПУ распределительная платформа переходит в надземный пешеходный уровень, объединяющий в единый комплекс, расположенные вдоль него объекты. В восточной части ТПУ вдоль прилегающей к нему площади размещены остановочные пункты наземного пассажирского транспорта и стоянка такси. Стоянки такси в западной части находятся на прилегающей улично-дорожной сети (УДС) в специально отведенных местах. Стоянки индивидуального транспорта в узле располагаются в составе многофункционального транспортно-пересадочного комплекса (ТПК).

Подъезд к стоянкам осуществляется с прилегающей к узлу УДС. Информационное обеспечение пассажиров осуществляется единой системой динамических табло, информационных бюро и терминалов. Необходимо отметить, что большое внимание в ТПК уделяется безопасности пассажиров, посетителей и обслуживающего персонала, за счёт использования систем видеонаблюдения за всеми секторами узла, использования спецсредств и спецоборудования (взрывобезопасные урны, дымодетекторы и т.д.).

Планировочное решение узла пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой в виде ТПК с распределительным уровнем, расположенным в надземном или подземном пространстве - основное планировочное решение характерное для крупных ТПУ различных типов Японии.

Планировочное решение ТПУ регионального значения (второй тип) во многом напоминает крупные пересадочные узлы московского метрополитена («Боровицкая» — «Библиотека имени Ленина» — «Арбатская» — «Александровский сад»; «Театральная» — «Площадь Революции» — «Охотный ряд» и др.), представляющих собой систему сложных переходов, обеспечивающих взаимосвязь станций метрополитена различных направлений между собой.

ТПУ локального значения (третий тип) интересны компактностью планировочной организации, достигаемой за счет многоуровневого решения (например, ТПУ «Одайбо»). Общий вид и поперечный профиль которого приведены на рисунке 1.6.

В зоне пешеходной доступности ТПУ размещены несколько крупных торговых комплексов, гостиницы, административно-офисные, жилые здания и муниципальная парковка. В непосредственной близости от ТПУ находится рекреационная территория, пользующаяся большой популярностью у жителей города Токио в теплое время года.

Монорельс, входящий в ТПУ как один из взаимодействующих видов транспорта, является эффективной системой городского скоростного внеуличного транспорта, обеспечивающей транспортные связи периферийных районов города

с системой городского метрополитена и железной дороги. В составе ТПУ «Одайбо» можно выделить три уровня:

- нижний (первый) предназначен для движения городского наземного пассажирского транспорта (ГНПТ), индивидуального и грузового транспорта;
- средний (второй) обеспечивает пешеходное движение;
- на верхнем (третьем) расположена станция монорельса.

а)



б)

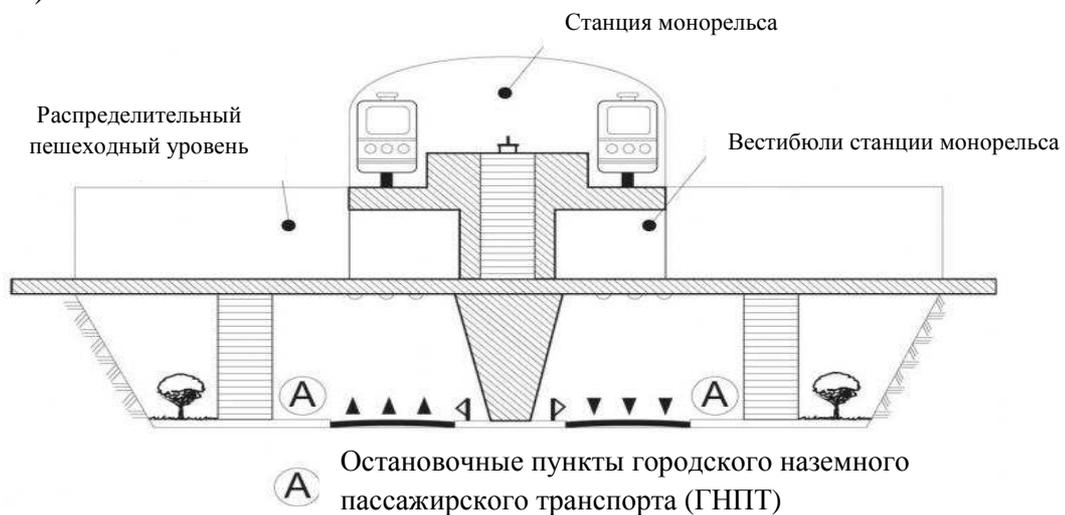


Рисунок 1.6 – ТПУ «Одайбо»: а) общий вид; б) поперечный профиль [39]

Планировочной основой ТПУ, является пешеходная (распределительная) платформа, обеспечивающая пешеходные связи противоположных частей узла между собой, а также:

- вход и выход на станцию монорельса (верхний уровень);
- выход на нижний уровень к остановочным пунктам ГНПТ;
- пешеходную связь зоны рекреационно-торговых объектов с зоной административно-деловых, жилых и гостиничных комплексов;
- обслуживание пассажиров на объектах мелкорозничной торговли, расположенных на распределительной платформе.

Пешеходная связь с муниципальным паркингом осуществляется через наземный уровень. Имея компактные размеры, узел включает в себя полный комплекс устройств, обеспечивающих комфортное его использование всеми группами пассажиров и посетителей. В ТПУ полностью реализована концепция «пространство без барьеров», позволяющая пассажирам с ограниченными возможностями свободно перемещаться по всем уровням.

Интересен опыт Японии в проектировании и функционально-планировочной организации пассажирских ТПК высокоскоростных магистралей. ТПУ на станции Сендай скоростной линии Токио – Мариока представляет собой многоуровневый ТПК, в котором пассажирские здания и пассажирские платформы расположены в разных уровнях, в том числе непосредственно друг над другом и связаны между собой пешеходными тоннелями, пешеходными переходами и конкорсами в разных вариантах.

В целом система ТПУ Японии и принципы, на которых они формировались и продолжают формироваться, требует детального изучения и внедрения в практику проектирования планировочных решений.

Развитие ТПУ в многоуровневые ТПК практиковалось еще в начале 20 века. Примером такого ТПК служит Большой Центральный вокзал Нью-Йорка, общий вид поперечного разреза которого представлен на рисунке 1.7.

Проектирование, а затем и формирование сети ТПУ в Германии позволило решить ряд задач по разгрузке городских транспортных магистралей, высвобождению городских площадей, занятых транспортными сооружениями и коммуникациями. Сооружение и ввод в эксплуатацию (2006 г.) нового Центрального железнодорожного вокзала в Берлине (Hauptbahnhof) и

оригинальные решения при формировании на его базе ТПК позволило существенно повысить качество транспортного и комплексного обслуживания пассажиров и посетителей.

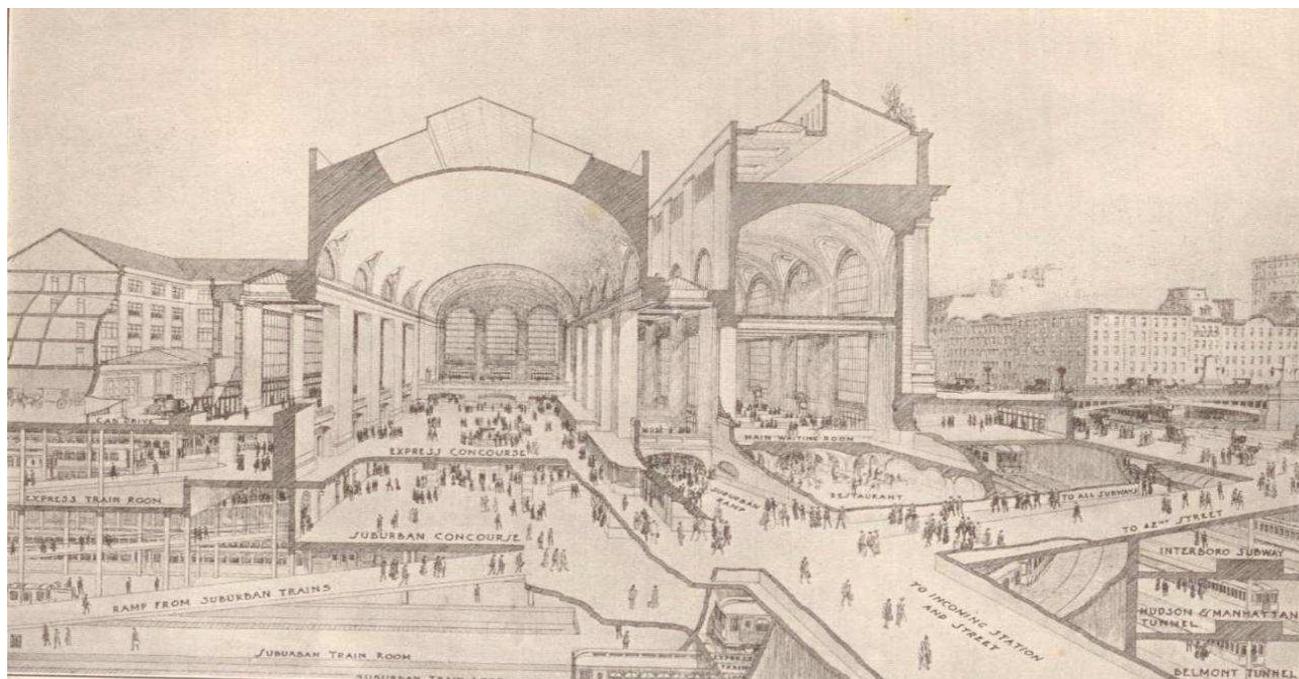


Рисунок 1.7 – Общий вид поперечного разреза Большого Центрального Вокзала Нью-Йорка

Новый вокзал и ТПК на его базе расположенные в центральной части города, связанные с другими районами города и железнодорожными вокзалами маршрутами городских электропоездов (S-Bahn), обеспечивают также связь с аэропортом Шонефельд городскими электропоездами, а с аэропортом Тегель - автобусом-экспрессом. Ежедневно с вокзала (длина здания вокзала с востока на запад более 320 м.) во всех видах сообщения отправляется более 350 тыс. пассажиров. Общая площадь территорий нового вокзального комплекса составляет 100 тыс. м<sup>2</sup>, из них 21 тыс. м<sup>2</sup> занято магазинами и ресторанами, 15 тыс. м<sup>2</sup> отдано под офисные центры.

Из пяти ярусов вокзала, только два (первый и пятый) используются для приёма и отправления пассажирских и пригородных поездов, высадки и посадки в них пассажиров. Общий вид расположения Центрального вокзала Берлина,

прилегающих территорий и внутренний вид вокзала изображены на рисунках 1.8, 1.9.



Рисунок 1.8 – Общий вид расположения ТПУ, сформированного на базе Центрального вокзала Берлина и прилегающих территорий



Рисунок 1.9 – Внутренний вид ТПК, сформированного на базе Центрального вокзала Берлина

ТПК сформирован в месте пересечения двух перпендикулярно расположенных многопутных железнодорожных линий, пути которых вместе с пассажирскими платформами образуют два самостоятельных перронных парка в разных уровнях. Первый перронный парк (8 путей и 4 пассажирских платформы)

обслуживает направление «север - юг» и расположен на первом (подземном) ярусе вокзала. Второй перронный парк (4 приемо-отправочных путей и 2 пассажирские платформы), а также 2 главных пути и пассажирская платформа городских железных дорог S-Bahn, обслуживает направление «запад - восток» и находится на эстакаде, на самом верхнем пятом (надземном) ярусе.

Для пропуска через ТПУ, сформированного на базе вокзального комплекса, железнодорожного диаметра «север - юг» потребовалось сооружение многопутного тоннеля протяжённостью 6 км. Все пассажирские платформы имеют длину 400 м, разделены на 6 секторов, оборудованы средствами визуальной информации, указывающими не только путь отправления, но и наименование секторов, в пределах которых будет производиться посадка пассажиров, если длина поезда менее 400 м.

Пути нижнего и верхнего перронных парков в пределах ТПУ и станции между собой не связаны, однако через кольцевую ж.-д. линию, проходящую в черте города, поезда, отправленные с Центрального вокзала Берлина, могут проследовать на любое радиальное направление.

Все пассажирские платформы вокзального комплекса связаны с другими ярусами ТПУ четырьмя эскалаторными (попарно работающими на подъем и спуск) линиями, меняющими направление движения в зависимости от направления преимущественного пассажиропотока.

Второй (подземный) ярус, промежуточный между основным (третьим) и первым предназначен для ожидания пассажирами поезда первого яруса, с возможностью забронировать в билетных кассах места в поездах, приобрести билеты у кассира-оператора или в автоматах по продаже билетов. Значительные площади второго яруса занимают торговые центры, небольшие магазины и рестораны быстрого питания, а также большая автомобильная стоянка.

Третий (основной) ярус находится в уровне привокзальных площадей и выполняет функцию распределения пассажиропотоков, прибывающих на автобусах, такси и личных автомобилях. Территория яруса, используемая для

развязки пассажиропотоков, имеет много торговых точек (торговые центры, небольшие магазины, предприятия общественного питания и т.д.).

Четвёртый ярус, где расположены билетные кассы, информационные терминалы, кассы-автоматы и пункты бронирования билетов, кассы продажи билетов и карточек на внутригородской и пригородно-городской транспорт (S-Bahn), проходящий через пятый ярус ТПУ, обслуживает, в основном пассажиропотоки поездов направления «восток-запад».

Разделение отправляющихся и прибывающих пассажиропотоков обеспечивается благодаря чёткой специализации по направлению движения эскалаторных линий. Вокзальный комплекс и ТПУ, объединенные в ТПК, ассоциируются с крупнейшим универсальным магазином (супермаркетом), в котором направление движения покупателей (пассажиры и посетители) задаётся вертикальной осью сооружения, вокруг которой и формируются их потоки. Все ярусы, их помещения и пассажирские платформы связаны между собой пешеходными связями, эскалаторами, лифтами, предназначенными также для маломобильных групп населения, пассажиров пожилого возраста, с крупной ручной кладью или пассажиров с детьми.

Вокзальный комплекс в Берлине и его ТПУ является крупным ТПК, местом обслуживания не только пассажиров до и после совершения поездки, но и его посетителей, важнейшим бизнес-центром с торговыми представительствами различных фирм. Такое размещение эффективно и взаимовыгодно, как для потребителей транспортных услуг, так и для торговых представительств, а также владельцев вокзальной инфраструктуры.

Принципиальным отличием нового ТПК и входящего в него вокзального комплекса и ТПУ Берлина является крайне малая доля площади залов ожидания для пассажиров в общей площади помещений. Единственный зал ожидания расположенный на четвёртом ярусе комплекса занимает всего около 1% общей площади ТПК, представляя собой помещение для отдыха, оборудованное аппаратурой Wi-Fi, а также местами для работы с персональным компьютером.

Эта особенность свойственна всем ж.-д. вокзальным комплексам Евросоюза, Японии, США и другим развитым странам.

Отсутствие залов ожидания объясняется двумя факторами. Во-первых, система пассажирских перевозок на DB AG характеризуется высокой интенсивностью движения поездов и хорошо отлаженной системой организации перевозок и пересадок. Поезда «Intercity» и «Intercity - Express» по важнейшим направлениям курсируют с тактовым интервалом 1-2 часа в течение дня. При опоздании по прибытии в узел одного из поездов, все согласованные с ним поезда регионального сообщения ожидают пересаживающихся пассажиров. Пассажиры имеют возможность совершать поездки с пересадками в течение всего дня, так что процесс ожидания поезда попутного направления на головной станции (Центральный вокзал Берлина) сводится к минимуму.

Во-вторых, пассажиры, ожидающие поезд, в пределах вокзального комплекса находятся и в пределах крупного многофункционального ТПК и его сервис-центров с торговыми центрами, магазинами, офисами, кафе, ресторанами и т.д., в связи, с чем наличие классического зала ожидания теряет смысл.

Необходимо также отметить тенденцию создания ТПК на базе железнодорожных вокзальных комплексов, связывающих их с железной дорогой и с ТПУ аэропортов. Аэропорты Германии соединены, как правило, с сетью городских железных дорог (S-Bahn), но в отдельных случаях имеется выход на железнодорожную сеть регионального сообщения.

ТПУ в аэропорту Франкфурта-на-Майне крупнейший в Германии, которым ежедневно пользуется около 20 тыс. пассажиров, сформировался на базе железнодорожного вокзального комплекса регионального сообщения в результате расширения ж.-д. терминала ТПУ, аэропорта Рейн – Майн (сейчас Франкфурт-на-Майне), а потребность во второй его очереди возникла в связи со строительством и открытием высокоскоростной линии ICE Кёльн – Рейн – Майн.

При формировании ТПК вокзал для поездов дальнего следования, в отличие от вокзала для региональных поездов, оказался в уровне поверхности земли и чтобы попасть в аэропорт, пассажирам необходимо пересечь автодорогу

федерального значения по крытому воздушному переходу. На этаже между перроном и распределительным уровнем размещены помещения вокзального комплекса для пассажиров первого класса и постоянных клиентов железной дороги, в которые можно попасть с перрона на лифте. Общая площадь вокзала Франкфурт-на-Майне – 33 тыс.м<sup>2</sup>.

Особый интерес в системе формирования и развития ТПУ Великобритании представляет реконструкция и развитие лондонского вокзала Сент-Панкрас и формирование на его базе современного ТПК в связи со строительством высокоскоростной железной дороги, соединяющей Лондон с континентальной Европой через Евротоннель. Вокзал Сент-Панкрас превратился в международный вокзал, принимающий поезда из Парижа и Брюсселя. В результате реконструкции старинное здание вокзала и другая вокзальная инфраструктура, привокзальная площадь и прилегающие территории превратились в многофункциональный ТПК с ресторанами, магазинами, фермерским рынком и пятизвездочным отелем, связанный с шестью линиями лондонского метрополитена и ж.-д. вокзалом Кингз-Кросс.

Реконструкция вокзального комплекса и формирование на его базе ТПК спровоцировали активное развитие примыкающей к вокзалу городской территории. Общий вид модели развития ТПУ Сент-Панкрас – Кингз-Кросс представлена на рисунке 1.10.

Главным условием, обеспечивающим ТПК инвестиционную привлекательность, является созданное удобство пассажирам и посетителям, доступность всех видов транспорта и небольшое время, затрачиваемое на пересадку.

Скоростное ж.-д. сообщение между Лондоном и аэропортом Хитроу, как целостная транспортная система с интеграцией всех сооружений и зданий в единый ТПК, была сформирована в 1998 г., а через год в здании вокзального комплекса был открыт зал для обслуживания авиапассажиров. Это позволяет пассажирам существенно экономить время на подготовку к полёту.



Рисунок 1.10 – Общий вид модели расширенного ТПУ Сент-Панкрас (слева) и Кингз-Кросс (справа)

В настоящее время работы, выполняемые по подготовке к реконструкции станции Паддингтон, позволят соорудить первую в Великобритании подземную станцию, перронные пассажирские платформы которой разместятся на глубине 30 м ниже уровня привокзальной площади действующего вокзала.

Особенности формирования ТПУ, их структурно-планировочных решений в других зарубежных странах представлены в таблице 1.1.

Кроме того, анализ развития ТПУ Великобритании, Германии, США, Франции, Японии и ряда других стран, позволил также сделать вывод об общей тенденции в их развитии – увеличении доли сервисной и торговой составляющей для пассажиров и посетителей, а основными решениями, усиливающими коммерческую составляющую ТПУ, являются:

- увеличение доли их коммерческих и сервисных площадей, используемых для оказания сервисных и торговых услуг;
- расширение спектра сервисных услуг, не связанных с перевозочным процессом.

Таблица 1.1 – Особенности структурно-планировочных решений ТПУ мира

Местонахождение ТПУ	Характерные особенности планировочного решения ТПУ
Монреаль (Канада)	ТПК с торговыми, общественными и транспортными сооружениями, общей площадью 80 га, включающий: 2 железнодорожные линии, 3 линии метро, 3 универсальных магазина, 4 гостиницы, 5 административных зданий, 8 кинотеатров, 30 ресторанов, автостоянки общей вместимостью 9000 мест, торгово-пешеходные переходы по верхнему подземному жю и торговые залы общей протяженностью 9,6 км, связанные с подземными автомобильными стоянками, станциями метрополитена и двумя центральными железнодорожными вокзалами.
Dhoby Ghaut (Сингапур)	Самый глубокий (28 м) подземный ТПУ с пятью уровнями.
Сеул (Южная Корея)	В состав ТПК входит аэропорт, 2-е скоростные и 2-е обычные железнодорожные линии, стоянка для такси, автовокзал, а также паркинг на 5000 машино-мест.
Кембридж (США)	ТПУ, включающий конечную станцию метрополитена, вокзал для междугородных автобусных маршрутов и четырехуровневый паркинг.
Пекин (Китай)	В состав ТПК входит аэропорт, паркинг, 2-е автомагистрали, станция скоростной железной дороги.
Брюссель (Бельгия)	ТПК объединяющий ж.-д. вокзал и автовокзал, стоянки такси, велосипедные парковки, остановки трамваев, подземные автостоянки на 2500 машино-мест, а также офисы, гостиницу и развитую общественную зону.
Страсбург (Франция)	ТПУ на пересечении сети главных национальных ж.-д. линий, региональной сети железных дорог и ряда городских транспортных систем с размещением линий пассажирского НГТ в надземном (автобус) и подземном (трамвай) уровне.

К основным мировым тенденциям формирования и развития ТПУ можно отнести [46]:

- создание многофункциональных ТПУ, координирующих работу систем транспортных коридоров и обеспечивающих взаимодействие различных видов транспорта на всех его территориальных уровнях;
- интеграция ж.-д. транспорта с системами скоростных видов внеуличного городского транспорта (метрополитен, скоростной трамвай и т.д.) за счёт размещения их вестибюлей в границах ТПУ;
- рост функциональности существующих ТПУ, обеспечивающих пассажиров необходимым комплексом транспортных услуг с перспективой увеличения объемов сервисных бизнес-услуг;
- вовлечение ТПУ в проекты комплексного развития территорий города в зоне их влияния;
- реконструкция и развитие ТПУ в вертикальной и горизонтальной плоскостях с превращением их в многофункциональные ТПК с формированием надземных и подземных пешеходных переходов и галерей, входящих в его состав, соединяющих основные пункты тяготения пассажиропотоков;
- изменение параметров основных элементов пассажирской инфраструктуры ТПУ (размещение автоматов по продаже билетов, строительство досмотровых зон и т.д.);
- оптимизация организации коммерческой деятельности за счёт правильной организации функционального пространства ТПУ;
- создание «безбарьерной» среды для маломобильных групп населения.

#### 1.4 История и перспективы формирования и развития ТПУ в России

Транспортная проблема крупных городов России остается одной из острейших. Современные крупные города развиваются столь стремительными темпами, что их транспортная инфраструктура не успевает развиваться и трансформироваться такими же темпами в соответствии с ростом количества жителей и рабочих мест, создающихся в городе и ближайших пригородах. Одним из способов решения этой проблемы является выработка рациональной структуры

и технологии функционирования ТПУ. Формирование сети ТПУ в крупных городах России включает в себя следующие этапы развития.

Первый этап связан с экономическим развитием в России её ж.-д сообщения, со строительством новых ж.-д. линий и развитием городов. Начало формирования системы ТПУ было положено с началом строительства (1843 г.) и ввода в эксплуатацию (1851 г.) магистральной железной дороги Санкт-Петербург – Москва. В период с 1851 по 1902 год были построены все существующие ныне вокзалы крупных городов России (включая 9 вокзалов Москвы, которые с некоторыми изменениями существуют до настоящего времени), Транссибирская магистраль, соединившая европейскую часть страны и Урал с Дальним Востоком. Первые ТПУ формировались как узлы, в которых обеспечивалась пересадка с внешнего (магистрального транспорта, в большинстве случаев ж.-д.) на городской транспорт.

Второй этап связан с развитием в России скоростного внеуличного городского транспорта. С момента открытия первой линии метрополитена (в Москве в 1935 году) можно вести отсчёт интенсивного развития ТПУ, и именно с этого момента ТПУ стали обретать свой нынешний вид. Чуть позже линии метрополитена были открыты в Ленинграде (Санкт-Петербурге) (1955), Нижнем Новгороде (1985), Новосибирске (1986), Самаре (1987), Екатеринбурге (1991) и Казани (2005). Одновременно идёт интенсивная электрификация железных дорог и развитие пригородных перевозок в крупных узлах с формированием сети остановочных пунктов и пассажирских зонных станций с пассажирскими платформами, вокзалами и павильонами для обслуживания пассажиров их высадки, посадки и пересадки на другие виды транспорта, в том числе наземный пассажирский транспорт (НПТ), включая скоростные его виды (трамвай, монорельс и др.).

Третий этап – современный этап, связан с интенсивным развитием в России крупных и крупнейших городов и их пригородов. Если первые два этапа связаны с процессом технического и технологического развития транспорта, то начало третьего этапа обусловлено в основном причинами экономического, социального и

градостроительного характера. ТПУ превращаются в современные многофункциональные ТПК в состав которых стали входить не только инфраструктура взаимодействующих видов транспорта и инфраструктура ТПУ, но и торговые, сервисные центры, гостиницы и т.д., т.е. формируется тенденция превращения ТПУ в ТПК.

Развитие транспортных систем, их адаптация к условиям рынка приводит к необходимости качественного изменения функций и структуры ТПУ, которая обусловлена двумя основными причинами:

- необходимостью предоставления пассажиру качественно нового уровня транспортных услуг, а также сервисных услуг различного профиля пассажиру и посетителю, с целью повышения конкурентоспособности массовых общественных видов пассажирского транспорта перед индивидуальным;

- исчерпанием в городах территориальных ресурсов для одноуровневого развития транспортных сетей и их инфраструктуры в целом, а также инфраструктуры ТПУ.

Результатом вышеописанных этапов исторического развития транспортной инфраструктуры стали, формирующиеся сегодня ТПУ в крупных городах России.

Началом третьего этапа формирования ТПУ можно считать:

- формирование тенденции к модернизации ж.-д. вокзалов, превращение их в вокзальные комплексы с развитием на их базе ТПУ и последующей трансформацией их в ТПК, имеющие выраженную общественно-деловую функцию (проекты реконструкции и развития Московских ж.-д. вокзалов, вокзалов в Санкт-Петербурге, Адлере и т.д.);

- реализацию пилотного проекта терминала комплексного ТПУ в 2005 г. в Москве у станции метро «Калужская» в комплексе с торговым центром «Калужский»;

- открытие в Москве первого многоуровневого ТПУ у станции метро «Планерная» в 2011 г.

ТПУ «Планерная» – первый ТПК в Москве, имеющий в своей структуре остановки НПТ (автобус), парковку для автомобилей на 600 мест, магазины, кафе

и т.д. Стоянка комплекса выполняет роль перехватывающей парковки для жителей Московской области, приезжающих на своих автомобилях до ТПК, оставляющих автомобили на парковке и пересаживающихся на НПТ (автобусы, метро), чтобы добраться в Москву до работы. Такие ТПК планируется построить на всех конечных станциях метрополитена. Учитывая проблемы свободных территорий Москвы ТПУ «Планерная» выполнен в многоярусном варианте:

- цокольный этаж (-1 этаж) – магазины, супермаркет «Перекресток», туалетные комнаты;
- 1 этаж – магазины, два выхода на 1-ю пассажирскую платформу и выход в город и метро;
- 2 этаж – магазины, банкоматы, ресторанный дворик, туалетные комнаты, зал ожидания, имеющие выходы на 2-ю и 3-ю пассажирские платформы;
- 3-5 этажи – парковочные места перехватывающей парковки.

Эксплуатация ТПУ «Планерная» выявила недостатки в его планировке при формировании и технологии работы в процессе функционирования. Значительный упор при формировании ТПУ «Планерная» был сделан на его экономическую составляющую за счёт сооружения множества торговых и сервисных центров, а основная технологическая функция ТПК - создание комфортных условий пересадки пассажиров между видами транспорта - оказалась на втором месте. В новом ТПК, например, не рационально были расположены маршруты следования и стоянки маршрутных такси, автобусов и троллейбусов, оказавшиеся по разные стороны от существующего ТПУ.

В настоящее время в транспортных узлах крупных городов России сложилась и действует достаточно обширная сеть ТПУ различных видов. Основные ТПУ сформированы и продолжают формироваться, главным образом, вблизи общегородских центров, в центре города, в местах размещения вокзальных комплексов различных видов пассажирского транспорта. Формирование ТПУ обусловлено закономерностями комплексной организации пересадочного процесса [47].

Наиболее развитые системы ТПУ расположены в Московском, Санкт-Петербургском, Нижегородском и Новосибирском транспортных узлах. Необходимо отметить, что главной отличительной особенностью перечисленных узлов является наличие метрополитена в системе городского пассажирского транспорта. Представляет интерес программа формирования и реконструкции ТПУ в транспортном узле Московского региона.

На сегодняшний день накоплен значительный отечественный опыт разработки предложений по проектированию развития ТПУ и превращению их в многофункциональные ТПК. Завершены предпроектные работы по реконструкции и развитию ТПУ «Тимирязевская», «Текстильщики», «Царицыно», «Петровско-Разумовская», «Павловск», «Дмитровская», «Курский вокзал», «Электrozаводская», «Тушино», «Выхино», ведется разработка еще нескольких проектов создания ТПУ.

Опыт эксплуатации функционирующего ТПУ «Планерная» позволил при разработке проектной документации на другие ТПУ и ТПК снизить долю коммерческих площадей (торговля, сервис-центры и т.д.), отдав предпочтение пешеходным и транспортным зонам, техническим помещениям, транспортным коммуникациям, обеспечивающим выполнение основной функции: быстрая, удобная, безопасная пересадка пассажиров с одного вида транспорта на другой. Исключение составили коммерческие площади паркингов перехватывающих парковок, как элемента, непосредственно обеспечивающего быструю и удобную пересадку с личного транспорта на общественные.

Соотношение долей площадей, реконструируемых ТПУ России, представлено на рисунке 1.11. Основные технико-эксплуатационные показатели проектируемых в Московском регионе ТПУ приведены в таблице 1.2.

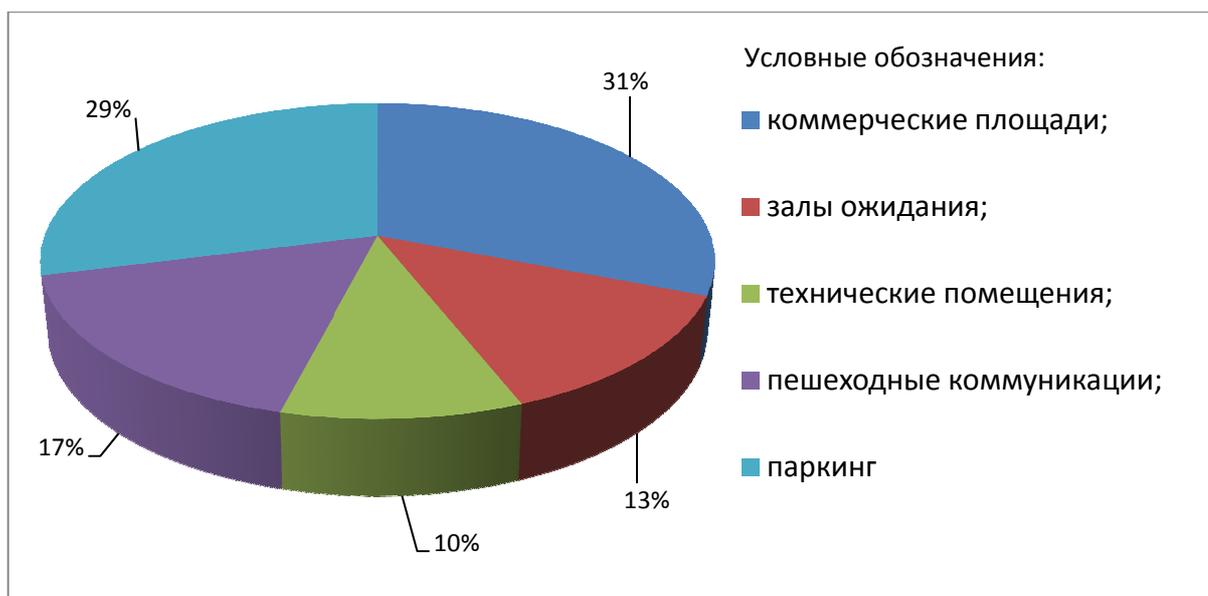


Рисунок 1.11 – Соотношение основных долей площадей реконструируемых ТПУ России

Таблица 1.2 – Основные технико-эксплуатационные показатели проектируемых в Московском регионе ТПУ

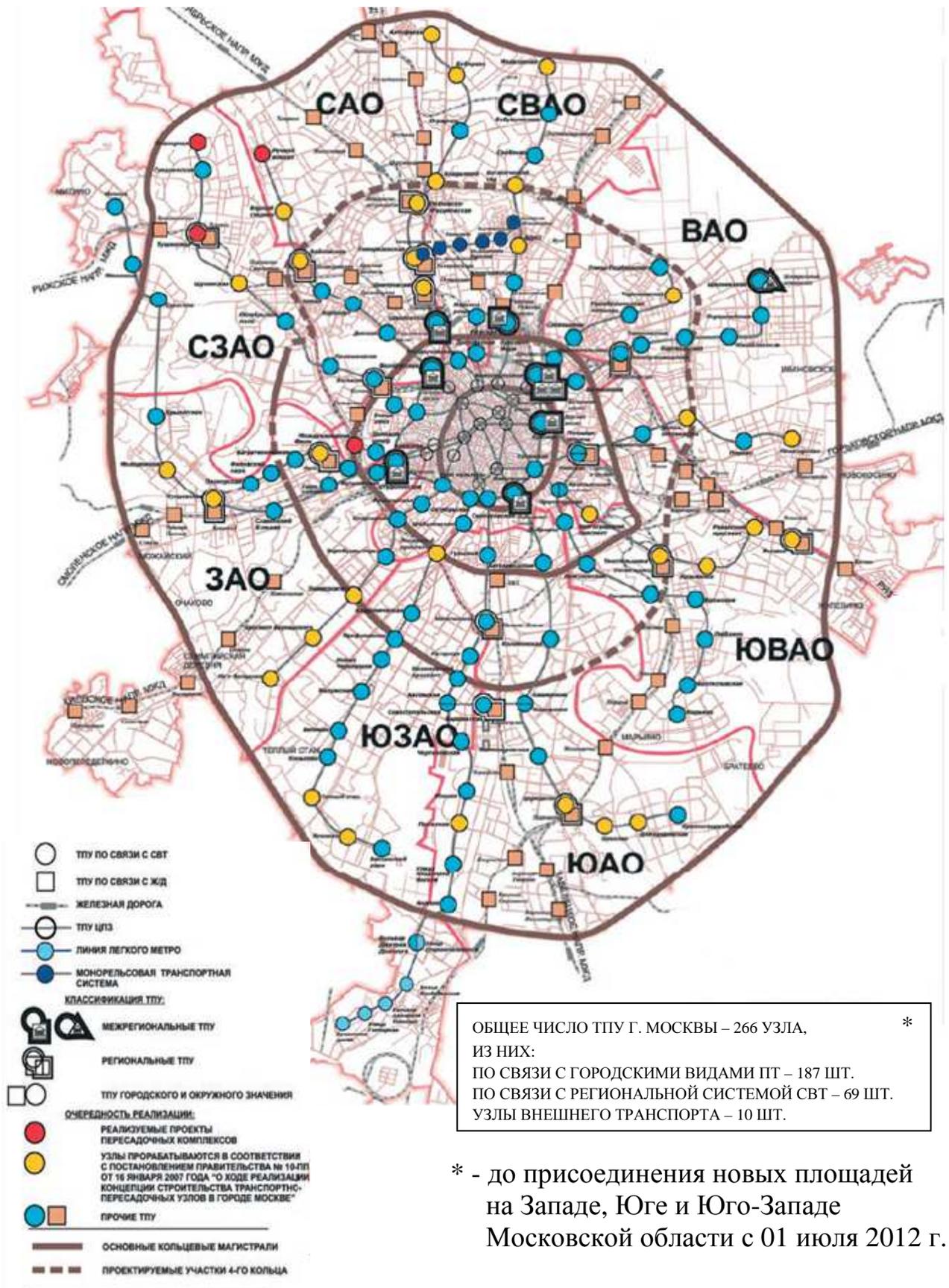
Наименование ТПУ	Технико-эксплуатационные показатели объекта					
	Общая площадь ТПУ, м <sup>2</sup>	Коммерческие площади, м <sup>2</sup>	Залы ожидания, м <sup>2</sup>	Технические помещения, м <sup>2</sup>	Пешеходные коммуникации, м <sup>2</sup>	Паркинг, м <sup>2</sup> /маш.-мест
Тимирязевская	40 377	8 932	8 116	1 959	11 330	<u>10 040</u> 230
Тушино	33 247	8 351	1 315	4 776	4 451	<u>14 354</u> 222
Электrozаводская	18 801	2 677	2 340	1 593	4 528	<u>7 663</u> 174
Курский вокзал	79 174	27 321	22 995	11 577	10 088	<u>7 193</u> 132
Павловск	11 848	707	675	2 213	3 987	<u>4 266</u> 101
Текстильщики	4 520	760	678	1 306	1 776	-
Петровско-Разумовская	28 200	14 400	1 880	2 800	4 320	<u>4 800</u> 125
Царицыно	46 990	13 000	2 100	1 650	5 240	<u>25 000</u> 700
Дмитровская	11 600	1 710	780	1 820	3 190	<u>4 100</u> 100
Выхино	43 490	18 400	1 920	2 430	5 840	<u>14 900</u> 490

Необходимо отметить: накопленный отечественный опыт проектирования и эксплуатации ТПУ учитывает специфику функционирования, технологические требования отечественных транспортных систем, отечественную нормативную базу и законодательство. В соответствии с Государственной программой [48] в Москве и Московском регионе будет сформирована сеть ТПУ, состоящая из:

- 10 – ТПУ внешнего магистрального ж.-д. и автомобильного транспорта (9 ж.-д. вокзалов и Щёлковский автовокзал);
- 69 – ТПУ регионального значения (станции метрополитена, станции или остановочные пункты железной дороги);
- 187 – ТПУ локального (местного) значения, обеспечивающие взаимодействие различных систем городских видов транспорта (наземный пассажирский транспорт, подземный, внеуличные скоростные виды и т.д.).

В 2013 г. в Москве обустроено 150 ТПУ, а общее количество ТПУ в Москве составит 266 (без учета ТПУ центра города, расположенных внутри кольцевой линии Московского метрополитена). Постановлением Правительства Москвы [49] указаны станции метро и ж.-д. остановочные пункты в пределах Москвы, рядом с которыми будут построены ТПУ в период с 2012 по 2020 годов. Схема размещения ТПУ в городе Москве в пределах Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) представлена на рисунке 1.12.

Основу сети ТПУ Москвы в пределах МКАД составляет инфраструктура Московского метрополитена (станции), Московской и Октябрьской железных дорог и автодорожной сети Москвы, а сети ТПУ Московской области – инфраструктура Московской и Октябрьской железных дорог и автодорожная сеть Подмосковья. Сеть ТПУ Московской области представляет собой узлы, работающие на взаимодействии железной дороги и наземных видов пассажирского транспорта (в основном автотранспорт). Такую же сеть имела присоединенная к Москве территория «Новой Москвы», однако, в настоящее время разработана программа развития транспортной сети этой территории, которая кроме расширения ж.-д. и автодорожной её составляющих получит новые линии метрополитена, скоростного трамвая.



\* - до присоединения новых площадей на Западе, Юге и Юго-Западе Московской области с 01 июля 2012 г.

Рисунок 1.12 – Схема размещения ТПУ г. Москвы в пределах МКАД [39]

Старую и Новую Москву соединят три ветки метрополитена. Первую ветку метро продлят до бывшей деревни Румянцево («Юго-Западная» - «Тропарёво» - «Румянцево»). Сокольническую ветку продлят до бывшей деревни Саларьево с одноименной станцией. Согласно проекту развития Новой Москвы в Саларьево планируется создать ТПУ с современной инфраструктурой пропускной способностью свыше 25 тыс. человек.

В состав ТПУ «Саларьево» войдет автовокзал, прехватывающая парковка на 8 тыс. машино-мест, два подземных вестибюля, остановки НПТ. Через ТПУ пройдет одна из артерий Новой Москвы – трасса Солнцево-Бутово-Видное, также отсюда возьмет свое начало ветка скоростного трамвая.

С западного направления метро в Новую Москву пройдет через деревни Солнцево и Новопеределкино, эта ветка станет продолжением Калининско-Солнцевской линии. Еще одна ветка (хордовая линия предположительно вдоль Калужского шоссе), соединит историческую часть столицы с Новой Москвой до поселка Коммунарка.

При формировании сети ТПУ на территории «Новой Москвы» необходимо учитывать опыт их формирования на территории в пределах МКАД [50]. На рисунке 1.13 приведена схема размещения ТПУ на территории «Новой Москвы». В настоящее время рассчитываются транспортные потоки планируемых ТПУ около станции «Румянцево» и в поселке Коммунарка.

Внутригородские перевозки пассажиров ж.-д. транспортом в Москве при взаимодействии железной дороги и НПТ, характеризуются значительно более низкими величинами пассажиропотоков, чем при взаимодействии метрополитена и НПТ, но ТПУ, обеспечивающие пересадку по схеме ж.-д. транспорт – метрополитен – наземный пассажирский транспорт, отличаются максимальными величинами пассажиропотоков и значениями пассажирооборота. Характерными примерами подобных ТПУ являются Выхино, Царицыно, где пассажирооборот в утренний час «пик» составляет соответственно 80 тыс. и 47,2 тыс. пассажиров.

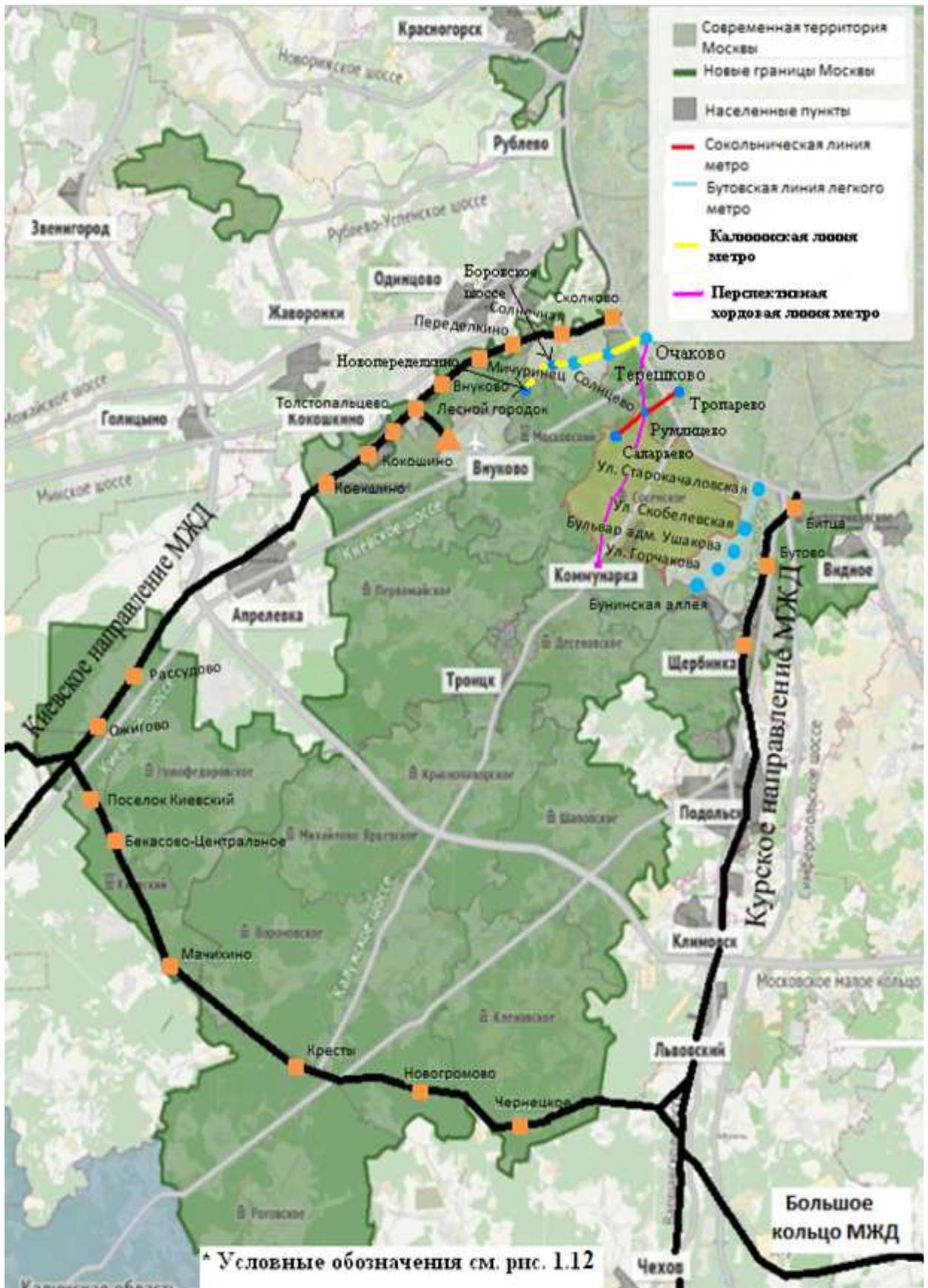


Рисунок 1.13 – Схема размещения ТПУ на территории «Новой Москвы»

Наиболее загружены ТПУ сформировавшиеся на базе вокзальных комплексов Ярославского, Казанского и Курского вокзалов Москвы. В район Комсомольской площади ежедневно прибывает около 150 тыс. пассажиров.

В соответствии с требованиями [51] время перемещения пассажира при пересадке с одного вида транспорта на другой не должно превышать трёх минут (без учета времени ожидания подвижного состава), а максимальная плотность потока пассажиров в ТПУ не должна превышать 1 чел/м<sup>2</sup>.

Исследования, проведенные Институтом Генерального плана Москвы, другими исследовательскими и проектными институтами, показывают, что в наиболее загруженных ТПУ Москвы плотность пассажиропотоков достигает предельных величин (до 8 – 10 чел/м<sup>2</sup>), а в менее загруженных окружных ТПУ в «пиковые» часы максимальные показатели плотности составляют 3 – 6 чел/м<sup>2</sup>. При поездках на работу (и обратно) среднее количество пересадок для москвича составляет 1,9.

Внутрисетевые пересадки (пересадки, совершаемые внутри одной из систем: НПТ – НПТ; ж.-д. транспорт – ж.-д. транспорт и т.д.) и межсетевые пересадки составляют примерно по 50% от общего количества пересадок. Средневзвешенное время поездки в Московском транспортном узле составляет около 65 мин., а время, затрачиваемое на пересадки с одного вида транспорта на другой, составляет от 11% до 20% (от 7,1 до 13 мин.) общего времени поездки, а при поездках через ТПУ исчерпавшие запас пропускной способности пассажиропотоков (Выхино, Новогиреево, Юго-Западная и т.д.) доля времени пересадки может достигать соответственно 25% (16,3 мин.) общего времени поездки. Таким образом, время затрачиваемое сегодня пассажиром на пересадки внутри ТПУ Москвы превышает установленные нормативы в 1,2 – 2 раза.

Нормативным требованиям по времени затрачиваемому пассажиром на пересадку удовлетворяют только ТПУ «Калужский» и ТПУ «Планерная», остальные из-за отсутствия оптимальных схем движения взаимодействующих видов транспорта и перемещения пассажиров, перехватывающих парковок, информации о режимах движения наземного городского пассажирского

транспорта - нет. Планировка, технология функционирования и техническое оснащение большинства ТПУ не соответствуют требованиям нормативов [51] и не обеспечивают необходимого уровня качества транспортного и дополнительного обслуживания пассажиров.

Реализация программ формирования ТПУ в Москве невозможна без реконструкции и развития существующей сети ТПУ, с современными планировочными параметрами и технологиями функционирования [52].

Организация движения электропоездов на Малом ж.-д. кольце Московской железной дороги внесла корректировку в планы формирования и развития Московских ТПУ, программа развития которых предусматривает их формирование на существующих станциях и проектируемых пассажирских остановочных пунктах Малого ж.-д. кольца Московской железной дороги [53]. Проектом предусмотрено строительство 30 пассажирских остановочных пунктов, имеющих связь и взаимодействие с наземными видами городского пассажирского транспорта (автобус, троллейбус, трамвай), а также метрополитеном и ж.-д. транспортом радиальных ж.-д. направлений, из которых 19 будут работать в составе крупных ТПУ имеющих пересадку: 12 – на метрополитен; 6 – на радиальные ж.-д. направления, обеспечивающие в том числе связи городской сети пассажирского транспорта со скоростными линиями в аэропорты Московского региона; 1 – на метрополитен и радиальные ж.-д. направления. К началу 2016 года в составе Малого ж.-д. кольца Московской железной дороги планируется ввести в эксплуатацию все 30 остановочных пунктов различной классности.

С вводом Малого ж.-д. кольца Московской железной дороги (МК МЖД) появится более 350 новых возможных вариантов пересадок для пассажиров при перемещении по городу. Московский мегаполис и система скоростного транспорта Москвы получат дополнительный кольцевой транспортно-пересадочный контур с зоной тяготения по 1 км в каждую сторону от ж.-д. пути, в которой будет полностью изменена и перестроена вся сеть наземной транспортной инфраструктуры пассажирского транспорта.

В формируемых ТПУ Малого ж.-д. кольца Московской железной дороги предусматривается предоставление не только услуг, связанных с процессом перемещения пассажира, но и услуги, связанные с возможностью приобретения товаров повседневного спроса. Аренда коммерческих площадей ТПУ сетевыми предприятиями, использующими прогрессивные технологии обслуживания, а также новыми типами предприятий с инновационными формами и видами обслуживания (предприятия быстрого питания, детские и молодежные кафе, многофункциональными предприятиями семейного отдыха, доступные широким слоям населения, торговые автоматы, платежные терминалы) позволит в перспективе формировать ТПК в состав которых войдут пассажирские комплексы, состоящие из одной «островной» и нескольких накрытых навесами пассажирских платформ, и одного или нескольких теплых пассажирских терминалов, тесно взаимосвязанных с пассажирскими платформами вертикальными коммуникациями, пешеходными лестницами, лифтами и эскалаторами. Терминалы ТПК (надземные и подземные) должны включать в себя все необходимые элементы для обслуживания пассажиров, обеспечивая вход и выход на пассажирские платформы, выполняя распределительные и транзитные функции.

Анализ размещения и категорирования ТПУ Московского мегаполиса позволил сделать вывод о неоднородности их специализации, объемах и характере работы, связанных с положением ТПУ относительно городского центра, радиально-кольцевой системы планировки автотранспортных коммуникаций города и Московского метрополитена, а также ж.-д. транспортной сети Московского ж.-д. узла [54]. Учитывая вышеизложенное, можно выделить три основные группы размещения ТПУ:

- в центральной планировочной зоне (ЦПЗ) города (в границах Кольцевой линии Московского метрополитена), обеспечивающие в основном пересадку пассажиров внутри транспортных коммуникаций метрополитена и подвоз пассажиров маршрутами наземного транспорта;

- в срединной зоне города (от границ ЦПЗ до 4-го транспортного кольца) ТПУ окружного значения, обеспечивающие в основном пересадку пассажиров с системы НПТ на систему скоростного внеуличного транспорта (СВТ);

- в периферийной зоне города (от 4-го Транспортного кольца до МКАД и на территориях расположенных за МКАДом) ТПУ регионального и городского значения – межсетевые узлы, в которых осуществляется пересадка пассажиров с системы НПТ на систему СВТ. К этим ТПУ обеспечивается подвоз пассажиров из районов расположенных вне нормативного радиуса подвоза (2,2 км) к станциям внеуличного транспорта. ТПУ, расположенные на территории Московской области не имеют выраженной дифференциации.

Петербургский ж.-д. узел включает в себя 86 станций и остановочных пункта. В городе работают 5 ж.-д. вокзалов тупикового типа: Финляндский, Витебский, Московский, Ладожский, Балтийский, которые соединены линиями метрополитена. Недостаточные темпы развития метрополитена за последние 20 лет отразились на степени охвата территории Санкт-Петербурга внеуличным скоростным транспортом. В транспортном узле Санкт-Петербурга 11 пунктов стыкования железной дороги и метрополитена. Размещение основных ТПУ Санкт-Петербурга приведено на рисунке 1.14.

В системе ТПУ Санкт-Петербурга отсутствует согласованная работа между внешним и городским наземным пассажирским транспортом. Поэтому планируемое на базе Финляндского вокзального комплекса формирование ТПК позволит объединить ж.-д. перевозки в дальнем и пригородном сообщении, междугородние и международные перевозки. С вокзала уже сейчас курсируют скоростные поезда Allegro сообщением Петербург — Хельсинки, обслуживающие международные ж.-д. перевозки в Финляндию.

Для развития международных пассажирских перевозок автомобильным транспортом в северном и северо-западном направлениях планируется построить автобусный вокзал рядом со станцией метро «Парнас», который будет обслуживать маршруты северных пригородных зон Петербурга (Новоселки,

Агалатово, Сосново, Лесное, Токсово) в близлежащие города Финляндии и северные города России.

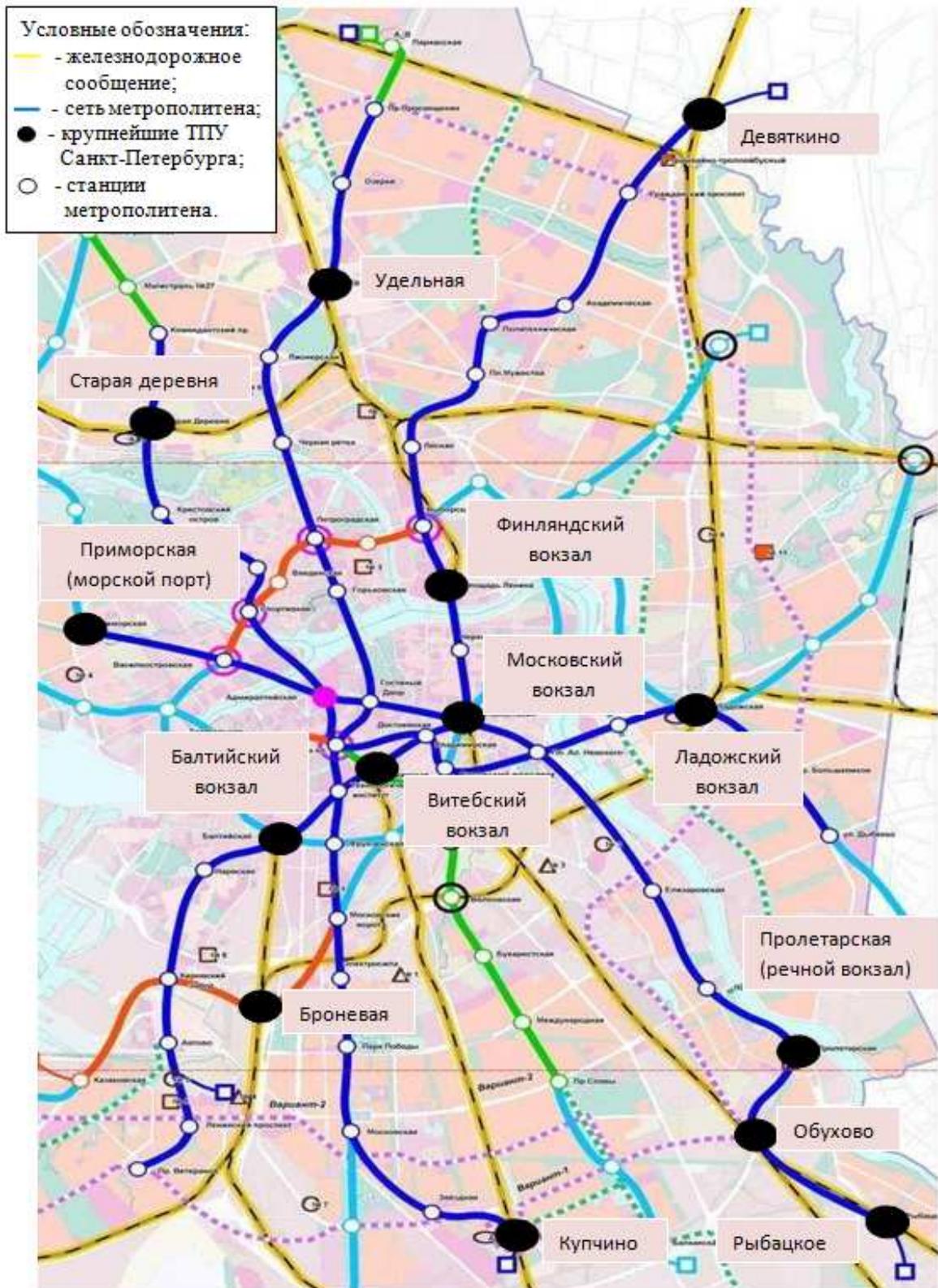


Рисунок 1.14 – Основные ТПУ Санкт-Петербурга

В Нижегородском транспортном узле протяжённость пригородно-городских и городских ж.-д. линий составляет около 80 км (26 станций и остановочных пунктов). Линия метрополитена соединяет вокзал с автозаводом и «спальными» районами. Метрополитен обслуживает заречную и центральную части города.

Новосибирский транспортный узел – около 60 км ж.-д. линий с 20 станциями и остановочными пунктами. ТПУ города сформированы на базе ж.-д. вокзала Новосибирск-Главный, автовокзала, аэропорта Толмачёво, а также станций Новосибирского метрополитена, включающего две линии и 13 станций. Основу транспортной сети Новосибирска составляют сети железной дороги и метрополитена.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Проблема формирования новых и развития существующих ТПУ является частью большой научной проблемы улучшения транспортной ситуации в крупных городах и мегаполисах, решение которой направлено на повышение эффективности пассажирских (внутригородских и пригородно-городских) перевозок, степени взаимодействия различных видов внешнего и внутреннего пассажирского транспорта и в конечном итоге на улучшение качества обслуживания пассажира.

2. Анализ зарубежного опыта формирования и развития ТПУ позволил выделить следующие основные мировые тенденции:

- формирование комплексных ТПУ в которых взаимодействуют внешние (ж.-д., автомобильный, воздушный, морской) и внутренние (метрополитен, монорельс, трамвай, автобус и др.) виды транспорта;

- концентрация и оптимизация числа ТПУ в городах с целью рационализации используемых городских территорий и уменьшения числа внутриузловых пересадок пассажира;

- формирование структуры и планировки ТПУ на основе многоэтажных (надземных) и многоярусных (подземных) технических решений с целью

концентрации и рационализации размещения в ТПУ инфраструктуры взаимодействующих видов транспорта и уменьшения времени, затрачиваемого пассажиром на перемещение в пределах ТПУ, при пересадке с одного вида транспорта на другой;

- создание многоцелевых (многопрофильных) ТПУ, в состав которых входят не только площади с транспортной инфраструктурой, но и значительные объемы коммерческих площадей, предназначенных для оказания пассажиру и посетителю широкого спектра услуг, не связанных непосредственно с перевозочным процессом.

3. Реализация общемировых тенденций формирования и развития ТПУ позволила органично вписать их в транспортные системы крупных городов и мегаполисов Европы, США, Японии, превратив многие из них в крупные бизнес-центры, высокотехнологические транспортные и торгово-сервисные предприятия, оказывающие широкий спектр услуг не только пассажирам, но и другим пользователям.

4. Анализ отечественного опыта формирования и развития ТПУ показал, что последовательность их формирования и развития, число и планировочная структура определяются культурно-историческим развитием, планировочной структурой городов, развитием их транспортной сети, экономического потенциала и географического положения, особенностями транспортной системы.

5. Значительная часть существующих ТПУ России исторически сформировалась на базе ж.-д. вокзалов как основного вида магистрального транспорта, долгие годы доминировавшего в объемах и дальности перевозок, а также в величине пассажирооборота. С развитием других видов транспорта (автомобильный, метрополитен) ТПУ начинают формироваться на базе автовокзалов, станций метрополитена. Вместе с тем, сформированные к настоящему времени ТПУ имеют устаревшие, не соответствующие современным условиям функционирования, новым требованиям и направлениям развития планировочные решения.

6. Учитывая значительную долю ТПУ, сформированных и формируемых с участием ж.-д. транспорта и на базе элементов инфраструктуры пассажирских обустройств ж.-д. транспорта, включая ж.-д. вокзальные комплексы, необходимо детальное исследование и проработка вопросов, связанных с процессами их формирования и функционирования.

## 2 ПАРАМЕТРЫ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ, ФОРМИРУЕМЫХ С УЧАСТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

### 2.1 Определение термина и уточнение признаков классификации ТПУ

Анализ истории создания и направлений формирования ТПУ в России, зарубежного опыта формирования ТПУ, тенденций их преобразования в ТПК, перспектив их развития позволяет сделать вывод о необходимости уточнений определений современных ТПУ и ТПК.

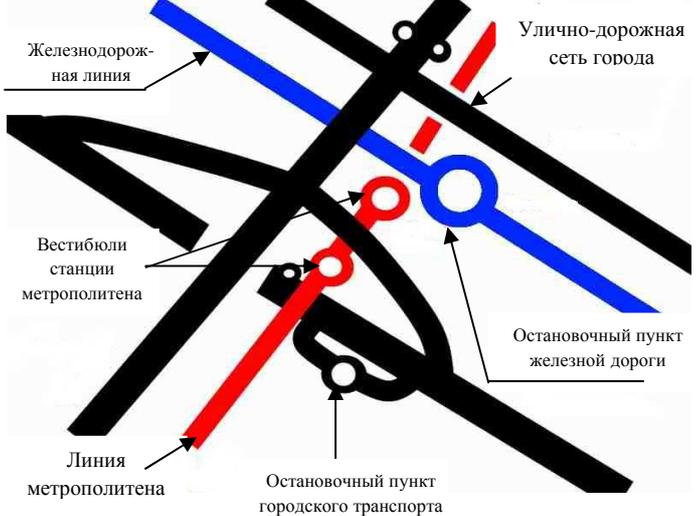
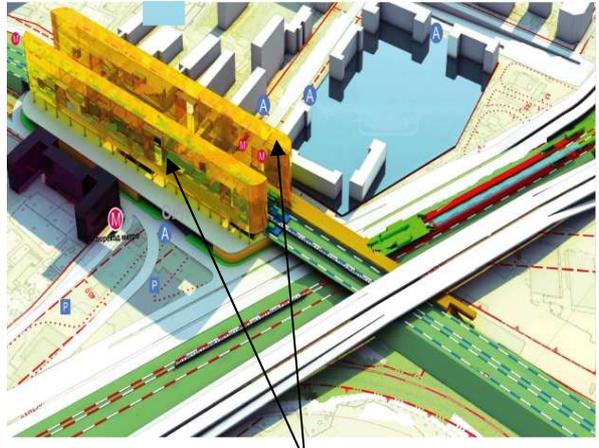
В настоящее время в различных монографиях, справочниках, учебниках и учебных пособиях [43, 55-60] встречаются различные варианты определений ТПУ, базирующихся преимущественно на их транспортной составляющей. В 2013 г. понятие «транспортно-пересадочный узел» было включено в Градостроительный кодекс Российской Федерации [61].

ТПУ сегодня постоянно трансформируются, осваивая множество функций, при этом основной, но не определяющей его структурное содержание является транспортная функция, а дополнительными функциями являются коммуникационная, торговая, культурно-развлекательная, социальная и др.

Для исследования взаимодействия объектов инфраструктуры и формирования пассажиропотоков в транспортных узлах, ТПУ и ТПК уточним их базовые схемные решения и используемую терминологию. Используемая терминология и базовые схемные решения объектов исследования приведены в таблице 2.1.

Сложность структуры ТПУ определяется числом объектов (элементов) инфраструктуры, входящих в его состав (ж.-д. вокзальные комплексы, станции метрополитена, морские и речные вокзалы, аэропорты, остановки городского пассажирского транспорта и т.п.), мощностью обслуживаемых транспортных потоков и пешеходных пассажиропотоков, разветвленностью технологических связей между отдельными его объектами (элементами) и степенью их взаимодействия; условиями их эксплуатации и т.д.

Таблица 2.1 – Терминология и базовые схемные решения объектов исследования

№ п/п	Термин и определение	Базовое схемное решение, план, профиль
1	<p><b>Транспортный узел (ТУ)</b> – географический пункт, в котором сходятся разные виды транспорта (железнодорожный, водный, автомобильный, воздушный, городской и др.) и происходит взаимная передача пассажиров и грузов с одного вида транспорта на другой [59].</p>	 <p>Железнодорожная линия</p> <p>Улично-дорожная сеть города</p> <p>Вестибулы станции метрополитена</p> <p>Линия метрополитена</p> <p>Остановочный пункт железной дороги</p> <p>Остановочный пункт городского транспорта</p>
2	<p><b>Транспортно-пересадочный узел (ТПУ)</b> – комплекс объектов недвижимого имущества, включающий в себя земельный участок либо несколько земельных участков с расположенными на них, над или под ними объектами транспортной инфраструктуры, а также другими объектами, предназначенными для обеспечения безопасного и комфортного обслуживания пассажиров в местах их пересадок с одного вида транспорта на другой [61].</p>	 <p>Метро</p> <p>Город</p> <p>Город</p> <p>Пешеходный мост</p> <p>Остановка наземного пассажирского транспорта</p> <p>ТПУ</p> <p>ОП железных дорог</p> <p>Пешеходный переход</p> <p>П</p>
3	<p><b>Транспортно-пересадочный комплекс (ТПК)</b> – совокупность элементов транспортно-пересадочного узла, объединенных с объектами социальной, сервисной и торгово-развлекательной инфраструктуры с целью обеспечения не только комфортной пересадки пассажиров, но и оказания им, а также жителям города (района мегаполиса) комплекса услуг в соответствии с профилем инфраструктуры комплекса [60].</p>	 <p>Коммерческие площади</p>

Приведенные формулировки указывают на разнообразие определений мест взаимодействия различных видов транспорта. ТПУ, обладая многими свойствами сложных технологических систем, представляет собой конкретный объект с конструктивными техническими и технологическими решениями, имеющий индивидуальную архитектурно-планировочную структуру и оказывающий большое влияние на развитие не только близлежащих территорий, но и в значительной степени на часть города, а иногда на весь город. В связи с этим важно правильно предвидеть и направить перспективное развитие этих двух технических и технологических систем. На практике эта задача решается путем логических обоснований, определяемых опытом и квалификацией проектировщиков.

Эффективность пассажирских транспортных систем ТПУ неодинакова для различных условий и технологий транспортного обслуживания жителей крупных городов и городских агломераций. В этой связи становится актуальной стройная и однозначная классификация ТПУ, позволяющая наиболее эффективно планировать перспективу развития их пассажирских транспортных систем.

Вопросы классификации ТПУ научной общественностью в настоящее время обсуждается довольно часто. Каждый автор освещает проблему с точки зрения конкретного научного исследования. Обобщим показатели и критерии различных вариантов классификации ТПУ и выявим те, которые более всего удовлетворяют задачам анализа функционирования ТПУ различных типов, объединив их в единый классификатор.

Наиболее часто классификацию ТПУ используют для формирования перечня и расчета объемов услуг, предоставляемых пассажирам и посетителям ТПУ, а также определения структуры, состава и размера зон обслуживания пассажиров и технологических зон, выделяемых в составе ТПУ.

Развитие ТПУ в Московском мегаполисе [57], а также в других крупных городах должно подчиняться определенным правилам, систематизация которых позволит рационализировать затраты на формирование сети ТПУ различного уровня и класса. Несмотря на выполнение ТПУ множества функций,

транспортная функция является основной, поэтому классификацию ТПУ, учитывающую транспортную составляющую нужно сформировать по принципу, который позволит установить отдельные классификационные признаки:

- назначение ТПУ;
- уровень величины пассажиропотока;
- виды пересадок, реализуемых в ТПУ;
- уровень обеспечиваемых межтранспортных связей.

Назначение ТПУ (первый классификационный признак) – удобная и быстрая пересадка пассажиров между видами транспорта, взаимодействующими в ТПУ или внутри системы одного вида транспорта. Необходимо отметить, что во всех перечисленных случаях пересадки имеет место попутное обслуживание пассажиров и посетителей ТПУ на его объектах социальной и торговой инфраструктуры. В соответствии с результатами исследования, изложенного в [57] в зависимости от назначения и выполняемых функций ТПУ делятся на два типа (региональные и городские) с определенными классификационными признаками, которые позволяют отнести их к одному или другому типу.

*Региональные ТПУ* – ТПУ, обеспечивающие пересадку пассажиров пригородных видов транспорта, наземных видов городского пассажирского транспорта и метрополитена, а также попутное обслуживание пассажиров и посетителей ТПУ объектами социальной и торговой инфраструктуры. Характерными примерами таких узлов в Московском мегаполисе являются ТПУ, сформированные на базе станций метрополитена Выхино, Царицыно, Тимирязевская, Нижние Котлы, Нагатинская и др.

*Городские ТПУ* - ТПУ, обеспечивающие пересадку пассажиров системы НРТ и метрополитена, а также попутное обслуживание пассажиров и посетителей ТПУ объектами социальной и торговой инфраструктуры. Примерами таких узлов в Московском мегаполисе являются ТПУ, сформированные на базе станций метрополитена: Петровско-Разумовская, Сокол, Университет, Строгино, Академическая и др.

В монографии [39] Власов Д.Н. дополняет существующую классификацию ТПУ определением межрегионального ТПУ.

*Межрегиональные ТПУ* – ТПУ, в которых осуществляется пересадка пассажиров внешнего и пригородного транспорта между собой и на различные системы городского пассажирского транспорта (ГПТ), а также попутное обслуживание пассажиров и посетителей ТПУ объектами социальной и торговой инфраструктуры. Характерными примерами таких узлов являются ТПУ, сформированные на базе ж.-д. вокзальных комплексов Московского ж.-д. узла: Ярославского, Казанского, Курского и др., а также автовокзала у станции метро «Щелковская», аэровокзала и аэропортов узла.

Величина пассажиропотока ТПУ (второй классификационный признак) – показатель, основанный на численности пассажиров, проходящих через ТПУ в «пиковые» часы. Количественные показатели работы ТПУ при определении их функциональных характеристик позволяют точнее их дифференцировать, учитывая характер взаимосвязей с окружающей инфраструктурой города. Однако применение этих критериев осложняется тем, что вопросы сбора, хранения и обмена статистической информацией в системе город – ТПУ недостаточно изучены.

Выделим четыре классификационные группы ТПУ: малые, средние, крупные и сверхкрупные ТПУ. В качестве количественных значений показателя используем результаты исследования [39], тогда:

- 18 и менее тыс. пассажиров в утренний «час-пик» – малые ТПУ;
- от 18 до 35 тыс. пассажиров в утренний «час-пик» – средние ТПУ;
- от 35 до 50 тыс. пассажиров в утренний «час-пик» – крупные ТПУ;
- 50 тыс. пассажиров в утренний «час-пик» и более - сверхкрупные ТПУ.

Виды пересадок, реализуемых в ТПУ. Если рассматривать все возможные виды пересадок, реализуемых в ТПУ, то ТПУ подразделяют на два основных типа: *внутрисетевые* и *комплексные*.

Внутрисетевые ТПУ обеспечивают пересадку внутри одной системы пассажирского транспорта. Например, городской наземный пассажирский транспорт - городской наземный пассажирский транспорт; скоростной внеуличный транспорт (метрополитен) – скоростной внеуличный транспорт и т.п.

Комплексные ТПУ обеспечивают пересадку между следующими видами транспорта в различных комбинациях:

- внешний транспорт (обеспечивает транспортные связи различных регионов между собой);
- региональный транспорт (обеспечивающий транспортные связи между городом и пригородом);
- городской скоростной внеуличный транспорт;
- городской наземный пассажирский транспорт.

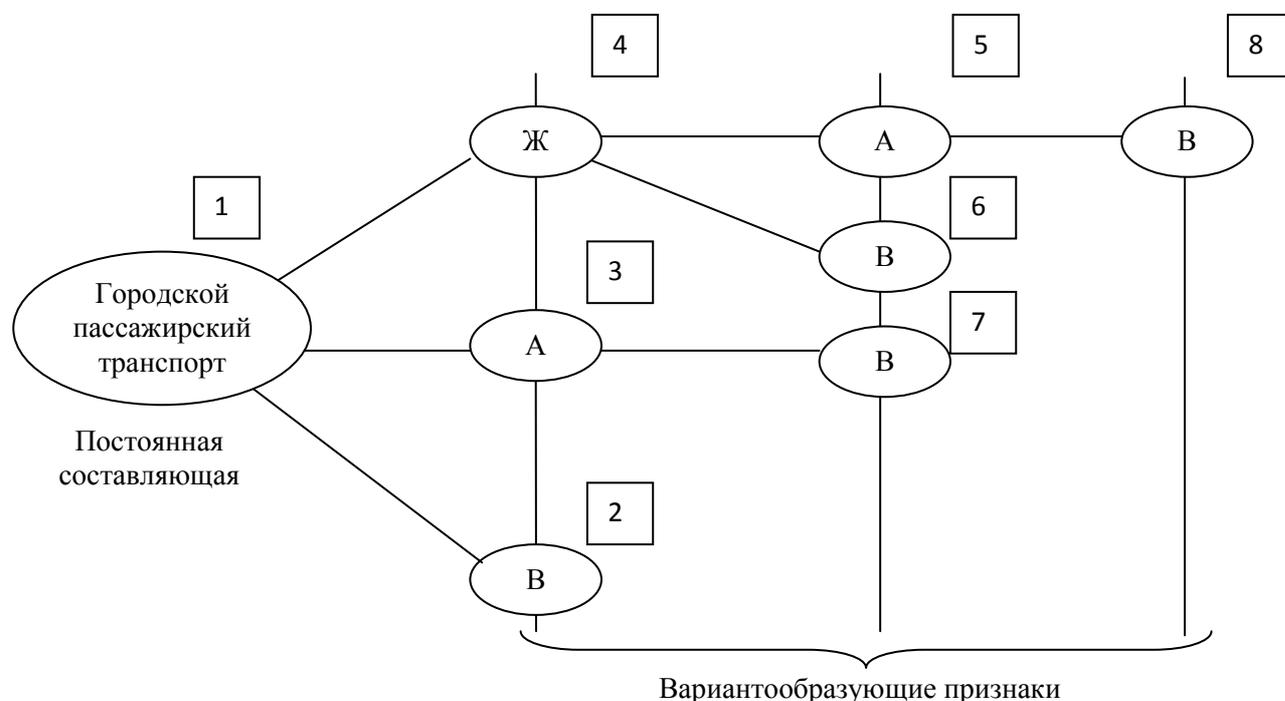
Уровень обеспечиваемых межтранспортных связей в ТПУ. При классификации ТПУ необходимо учитывать виды взаимодействующего транспорта через постоянные и переменные составляющие транспортных систем [63].

Постоянная составляющая – городской пассажирский транспорт (автобусы, трамваи, троллейбусы, метрополитен, монорельс и т.п.), а переменная – ж.-д. транспорт, авиационный транспорт, водный транспорт. Возможные типы ТПУ в такой классификации приведены в виде графа на рисунке 2.1, вершины которого образуют кластерное множество. Цифры вершин графа указывают возможный тип и группу, в которую входит ТПУ.

Помимо транспортной классификации выделяют *градостроительную классификацию* ТПУ [57], которая рассматривает ТПУ как важнейший элемент планировочной структуры города и определяет положение ТПУ относительно системы центров, утвержденной в составе Генплана развития города.

На сегодняшний день помимо центрального ядра города различают два вида центров: городские многофункциональные центры и локальные общественные центры. Основное назначение градостроительных центров – развитие

полицентрической системы города. В соответствии с существующей системой центров выделим ТПУ: центрального ядра города, городского общественного центра, локального общественного центра, расположенные вне системы городских центров.



Условные обозначения:

Ж, А, В – переменные составляющие видов транспорта в ТПУ, соответственно:  
железнодорожный, авиационный и водный;

1, 2 ... 8 – номер группы в классификаторе ТПУ

Рисунок 2.1 – Граф возможных типов ТПУ по группам в зависимости от видов взаимодействующего транспорта

Классификация ТПУ в виде структурной схемы включающей транспортную и градостроительную её составляющую приведена на рисунке 2.2.

Выделив наиболее значимые признаки и критерии, характеризующие особенности функционирования ТПУ различных типов сформируем общий классификатор ТПУ по группам и категориям, который приведен в таблице 2.2.

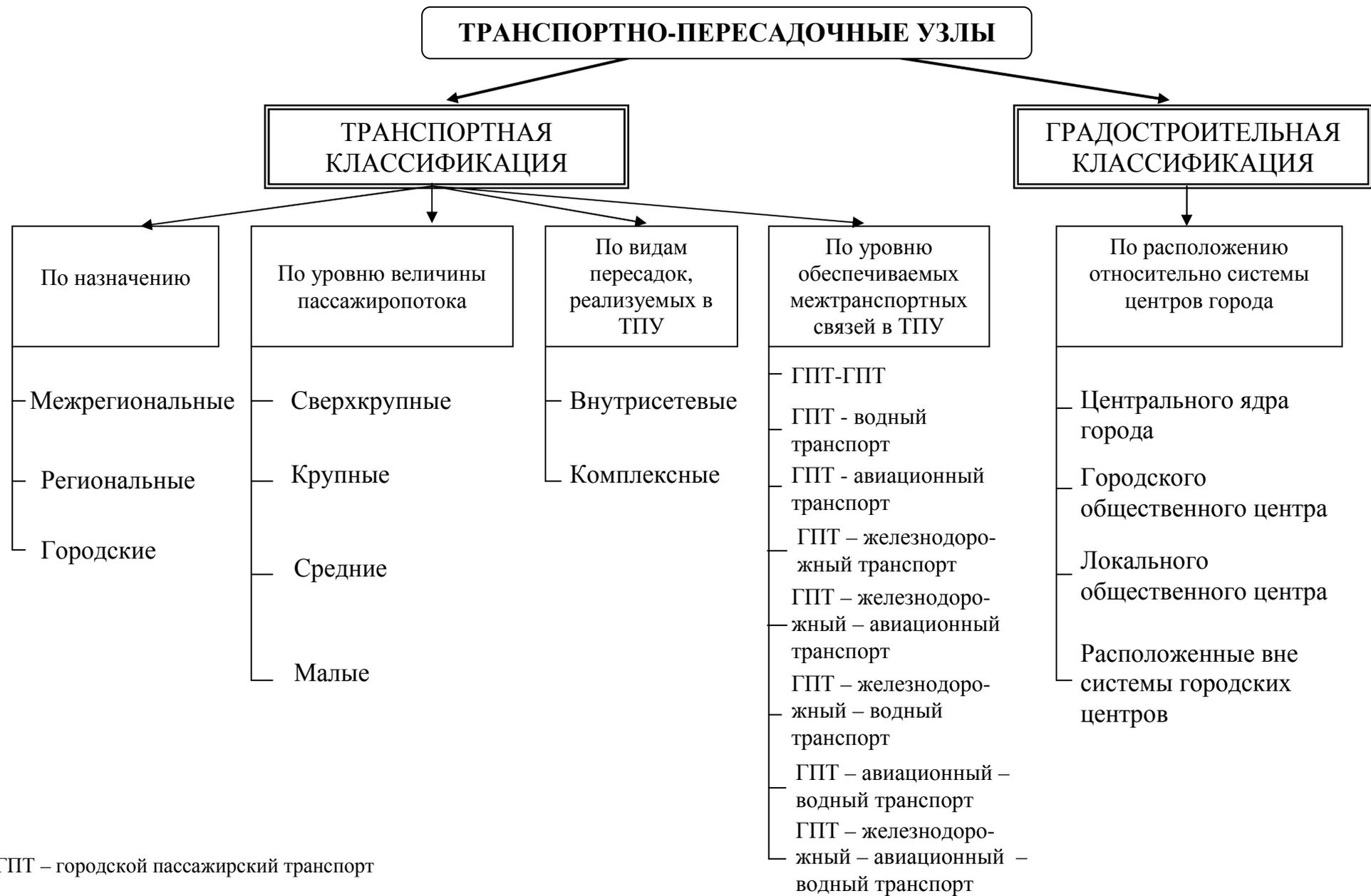
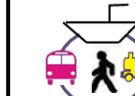


Рисунок 2.2 – Классификация транспортно-пересадочных узлов

Таблица 2.2 – Классификатор ТПУ по группам и категориям

Наименование показателя	Структура и величина показателя							
	IV	III			II			I
Группа ТПУ	1	2	3	4	5	6	7	8
Планировочное решение ТПУ	плоскостной	плоскостной	многоуровневый	плоскостной	многоуровневый	плоскостной	многоуровневый	многоуровневый
Структурная схема ТПУ								
Перехватывающая парковка	-	+	-	-	+	+	+	+
Вид пересадок, реализуемых в ТПУ	внутрисетевые	комплексные	комплексные	комплексные	комплексные	комплексные	комплексные	комплексные
Пассажиропоток ТПУ в утренний «час-пик», тыс. пас.	< 18	18-35	18-35	18-35	35-50	35-50	35-50	> 50
Размещение на плане города	по всей территории города	вблизи центральной, в срединной и периферийных зонах города	в периферийных зонах города	вблизи центральной, в срединной и периферийных зонах города	в периферийной зонах города	вблизи центральной, в срединной и периферийной зонах города	в периферийной зонах города	в периферийных зонах города
Тип ТПУ	городские	региональные	межрегиональные	региональные	межрегиональные	региональные	межрегиональные	межрегиональные

Условные обозначения:  – городской пассажирский транспорт;  – железнодорожный транспорт;  – авиатранспорт;  – водный транспорт

Кроме упоминаемых ранее характеристик ТПУ, таких как: виды пересадок, реализуемых в ТПУ, пассажиропоток ТПУ в утренний «час-пик», тип и группа ТПУ вводятся дополнительные критерии – планировочное решение ТПУ, размещение на плане города, наличие перехватывающей парковки.

В соответствии с предложенным классификатором все ТПУ делятся на четыре категории в зависимости от пассажиропотока ТПУ в утренний «час-пик». Группы ТПУ выделяются в соответствии с графом, приведенном на рисунке 2.1. Так ТПУ первой категории включают в себя 8-ю группу ТПУ (взаимодействуют городской пассажирский, ж.-д., водный, авиатранспорт) и подразумевает наличие или строительство многоуровневого ТПУ.

## 2.2 Классификация ТПУ, сформированных с участием железнодорожного транспорта

В крупных, крупнейших ж.-д. узлах, входящих в транспортные узлы и имеющих разветвленную сеть железных дорог, формирование ТПУ (со значительными корреспонденциями пассажиропотоков) обеспечивающих взаимодействие сети железных дорог с транспортными сетями других видов транспорта в большинстве случаев происходит на базе подразделений инфраструктуры ж.-д. транспорта: головных пассажирских станций, зонных станций, остановочных пунктов.

В процессе разработки рациональной технико-технологической структуры ТПУ, оценки перспектив необходимости и этапности их развития с минимизацией затрат на реконструкцию и сооружение, а также при экспертизе проектных и предпроектных решений, одним из важнейших вопросов является выделение классификационных групп ТПУ схожих по особенностям сформированной инфраструктуры и условиям функционирования. Особенностью задачи классификации ТПУ сформированных и формируемых с участием ж.-д. транспорта, является то, что сеть железных дорог в пределах крупнейших городов и мегаполисов, как правило, практически сформировалась, поэтому направления

ж.-д. участков, размещение на них пассажирских и зонных с вокзалами и вокзальными комплексами и остановочных пунктов с пассажирскими павильонами при формировании ТПУ, за редким исключением, можно считать заданным. Это связано с тем, что изменение направления трасс ж.-д. участков, перенос станций и остановочных пунктов потребует значительных капиталовложений. Сеть метрополитена и других видов городского пассажирского транспорта в крупных городах находится в стадии активного развития и формирования. Анализ инфраструктуры и технологии работы ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта, в Московском ж.-д. узле позволил сгруппировать их отдельные типы и выделить классификационные группы и подгруппы.

Инфраструктура ж.-д. транспорта в ТПУ, как отмечалось выше, в крупных ж.-д. узлах, чаще всего представлена головными пассажирскими станциями, зонными станциями и остановочными пунктами, а также числом ж.-д. линий, входящих в ТПУ. Поэтому классификация ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта должна учитывать две группы ТПУ по числу ж.-д. линий объединенных в ТПУ (одна или две и более), а также подгруппы ТПУ внутри групп в зависимости от типа отдельного пункта и мощности его пассажирских обустройств, на базе которого формируется ТПУ. Таким образом, в первой группе возможны три, сформированных с участием ж.-д. транспорта, подгруппы ТПУ, в состав которых входит одна станция или один остановочный пункт одной ж.-д. линии:

первая подгруппа – ТПУ, сформированные на базе остановочного пункта и его пассажирских обустройств;

вторая подгруппа – ТПУ, сформированные на базе зонной станции и её пассажирских обустройств;

третья подгруппа – ТПУ, сформированные на базе головной пассажирской станции и её вокзального комплекса.

Во вторую группу входят ТПУ в состав которых входят два и более остановочных пункта или две и более станции двух и более ж.-д. линий с соответствующими подгруппами и возможными вариантами.

Внутри каждой группы и подгрупп возможны различные варианты формирования инфраструктуры и взаимодействия ж.-д. транспорта с индивидуальным автотранспортом (постоянная составляющая во всех вариантах пересадки), с наземным городским пассажирским транспортом (автобусы, троллейбусы, трамваи, метрополитен, монорельсовый транспорт), а также водным транспортом и авиатранспортом, включая варианты взаимодействия в ТПУ подвижного состава и инфраструктуры ж.-д. транспорта двух и более ж.-д. линий.

В таблице 2.3 систематизированы ТПУ сформированные и формируемые с участием ж.-д. транспорта, в зависимости от взаимодействующих в них видов транспорта, типа планировочного решения, уровня величины пассажиропотока, приведены принципиальные схемы корреспонденций пассажиропотоков, а также примеры ТПУ Московского железнодорожного узла наиболее полно соответствующие приведенной классификации. Уровень величины пассажиропотока в ТПУ устанавливалась в соответствии с классификацией, рассмотренной в пункте 2.1 диссертации.

В представленных в таблице 2.3 видах транспорта взаимодействующих в ТПУ и корреспонденций их пассажиропотоков, можно выделить виды транспорта, обеспечивающие прибытие основного распределяемого объема пассажиропотока, и виды транспорта со значительно меньшей величиной пассажиропотока, существенно не влияющей на планировочную структуру и функционирование ТПУ. К первым в рассматриваемых ТПУ, как правило, относится ж.-д. транспорт и метрополитен, а ко вторым – авиатранспорт, наземный пассажирский транспорт, индивидуальный автотранспорт, водный транспорт.

Таблица 2.3 – Систематизация ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта

№ п/п	Виды транспорта взаимодействующие в ТПУ	Корреспонденции пассажиропотоков в ТПУ	Тип планировочного решения ТПУ	Пассажиропоток ТПУ в утренний «час-пик»	Пример ТПУ в Московском железнодорожном узле
1. ТПУ, в состав которых входит одна железнодорожная линия					
1.1 ТПУ на базе остановочного пункта железнодорожного транспорта					
1.1.1	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт		Плоскостной	до 18 тыс. пас.	Хлебниково
1.1.2	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт		Плоскостной	18-35 тыс. пас.	Долгопрудная
1.1.3	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – метрополитен		Плоскостной	35-50 тыс. пас.	Выхино
			Многоуровневый		Тимирязевская

1.1.4	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – авиатранспорт		Многоуровневый	35-50 тыс. пас.	Возможный вариант
1.1.5	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – водный транспорт		Плоскостной	18-35 тыс. пас.	Возможный вариант
1.1.6	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – водный транспорт – метрополитен		Многоуровневый	35-50 тыс. пас.	Возможный вариант
1.2 ТПУ на базе зонной железнодорожной станции					
1.2.1	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт		Плоскостной	18-35 тыс. пас.	Икша

<p>1.2.2</p>	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – метрополитен</p>		<p>Многоуровневый</p>	<p>Более 50 тыс. пас.</p>	<p>Царицыно</p>
<p>1.2.3</p>	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – водный транспорт</p>		<p>Плоскостной</p>	<p>18-35 тыс. пас.</p>	<p>Возможный вариант</p>
<p>1.2.4</p>	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – водный транспорт – метрополитен</p>		<p>Многоуровневый</p>	<p>35-50 тыс. пас.</p>	<p>Возможный вариант</p>
<p>1.2.5</p>	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – внешний автотранспорт</p>		<p>Плоскостной</p>	<p>18-35 тыс. пас.</p>	<p>Дмитров</p>

1.2.6	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – метрополитен – внешний автотранспорт</p>		Многоуровневый	35-50 тыс. пас.	Возможный вариант
1.2.7	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – водный транспорт – внешний автотранспорт</p>		Плоскостной	18-35 тыс. пас.	Возможный вариант
1.2.8	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – метрополитен – внешний автотранспорт</p>		Многоуровневый	35-50 тыс. пас.	Возможный вариант
1.3 ТПУ на базе головной пассажирской станции					
1.3.1	<p>Железнодорожный транспорт – наземный пассажирский транспорт – индивидуальный автотранспорт</p>		Плоскостной	18-35 тыс. пас.	Дубна

1.3.2	Железнодорожный пассажирский транспорт – наземный индивидуальный автотранспорт – метрополитен		Многоуровневый	35-50 тыс. пас.	Белорусский
1.3.3	Железнодорожный пассажирский транспорт – наземный индивидуальный автотранспорт – водный транспорт – метрополитен		Многоуровневый	Более 50 тыс. пас.	Киевский
2. ТПУ, в состав которых входят остановочные пункты, зонные или головные пассажирские станции нескольких железнодорожных линий					
2.1	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт		Плоскостной	18-35 тыс. пас.	Перово-Чухлинка
			Многоуровневый		Возможный вариант
2.2	Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – метрополитен		Многоуровневый	35-50 тыс. пас.	Возможный вариант

Продолжение таблицы 2.3

<p>2.3</p>	<p>Железнодорожный транспорт – наземный пассажирский транспорт – индивидуальный автотранспорт – метрополитен</p>	<p>The diagram for station 2.3 shows a central 'ОП ж.д.' (Railway Stop) box. Above it are three boxes: 'Стоянка индивидуального автотранспорта' (Individual car parking), 'Головная ж.д. станция' (Main railway station), and 'Остановки наземного пассажирского транспорта' (Surface passenger stops). To the right is a 'Метро' (Metro) box. Bidirectional arrows connect 'Стоянка индивидуального автотранспорта' to 'Головная ж.д. станция', 'Остановки наземного пассажирского транспорта', and 'Метро'. Bidirectional arrows also connect 'Головная ж.д. станция' to 'ОП ж.д.', 'Остановки наземного пассажирского транспорта', and 'Метро'. Bidirectional arrows connect 'ОП ж.д.' to 'Остановки наземного пассажирского транспорта' and 'Метро'. A dashed line extends from the 'Метро' box to the right.</p>	<p>Многоуровневый</p>	<p>35-50 тыс. пас.</p>	<p>Москва-Бутырская</p>
<p>2.4</p>	<p>Железнодорожный транспорт – индивидуальный автотранспорт – наземный пассажирский транспорт – метрополитен</p>	<p>The diagram for station 2.4 shows a central 'ОП ж.д.' (Railway Stop) box. Above it are 'Остановки наземного пассажирского транспорта' (Surface passenger stops) and 'Метро' (Metro). Below it is 'Стоянка индивидуального автотранспорта' (Individual car parking). Bidirectional arrows connect 'Остановки наземного пассажирского транспорта' to 'Метро' and 'ОП ж.д.'. Bidirectional arrows connect 'Метро' to 'ОП ж.д.'. Bidirectional arrows connect 'ОП ж.д.' to 'Стоянка индивидуального автотранспорта'. A dashed line extends from the 'Метро' box to the right. A diagonal box labeled 'ОП ж.д.' is shown at the bottom right, with an arrow pointing towards the main 'ОП ж.д.' box.</p>	<p>Многоуровневый</p>	<p>35-50 тыс. пас.</p>	<p>ТПУ Окружная</p>

В зависимости от величины ТПУ и степени развития транспортных сетей города, мегаполиса возможно и другое объединение видов транспорта, обеспечивающих прибытие в него основных пассажиропотоков: метрополитен – наземный пассажирский транспорт и др.

Возможное взаимное расположение взаимодействующих в ТПУ систем пассажирского транспорта позволяет сформировать два варианта планировочных решений ТПУ: плоскостного или многоуровневого. В плоскостном ТПУ пересадка пассажиров между пассажирскими системами взаимодействующих видов транспорта осуществляется в одном (наземном) уровне, а в многоуровневом ТПУ – в разных (наземном, подземном или надземном).

Создание плоскостного ТПУ включает в себя строительство или реконструкцию в ТПУ объектов транспортного назначения («перехватывающие» парковки, отстойно-разворотные площадки, пассажирские платформы и т.д.); покрытие посадочных перронов навесами (для защиты пассажиров от атмосферных осадков); упорядочение объектов мелкорозничной торговли; создание пространственно-функциональной взаимосвязи между отдельными элементами ТПУ и т.д. Многоуровневая планировочная организация подразумевает создание в ТПУ ТПК, предназначенного обеспечивать комфортных условий пересадки с одного вида транспорта на другой (железная дорога – метрополитен) или внутри одного вида транспорта (с пригородного на региональное ж.-д. сообщение).

Каждый уровень многоуровневого ТПК имеет свое назначение (специализацию) и объединяет все основные элементы ТПУ: основные и дополнительные пешеходные пути; пассажирские залы ожидания; посадочные перроны; «перехватывающие» парковки и т.д. Как правило, многоуровневая планировка характерна для ТПУ, включающих в себя головную ж.-д. станцию с вокзальным комплексом. Примером формирования многоуровневого ТПУ с участием ж.-д. транспорта является сооружение и ввод в эксплуатацию нового Центрального ж.-д. вокзала в Берлине (Hauptbahnhof), который имеет пять ярусов и сооружен в месте пересечения в разных уровнях двух многопутных ж.-д. линий,

пути которых вместе с пассажирскими платформами образуют два самостоятельных перронных парка.

Развитие транспортной инфраструктуры Московского мегаполиса, внедрение в эксплуатационный перевозочный процесс новых видов транспорта (скоростной трамвай, монорельсовый транспорт) усложняют планировочную организацию ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта. Однако в любом случае оптимальное планировочное решение ТПУ должно обеспечивать выполнение следующих обязательных требований: создание комфортных условий пересадки для пассажиров; минимальные потери времени на пересадку; безопасность пассажиров; информативность.

### 2.3 Элементы инфраструктуры ТПУ, выделение параметров ТПУ

Взаимное размещение в ТПУ инфраструктуры взаимодействующих видов транспорта, а также других коммуникационных элементов определяет его планировочную организацию. В планировке любого ТПУ, в том числе сформированного с участием ж.-д. транспорта можно выделить три основных зоны [57]: операционную (технологическую или транспортную) зону, зону дополнительного обслуживания (общественная зона) и служебную зону.

*Операционная или технологическая (транспортная) зона* включает в себя площади, используемые для предоставления обязательных (транспортных) услуг пассажирам ТПУ. В этих зонах располагают следующие основные элементы ТПУ: «перехватывающие» и муниципальные парковки; вестибюли станций взаимодействующих видов транспорта; фронты посадки-высадки пассажиров; билетные кассы; залы ожидания; турникетные линии, досмотровые зоны, санитарные узлы, камеры хранения и т.д.

Одним из важных элементов планировочной структуры ТПУ в настоящее время являются «перехватывающие» парковки, основное назначение которых – перенаправить пассажиропоток на въезде в город с индивидуального автотранспорта на общественный. «Перехватывающие» парковки размещают, как

правило, вблизи вокзалов зонных станций и остановочных пунктов станций метрополитена, остановок наземного пассажирского транспорта, расположенных на подъезде к центральной части мегаполиса или периферии транспортного узла, которая в свою очередь зависит от качества работы общественного транспорта (интервалы движения, чел./м<sup>2</sup> и т.д.).

Емкость «перехватывающей» парковки в настоящее время нормативной документацией не регламентирована и одним из возможных методов определения емкости «перехватывающей» парковки является выявление доли водителей и их пассажиров, желающих воспользоваться её услугами, от общего пассажиропотока индивидуальных транспортных средств на ближайших к «перехватывающей» парковке автомагистралях общегородского значения.

*Зона дополнительного обслуживания* включает площади, предназначенные для коммерческого использования с целью предоставления дополнительных услуг пассажирам и посетителям ТПУ. В зоне дополнительного обслуживания пассажиров и посетителей (*общественная зона*) организуются сопутствующие бизнесы (объекты сервисного обслуживания, торговли, офисы и др.), предоставляющие услуги, которые с одной стороны, дополняют основную (транспортную) услугу, а с другой – повышают коммерческую и инвестиционную привлекательность всего ТПУ. Сопутствующие бизнесы технически и технологически связаны с пассажирами и пассажирскими перевозками, но в целевую аудиторию конечных потребителей продуктов и услуг данных объектов, кроме пассажиров, входят и посетители ТПУ.

Главное направление развития сопутствующих бизнесов в ТПУ – сдача в аренду площадей общественных зон, что обеспечивает сбалансированную структуру портфеля сопутствующих продуктов и услуг.

Анализ объектов, размещенных в зонах дополнительного обслуживания современных ТПУ [57], позволил сформировать перечень возможных дополнительных услуг, предоставляемых пассажирам и посетителям ТПУ, который приведен на рисунке 2.3.

О Б Щ Е С Т В Е Н Н А Я  З О Н А  Т П У	Культурно-развлекательные объекты	Библиотеки	Выставки	Кинотеатры	Клубы	Музеи	Театры
	Объекты торговли	Агентства недвижимости	Киоски	Книги и канцтовары	Спортивные магазины	Автоматы с газетами	Магазины электротехники
		Аптеки	Магазины косметики	Магазины оптовой торговли	Оптика	Сувениры	Торговые центры
		Галантерея	Магазины бытовой химии	Одежда	Авиа- и ж.д. кассы	Супермаркеты	Ювелирные магазины
		Автоматы с компакт-дисками	Автоматы с предметами личной гигиены	Вендинговые аппараты	Театральные кассы	Продовольственные товары	Филиалы крупных фирменных магазинов
		Кафе	Столовые	Магазины быстрого питания	Автоматы с напитками	Пункты экспресс-обслуживания	Бары
	Объекты обслуживания	Рестораны	Автоматы с горячими обедами	Фуд-корты	Автоматы с мороженым	Автоматы с чаем, кофе, бульонами	Пиццерии
		Платежные системы	Автоматы для копирования	Пункты ремонта (обувь, часы)	Тур-агентства	Химчистки	Спортивные залы
		Пункты обмена валют	Ломбард	Салоны связи	Парикмахерские	Гостиницы	Интернет-кафе
		Банкоматы	Медицинские центры	Страховые агентства	Флористические магазины	Платные туалеты	Прачечные
		Камеры хранения	Пункты юридических услуг	Почта	Фото-ателье	Тренажерные залы	Телефонные аппараты

Рисунок 2.3 – Дополнительные услуги, предоставляемые пассажирам и посетителям ТПУ

*Служебная* зона предназначена для размещения вспомогательных служб ТПУ, а также организаций, занимающих территорию на безвозмездной основе.

Обособленные зоны (блоки) ТПУ объединяют с помощью коммуникационных пешеходных путей (главных и второстепенных), подземных, надземных и наземных коммуникаций. Главные пешеходные пути протяженностью не более 100 м связывают фронты посадки-высадки пассажиров всех видов транспорта взаимодействующих в узле.

Второстепенные, с пассажиропотоком 10-15% от величины пассажиропотока на главных путях, формируются для посетителей объектов, входящих в состав ТПУ, работников объектов в зоне ТПУ и жителей ближайших микрорайонов, расположенных в зоне пешеходной доступности (500-600 м к остановкам наземного транспорта, 600-800 м к станции метро).

Сооружения, обеспечивающие коммуникационные связи по вертикали: лифты, эскалаторы, подъемники всевозможных модификаций и т.д. Требования к размещению основных зон ТПУ приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Требования к размещению основных зон ТПУ

Зоны ТПУ	Состав зоны	Требования к размещению
<b>Технологическая</b>	Вестибюли вокзалов станций и остановочных пунктов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Преимущественно со стороны города</li> <li>• Обеспечение удобной связи с билетно-кассовыми залами, информационно-справочными объектами, камерами хранения</li> <li>• После вестибюля должен располагаться распределительный зал</li> <li>• Обеспечение связи с кассовыми залами</li> <li>• Для малых ТПУ возможно объединение вестибюлей с залами ожидания</li> </ul>
	Залы ожидания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Удобная связь с вестибюлем, объектами общественного питания, туалетами и выходами к перронам, как правило, в одном с ними уровне</li> <li>• Для крупных ТПУ возможно устройство нескольких залов ожидания</li> </ul>
	Билетные кассы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Групповое размещение с объединением по категориям пассажиров (дальние, пригородные, МГН)</li> <li>• Расстояние между осями билетных касс не должно превышать 2 м, а для пригородных касс — 1,8м</li> <li>• Перед билетными кассами необходимо предусматривать свободную зону накопления пассажиров (глубиной не менее 3-4 м)</li> </ul>

Технологическая	Камеры хранения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вблизи путей следования пассажиров прибытия в местах и рядом с билетными кассами</li> <li>• Хранение ручной клади преимущественно в автоматических камерах хранения</li> </ul>
	Багажные помещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Предусмотреть подъезды для грузовых и специальных автомобилей</li> <li>• Багажные кассы и автоматы для оплаты за хранение ручного багажа размещать вблизи мест хранения</li> </ul>
	Посадочные терминалы взаимодействующих видов транспорта	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Максимальная дальность пешего подхода пассажиров между посадочными терминалами взаимодействующих в ТПУ видов транспорта не должны превышать 100-150 м</li> </ul>
	Автомобильная стоянка временного пребывания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Преимущественно в подземной части комплекса</li> <li>• В разных уровнях с «перехватывающей» парковкой</li> </ul>
	«Перехватывающая» парковка	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечение удобных пешеходных связей с объектами инфраструктуры видов транспорта взаимодействующих в узле</li> <li>• При наличии в ТПУ многоэтажного торгового комплекса «перехватывающие» парковки располагают в верхних или подземных этажах комплекса</li> </ul>
	Санитарные узлы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• На территории вокзального комплекса ж.-д. станции, вокзальных комплексов пассажирского района морского или речного порта, перрона автовокзала рекомендуется устройство дополнительных наружных санитарных узлов для летнего периода</li> <li>• В тех случаях, когда на прилегающей к перрону территории ТПУ невозможно запроектировать общественные туалетные, санитарные узлы ТПУ рассчитывают по максимальному суточному пассажиропотоку</li> <li>• Располагаются преимущественно рядом с залами ожидания, а при их отсутствии по маршруту следования пассажиров и посетителей ТПУ</li> </ul>
	Турникетные линии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В непосредственной близости от фронта посадки/высадки пассажиров</li> <li>• Число турникетов зависит от максимального расчётного пассажиропотока</li> </ul>
	Комнаты «Матери и ребенка» и длительного отдыха	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Изолированно от наиболее шумных помещений и зон ТПУ</li> <li>• По возможности предусмотреть специальные выходы для данной социальной группы к фронту посадки-высадки пассажиров</li> </ul>
	Досмотровые зоны	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Размещать удобно связанными с вестибюлем, распределительным залом и выходами к перронам</li> <li>• Как правило, размещать на пути следования пассажиров отправления</li> </ul>

	Автоматы для продажи билетов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Устанавливать по пути следования пассажиров отправления и в кассовых залах, перед турникетами</li> </ul>
	Информационно-справочные объекты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Размещать приближенно к главным путям движения основных потоков пассажиров, вблизи от входов в вестибюль или кассовый зал</li> <li>• Число информационно-справочных объектов в ТПУ устанавливать в зависимости от классности ТПУ, числа отправляющихся и прибывающих пассажиров, технической и информационно-справочной оснащённости ТПУ, маршрутно-территориальной особенности движения транспорта и др.</li> </ul>
Общественная	Объекты питания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не должны быть проходными и, как правило, располагаются смежно с залами ожидания</li> <li>• Площади помещений под объекты питания следует принимать в соответствии с требованиями [64] в зависимости от вместимости (пропускной способности) ТПУ, места его расположения</li> </ul>
	Объекты обслуживания	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Размещение коммерческих объектов должно предусматриваться на уровнях выше и ниже уровня пересадки пассажиров</li> <li>• При пересадке с одного вида транспорта на другой пассажир должен иметь выбор: проследовать через зону расположения коммерческих объектов или миновать её для экономии времени</li> </ul>
	Объекты торговли	
	Культурно-развлекательные объекты	
Служебная	Технические помещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Технические помещения должны иметь в ТПУ отдельный вход; помещение дежурного по станции, порту, автовокзалу и т.д. размещать, как правило, в одном уровне с пассажирскими платформами</li> </ul>
	Административные помещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Административные помещения, связанные с обслуживанием пассажиров, должны быть максимально приближены к вестибюлю и залам ожидания, а помещения, связанные с работой касс, помещения отдыха кассиров и комнату старшего кассира размещают при билетных кассах; другие административные помещения ТПУ проектируют, как правило, в одном блоке</li> </ul>
	Бытовые помещения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Располагать обособленно от основных пассажирских помещений. Бытовые помещения располагать в соответствии с требованиями [65] и штатным расписанием</li> </ul>

Важным моментом в формировании рациональной планировочной структуры ТПУ является решение вопроса зонирования площадей ТПУ по видам услуг, оказываемых пассажирам и посетителям. Частично критерии распределения площадей представлены в отраслевых нормах и регламентах. Анализ показал, что из всего многообразия критериев можно выделить три основных критерия эффективности зонирования площадей ТПУ:

**Удовлетворенность пользователей** – позволяет оценить эффективность использования помещений ТПУ с точки зрения его пользователей. Степень насыщения товарами и услугами должна соответствовать объемам потребностей пользователей ТПУ в попутном обслуживании, которую можно установить на основе маркетинговых обследований.

**Рентабельность дополнительных видов услуг, оказываемых в ТПУ** – позволяет сделать вывод о необходимости и целесообразности предоставления отдельных видов дополнительных услуг.

**Доход на 1 м<sup>2</sup>** – позволяет оценить эффективность использования помещений, сделать выводы о наиболее доходных видах услуг и эффективности зонирования помещений ТПУ в соответствии с перечнем предоставляемых услуг, который дает возможность принимать решения в области инвестиционной политики развития ТПУ.

При формировании планировочной структуры ТПУ необходимо учитывать следующие принципы [66]:

**Рациональность взаимного расположения основных зон ТПУ.** Основные зоны ТПУ должны быть расположены относительно друг друга с учётом схем организации пассажиропотоков (прибывающих, отправляющихся, транзитных) и маршрута их движения. Рациональность расположения основных зон ТПУ должна также обеспечивать комфорт пассажирам - шумные зоны должны располагаться вдали от зон, предназначенных для кратковременного отдыха пассажиров и посетителей или ожидания транспортных средств.

В наиболее привлекательных (с точки зрения близости к основным пассажиропотокам) местах – вблизи входов в ТПУ располагаются кассовые зоны, совместно со справочными и информационными службами. Билетные кассы не должны располагаться на пути передвижения пассажирских потоков, так как возможные очереди к кассам будут создавать помехи движению пассажиров.

Крупноформатные объекты питания располагаются в помещениях вдоль основных пассажиропотоков, в одной зоне, так называемом фуд-корте, где может быть сконцентрировано несколько точек с разными брендами.

Если ТПУ формируется многоуровневым, то объекты питания могут быть расположены на втором или цокольном этаже. Торговые киоски следует располагать вдоль основных пассажиропотоков, не затрудняя движения пассажиров.

Рядом с путями движения основного пассажиропотока могут располагаться зал ожидания, пункты по оказанию первой медицинской помощи, телефонные автоматы. Все основные зоны обслуживания пассажиров должны удовлетворять требованиям доступности маломобильными группами населения.

**Пропорциональность.** В целях сокращения затрат времени пассажиров на перемещение, площади, габариты и пропускная способность всех помещений и элементов ТПУ должны быть пропорциональными его расчетной пропускной способности с исключением узких мест и опасности образования скоплений, заторов и очередей.

**Последовательность передвижения пассажиров.** При зонировании основных участков и помещений ТПУ выделяют следующие зоны:

- основные, наиболее активно используемые для пешеходного движения;
- предназначенные для размещения объектов попутного обслуживания, с учётом степени возможной концентрации пассажиров в очередях;
- второстепенные с низким уровнем шума.

При формировании структуры коммуникационных путей в пространстве ТПУ необходимо учитывать влияние на скорость продвижения в них пассажиропотока следующих факторов: наличие возможных встречных пассажиропотоков, турникетных линий, пешеходных мостов, конкорсов, сходов в подземные переходы, подъемов, спусков, снижающих скорость продвижения пассажиропотока.

ТПУ – сложная система, состоящая из большого числа взаимосвязанных и взаимовлияющих друг на друга элементов, каждый элемент которой определяется отдельными параметрами. В соответствии с [67] параметр – это величина, характеризующая какое-либо существенное свойство устройства, системы или явления. По виду параметры ТПУ можно подразделить на входные (внешние) и

внутренние. Входные (внешние) параметры ТПУ характеризуются параметрами пассажиропотока, подвижного состава, взаимодействующих в ТПУ видов транспорта, параметрами автомобилепотока, параметрами зоны влияния ТПУ, значения которых с той или иной точностью известны или могут быть заданы.

Внутренние параметры ТПУ характеризуют сам ТПУ. Значения этих параметров устанавливаются на предпроектной стадии и уточняются в процессе проектирования. Всю совокупность внутренних параметров ТПУ можно подразделить на три группы: геометрические, технологические и технические.

Геометрические параметры ТПУ – параметры, определяющие размеры и конфигурацию зон, пространств, площадей, коммуникационных путей ТПУ.

Технические параметры ТПУ – параметры, характеризующие состояние объектов ТПУ, влияющих на технологический процесс его функционирования.

Технологические параметры ТПУ – параметры, устанавливающие взаимосвязь между входными, геометрическими и техническими параметрами в процессе реализации технологии работы ТПУ.

Распределение параметров ТПУ по видам и группам представлено на рисунке 2.4.

К основным характеристикам пассажиропотока относят его плотность и интенсивность. Плотность пассажиропотока на исследуемом участке пути пространства ТПУ можно определить по формуле:

$$D = \frac{N}{\delta_n \cdot l_n}, \text{ пас./м}^2 \quad (2.1)$$

где  $N$  – общее число пассажиров, которым необходимо пройти по исследуемому участку пути пространства ТПУ, пас.;

$\delta_n$  – ширина исследуемого участка пути пространства ТПУ, м;

$l_n$  – длина исследуемого участка пути пространства ТПУ, м.

Пропускная способность исследуемого участка пути пространства ТПУ показывает максимальное число пассажиров, которое может пройти в единицу времени через сечение пути:

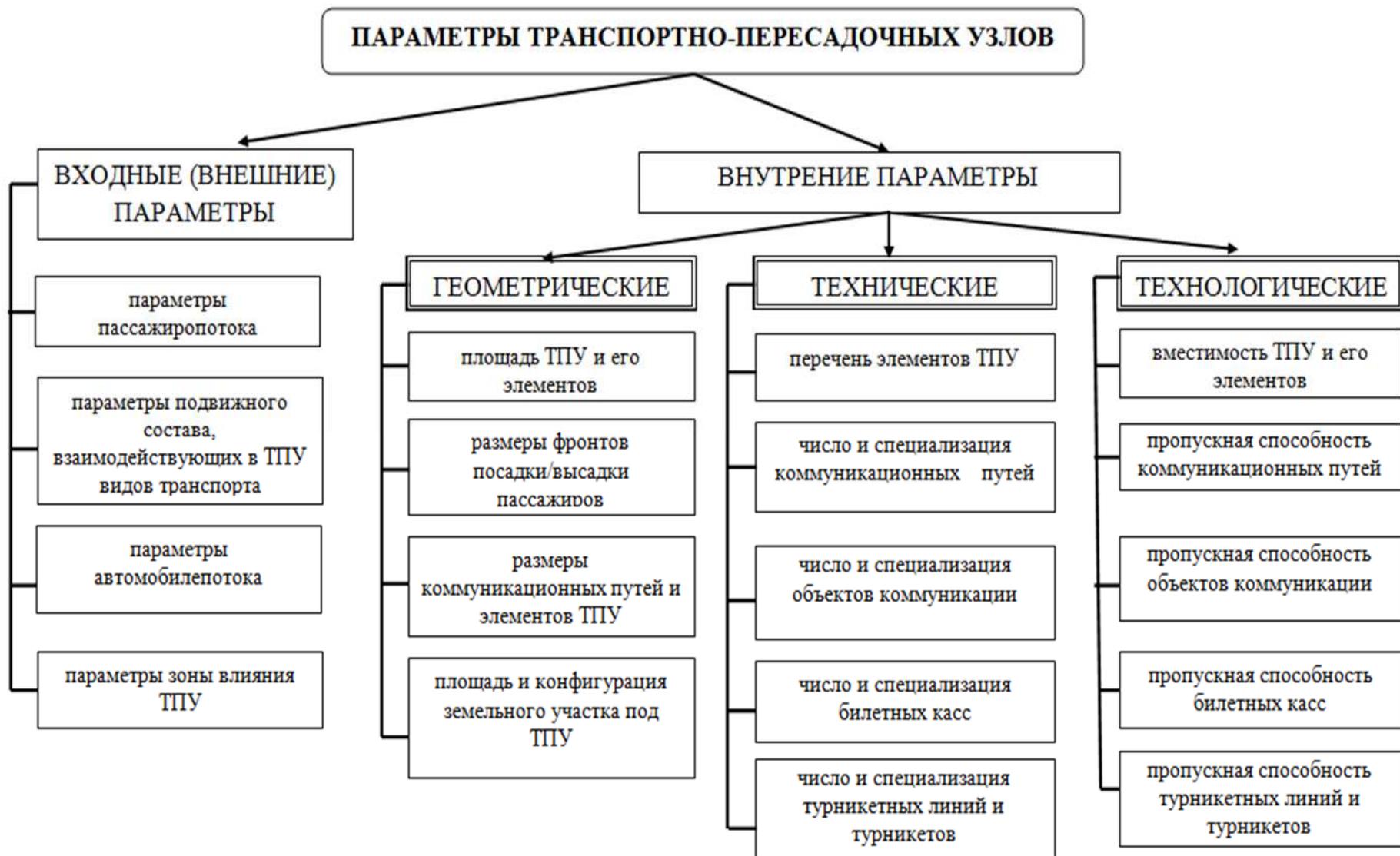


Рисунок 2.4 – Распределение параметров ТПУ по видам и группам

$$Q = D \cdot v \cdot \delta_n, \text{ пас./час.} \quad (2.2)$$

где  $v$  – скорость пассажиропотока, м/час.

Интенсивность движения пассажиропотока, проходящего в пространстве ТПУ через заданную линию (сечение) в единицу времени, определяется по формуле:

$$q = D \cdot v, \text{ пас./}(м \cdot \text{час}) \quad (2.3)$$

Всё пространство коммуникационных путей ТПУ можно разбить на участки, при этом границей смежных участков будет такое сечение пути, где меняется ширина пути, вид пути или и то и другое. Пропускная способность коммуникационных путей ТПУ определяется пропускной способностью ограничивающего элемента. Во избежание образования «пробок» на коммуникационных путях ТПУ необходимо, чтобы пропускная способность последующего участка пути была больше или равна пропускной способности предыдущего участка пути:

$$Q_{n+1} = Q_n \cdot \frac{\delta_{n+1}}{\delta_n}, \text{ пас./час.} \quad (2.4)$$

где  $n+1$  – последующий участок пути.

При слиянии нескольких пассажиропотоков образуется объединенный пассажиропоток со своими параметрами плотности и скорости движения.

При повороте пути структура пассажиропотока меняется и происходит перераспределение параметров движения и деформация траекторий перемещения пассажиров. Это отрицательно сказывается на процессе передвижения пассажиропотока, поэтому при проектировании коммуникационных путей следует избегать лишних поворотов.

Джоном Фруйном в работе [68] выделено шесть уровней интенсивности движения пассажиров, использующихся в процессе моделирования пассажиропотоков для определения количества человек на  $1 \text{ м}^2$  площади и качества передвижения с точки зрения свободы и удобства. Уровни интенсивности движения – уровни Фруйна представлены в таблице 2.6.

На величину пропускной способности коммуникационных путей и ТПУ в целом влияет также пропускная способность размещаемых в ТПУ эскалаторов. Необходимо, чтобы пропускная способность эскалатора была не меньше, чем пропускная способность предыдущего участка пути.

Таблица 2.6 – Уровни интенсивности движения – уровни Фруйна

<b>А</b> (с)	Скорость движения выбирает сам пешеход, есть возможность обогнать впереди идущего, столкновений легко избежать
<b>В</b> (г)	Достаточно пространства для выбора скорости передвижения, есть возможность обогнать впереди идущего при условии движения потока в одном направлении. Возможно столкновение
<b>С</b> (з)	Возможность выбора скорости движения и обгона впереди идущего ограничена. Велика вероятность столкновений при пересечении пассажиропотоков. Поток неплотный, однако, во избежание столкновений необходимо соблюдать определенную скорость.
<b>Д</b> (ж)	Скорость передвижения ограничена, обогнать впереди идущего сложно. Временные остановки. Резкая смена направления не желательна.
<b>Е</b> (о)	Скорость движения и возможность обогнать впереди идущего ограничена для всех пешеходов. Возможно медленное продвижение вперед. Смена направления движения очень сложна.
<b>Ф</b> (к)	Строго ограниченная скорость движения; неизбежны столкновения с другими пешеходами, поскольку они движутся вплотную друг к другу.
Условные обозначения: с - синий уровень интенсивности движения; г – голубой уровень интенсивности движения; з – зеленый уровень интенсивности движения; ж – желтый уровень интенсивности движения; о – оранжевый уровень интенсивности движения; к – красный уровень интенсивности движения.	

Расчёт внутренних параметров ТПУ, а именно: необходимое число турникетов, пропускная способность турникета, габаритные размеры пассажирских платформ и коммуникационных путей достаточно подробно рассмотрен в исследовании [28].

Расчёт внутренних параметров ТПУ с целью организации беспрепятственного движения пассажиропотоков включает в себя несколько этапов, приведенных на рисунке 2.5.

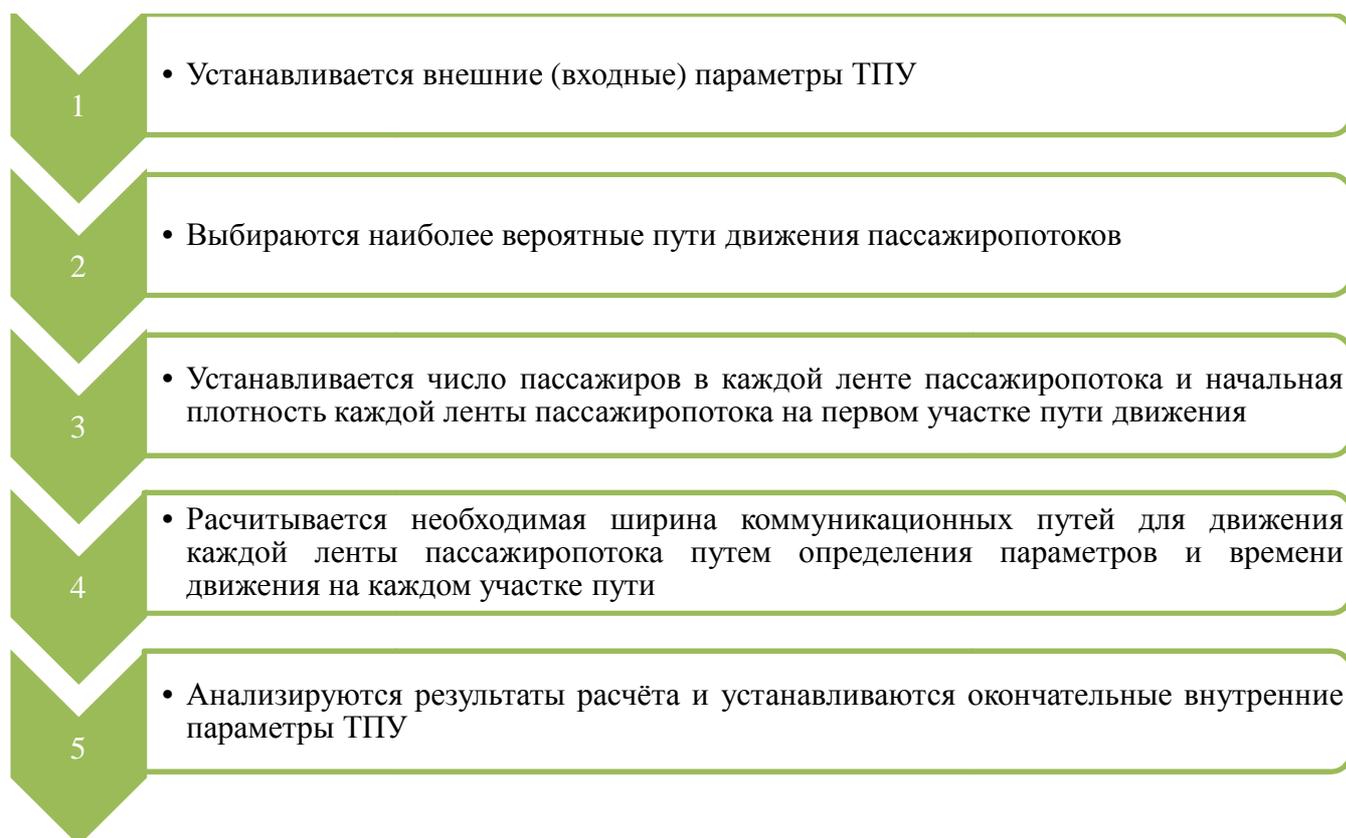


Рисунок 2.5 – Этапность расчёта внутренних параметров ТПУ

Все параметры ТПУ, в том числе формируемых с участием ж.-д. транспорта, необходимо рассчитывать во взаимной увязке друг с другом, учитывая все возможные пассажиропотоки, возникающие в рассматриваемом пространстве, с целью обеспечения комфорта пассажиров при пересадке [69]. Сформируем технологические линии взаимодействия пассажиропотоков коммуникационных путей ТПУ, максимально учитывающие структуру внутренних связей. Технологические линии взаимодействия пассажиропотоков коммуникационных путей ТПУ приведены на рисунке 2.6.

В левой части рисунка 2.6 представлены технологические линии взаимодействия пассажиропотоков по прибытию в ТПУ, а в правой части – по отправлению. Коммуникативной (объединительной) зоной между ними выступает – распределительная зона ТПУ. Во многих случаях при отсутствии коммуникативной зоны её роль выполняют пешеходные транспортные коммуникации.

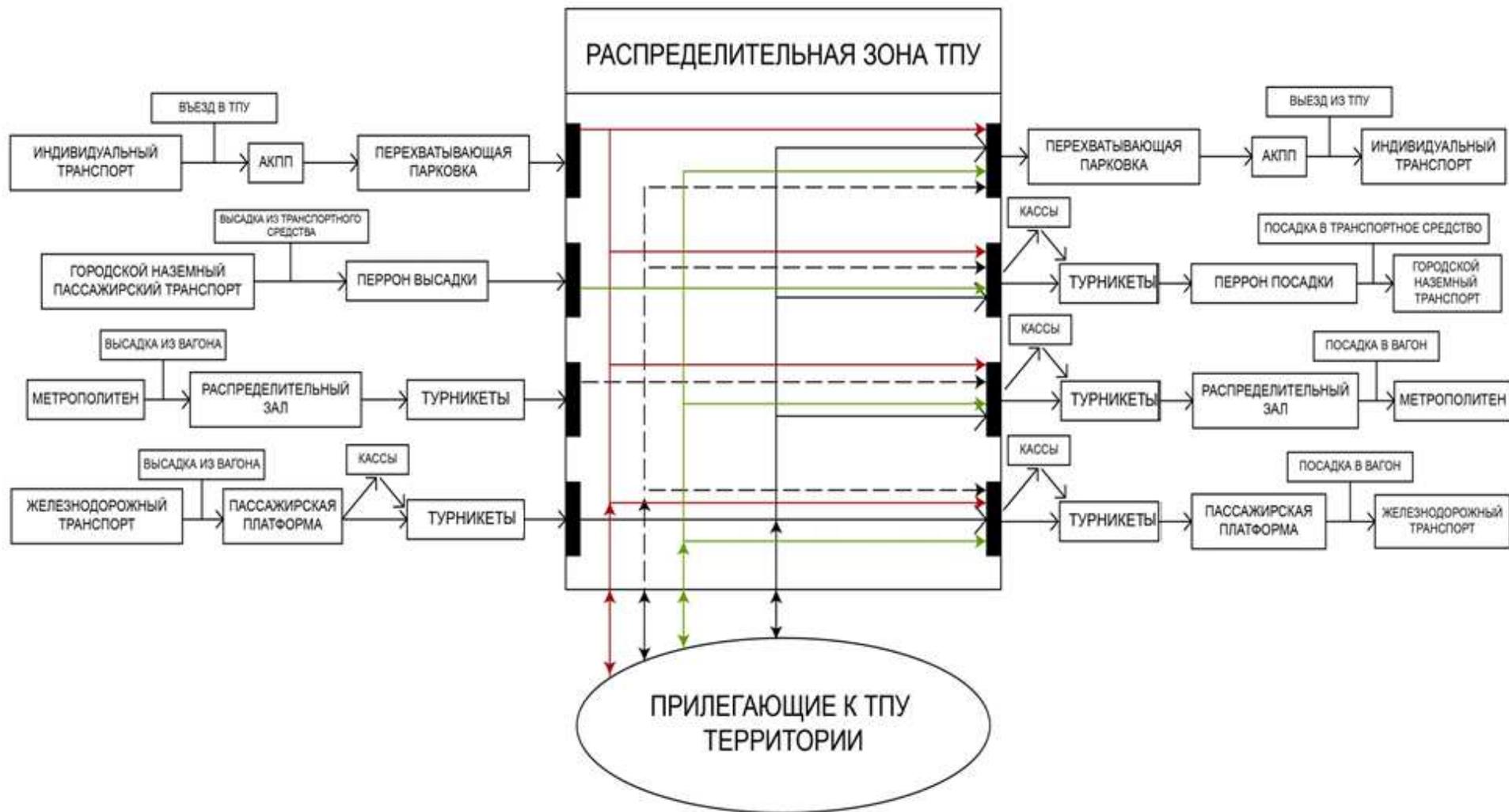


Рисунок 2.6 – Технологические линии взаимодействия пассажиропотоков коммуникационных путей ТПУ

## 2.4 Структурные схемы ТПУ, формируемых с участием железнодорожного транспорта

ТПУ находятся на стыках основных элементов инфраструктуры взаимодействующих видов транспорта, объединяя их в единое целое. Структурная схема ТПУ, определяется количеством входящих в него элементов инфраструктуры взаимодействующих видов транспорта (ж.-д. станций и их вокзалов, остановочных пунктов наземного городского пассажирского транспорта, морских или речных портов, «перехватывающих» стоянок и т.д.) и качеством связей в нём.

Рациональная планировочная структура ТПУ должна соответствовать основным требованиям, предъявляемым к ней: упорядочение пешеходного и транспортного движения; комфортные условия ожидания транспортных средств в ТПУ; быстрая пересадка между отдельными системами пассажирского транспорта (транспортными средствами и видами транспорта); пропускная способность ТПУ соответствует величине существующего и перспективного пассажиропотока.

Очень часто рационализация структуры ТПУ выполняется за счёт мероприятий по: сокращению числа (или полной ликвидации) объектов мелкорозничной торговли в ТПУ; упорядочению (или полному запрещению) парковки индивидуального транспорта в ТПУ; обособлению посадочных перронов наземного пассажирского транспорта с накрытием перронов навесами, защищающими пассажиров от атмосферных осадков; оптимизации фронтов посадки/высадки коммерческих и государственных операторов рынка пассажирского транспорта.

Рассмотрим возможные варианты структурных схем ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, для каждой классификационной группы, выделенной в пункте 2.2 диссертации.

Так в ТПУ, в состав которых входит остановочный пункт ж.-д. транспорта, достаточно обеспечить коммуникационные пешеходные связи между всеми

элементами узла, что достигается путем возведения в ТПУ наземных, подземных и надземных пешеходных переходов.

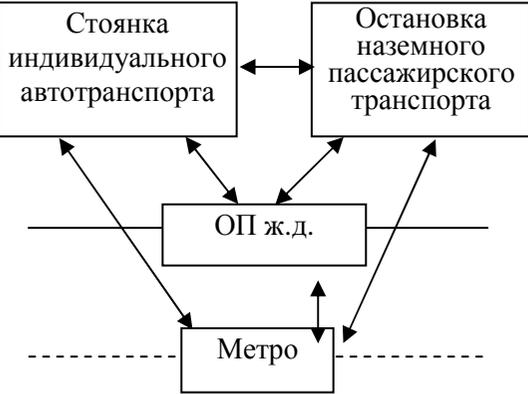
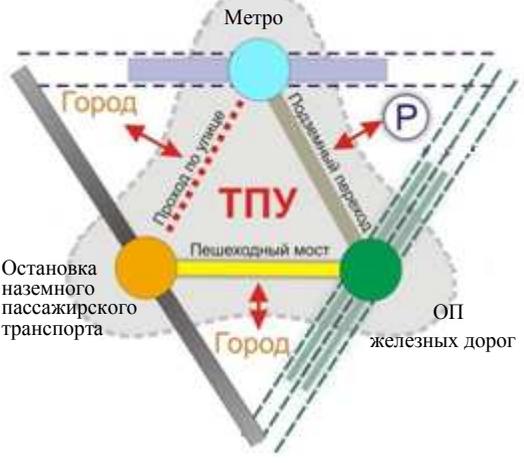
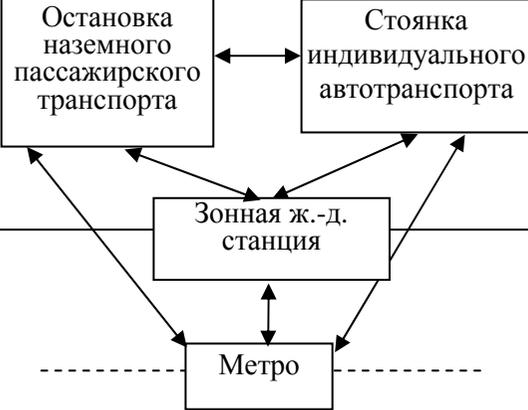
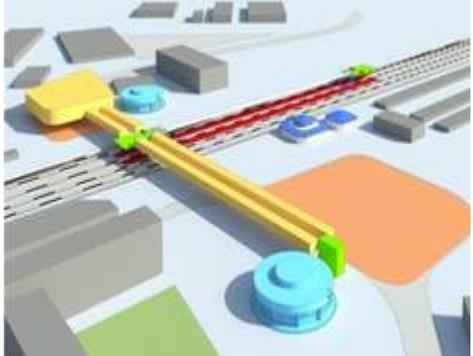
В ТПУ, в состав которых входит зонная ж.-д. станция, рекомендуется сооружение конкорса – пересадочного устройства, обеспечивающего комфортные условия пересадки пассажиров между всеми взаимодействующими видами транспорта. При этом необходимо учитывать разницу высот между уровнями транспортного обслуживания и расстояние пешего прохода.

В ТПУ, формируемом на базе вокзального комплекса головной пассажирской ж.-д. станции, необходимо сооружение распределительной платформы, объединяющей под одной крышей все основные элементы ТПУ. В ТПУ, формируемом на базе вокзального комплекса в состав которого входит несколько направлений ж.-д. линий, а также метрополитен, наземный пассажирский транспорт, индивидуальный автотранспорт может быть целесообразно (при соответствующем обосновании) сооружение многоуровневого ТПК. Варианты структурных схем ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, представлены в таблице 2.7.

В средних ТПУ сооружение конкорса позволит обеспечить пассажирские связи между объектами, входящими в состав ТПУ, но с минимальными качественными параметрами. При такой структурной схеме отсутствует возможность комплексного развития прилегающих к ТПУ территорий. В планировочном решении малых ТПУ отсутствует инвестиционная составляющая, не предусмотрено также предоставление пассажирам комплекса сопутствующих услуг.

В предложенных вариантах структурных схем ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, сооружение распределительной платформы и элементов ТПК наиболее рационально для крупных и сверхкрупных ТПУ. Такое планировочное решение обеспечит увязку маршрутов всех видов транспорта и их инфраструктуры в едином логистическом пространстве, гармонизированное перспективное развитие транспортной инфраструктуры и территорий, прилегающих к ТПУ.

Таблица 2.7 – Варианты структурных схем ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта

Величина корреспондирующих пассажиропотоков	Возможная схема взаимодействия пассажиропотоков в ТПУ	Предлагаемая структурная схема ТПУ	Визуализация
До 28 тыс. пас./сут.	 <p>Схема взаимодействия пассажиропотоков в ТПУ для объема до 28 тыс. пас./сут. включает: Стоянку индивидуального автотранспорта, Остановку наземного пассажирского транспорта, ОП ж.д. (остановочный пункт железных дорог) и Метро. Все элементы связаны двусторонними стрелками, указывающими на взаимное взаимодействие.</p>	 <p>Предлагаемая структурная схема ТПУ для объема до 28 тыс. пас./сут. включает: Метро (синий круг), Город (серая область), Проход по улице (красная пунктирная линия), Пешеходный мост (желтая линия), Остановку наземного пассажирского транспорта (оранжевый круг), ОП железных дорог (зеленый круг) и Парковку (P в белом круге).</p>	 <p>3D-визуализация предлагаемой структурной схемы ТПУ для объема до 28 тыс. пас./сут. показывает расположение элементов в городской среде.</p>
28-50 тыс. пас./сут.	 <p>Схема взаимодействия пассажиропотоков в ТПУ для объема 28-50 тыс. пас./сут. включает: Остановку наземного пассажирского транспорта, Стоянку индивидуального автотранспорта, Зонную ж.-д. станцию (зональная станция железных дорог) и Метро. Все элементы связаны двусторонними стрелками.</p>	 <p>Предлагаемая структурная схема ТПУ для объема 28-50 тыс. пас./сут. включает: Метро (синий круг), Город (серая область), Проход по улице (красная пунктирная линия), Пешеходный мост (желтая линия), Остановку наземного пассажирского транспорта (оранжевый круг), Конкорс (желтый коридор), Зонную ж.-д. станцию (зеленый круг) и Парковку (P в белом круге).</p>	 <p>3D-визуализация предлагаемой структурной схемы ТПУ для объема 28-50 тыс. пас./сут. показывает расположение элементов в городской среде.</p>

<p>50-80 тыс. пас./сут.</p>			
<p>Более 80 тыс. пас./сут.</p>			
<p>Условные обозначения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> - зона ТПУ;</li> <li> - пешеходные связи;</li> <li> - стоянка индивидуального автотранспорта;</li> <li> - распределительная платформа.</li> </ul>			

Сооружение ТПК требует существенных капиталовложений, поэтому очень важно определить необходимость и оценить эффективность такого решения. Оценка существующей ситуации выполняется посредством анализа процесса функционирования ТПУ. Основные этапы анализа процесса функционирования ТПУ приведены на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Основные этапы анализа функционирования ТПУ

На основании приведенного анализа разрабатывается сводная таблица с оценкой общей сложившейся ситуации в ТПУ с указанием наиболее проблемных мест. Полученные данные являются основой для определения целесообразности сооружения ТПК.

В зависимости от сложившейся на рассматриваемой территории ситуации разрабатываются возможные варианты сооружения ТПК и исследуется их целесообразность. В некоторых случаях возможно отсутствие ТПУ на рассматриваемой территории, тогда рассматривается целесообразность его строительства и превращения в ТПК. При нахождении на рассматриваемой территории двух и более остановочных пунктов различных видов транспорта – сооружение ТПК целесообразно при их взаимном расположении в пределах 100-150 метров друг от друга [93]. В другом случае рекомендуется следовать варианту с созданием ТПК на базе остановочного пункта наиболее загруженного вида транспорта. Для выбора рациональной структурной схемы ТПУ и его параметров функционирования необходима значительная аналитическая работа по выбору вариантов проекта.

Это связано с необходимостью учёта большого количества требований к структуре и функциям ТПУ различного характера. Наиболее важными из них в процессе выбора проектов (предпроектов) создания ТПУ являются: транспортные, градостроительные, социальные, экономические, функционально-планировочные и экологические требования.

При разработке планировочных решений новых и реконструируемых ТПУ необходимо предусмотреть создание «безбарьерной» среды для маломобильных групп населения (МГН). К МГН относят: инвалидов, людей с временным нарушением здоровья, беременных женщин, людей старших возрастов, людей с детскими колясками и т.п. [70]. Особенности планировочных решений ТПУ приспособленных для нужд МГН приведены на рисунке 2.8.

При создании многоуровневых ТПУ целесообразно использовать дополнительные линии эскалаторов, а также подъемники, лифты для МГН. Также необходимо предусматривать сооружение пандусов, траволаторов (движущихся дорожек). В пределах ТПУ необходимо обеспечивать условия оптимального визуального и слухового восприятия МГН всей необходимой информации. На остановочных пунктах видов транспорта взаимодействующих в ТПУ должна обеспечиваться возможность посадки-высадки инвалидов, пользующихся

креслами-колясками. На «перехватывающих» парковках ТПУ необходимо предусматривать места для индивидуальных автомобилей МГН. При разработке предложений по обеспечению доступа для МГН к объектам ТПУ целесообразно применять комплексный подход, подразумевающий создание «доступной среды» для МГН на всей территории ТПУ.

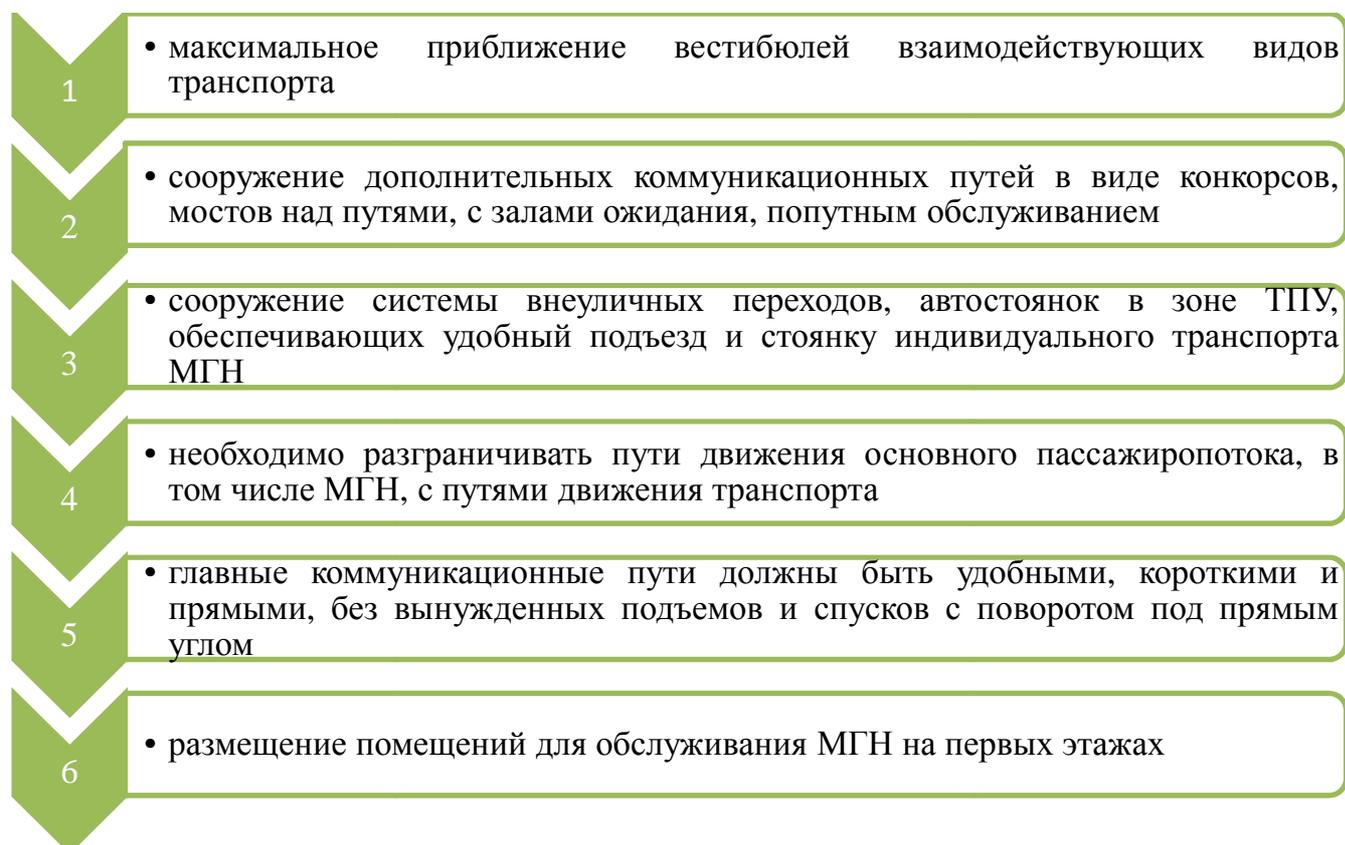


Рисунок 2.8 - Особенности планировочных решений ТПУ приспособленных для нужд МГН

Используя информацию нормативных документов [57, 61-62, 64-65, 70], сформируем критерии оценки проекта (предпроекта) создания ТПУ. На рисунке 2.9 приведена предлагаемая система оценки проектов (предпроектов) создания ТПУ. В приведенной системе оценки проектов (предпроектов) сооружения ТПУ наиболее полно учитываются основные требования нормативных документов. Недостатком является сложность практического применения данной системы из-за громоздкости и не одинаковой значимости отдельных критериев. На практике возможно использование отдельных групп требований.

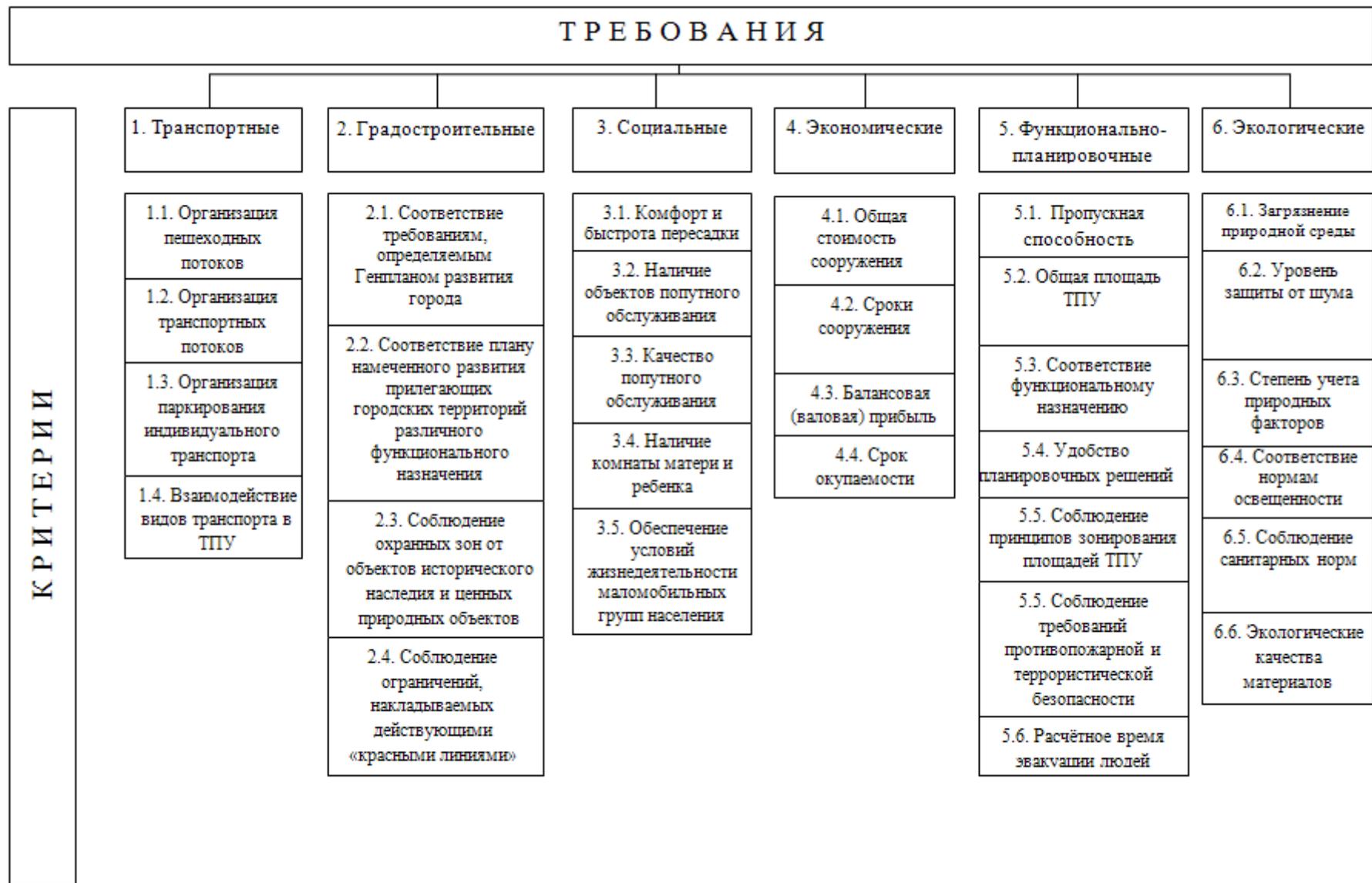


Рисунок 2.9 – Система оценки проектов (предпроектов) сооружения ТПУ

## 2.5 Анализ методик и методологий проведения обследований пассажиропотоков в ТПУ и обработки их результатов

Для выбора внутренних параметров ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта необходима информация о распределении пассажиропотока в их пределах и на прилегающих территориях в течение суток. Источником получения достоверной информации о пассажиропотоках, необходимой для разработки мероприятий связанных с развитием ТПУ и повышением качества обслуживания пассажиров и посетителей, являются различные виды транспортно-социологических обследований [71]. Информация о пассажиропотоках может быть получена путем сбора отчетно-статистических сведений или путем опросных и натурных обследований.

В процессе сбора отчетно-статистических сведений получают данные о динамике объемов пассажирских перевозок. Опросные обследования проводятся при помощи анкетирования населения и позволяют получить информацию о величине пассажиропотока, дифференцированного по целям поездки и видам транспорта для различных социальных и возрастных групп населения; распределении передвижений по направлениям, размещении регионов тяготения, затратам времени на поездку.

При помощи натурных обследований получают информацию о пассажиропотоках и наполнении подвижного состава по маршрутам, пассажирообороте остановочных пунктов видов транспорта, функционирующих в ТПУ, о размещении и условиях работы транспортных объектов, условиях движения на маршрутах следования пассажиропотока.

Достоинства и недостатки каждого из названных методов сведены в таблицу 2.8. Для получения разносторонней и качественной информации о процессах, протекающих в ТПУ, обследования пешеходных и транспортных потоков могут проводиться с использованием комбинации различных методов, приведенных в таблице 2.9.

Таблица 2.8 – Сравнение методик проведения обследований пассажиропотоков ТПУ

<i>Метод обследования</i>	<i>Достоинства</i>	<i>Недостатки</i>	<i>Рекомендации</i>
Отчётно-статистический	Позволяет получить динамику исследуемых параметров во времени	-	Используется при транспортно-социологических обследованиях
Анкетный (опросный)	Позволяет получить подробную характеристику перемещений пассажиров, учесть цели передвижения населения, потребности в транспорте и др. факторы	Большая трудоемкость метода, отсутствие достаточно простой и общепризнанной методики обследования, недостаточно обоснована выборка обследований	Используется при специальных исследованиях для установления различных параметров и закономерностей передвижения
Видеосъёмка (натурный)	Позволяет получить разнообразные характеристики движения людских и транспортных потоков на отдельных участках. Возможно многократное использование полученного материала.	Трудоемкость в обработке материалов	Используется при специальных исследованиях для установления различных параметров и закономерностей передвижения
Визуальный (натурный)	Позволяет получить характеристики пассажирских потоков на любом участке, прост в использовании, возможна организация в кратчайшие сроки	Требуется привлечение большого количества специальных счетчиков, субъективность в оценке исследуемых параметров, трудоемкость обработки получаемых данных.	Используется в кратковременных исследованиях

Выбор способа получения конкретной информации определяется целями и задачами программы обследований. Методом сбора отчетных данных определяется суточная загрузка ТПУ с выявлением часа-пик и его удельного веса в суточном пассажирообороте. Визуальным методом проводится учет входящих и выходящих пассажиров обследуемых станций и остановочных пунктов ТПУ, а

также выявляются наиболее загруженные пешеходные направления, плотность пешеходного потока.

Таблица 2.9 – Рекомендации по применению методов обследования пассажиропотоков ТПУ

<i>Параметр</i>	<i>Метод обследования</i>
Величина пассажиропотока	Визуальный, видеосъемка, отчетно-статистический
Временная транспортная и пешеходная доступность ТПУ	Анкетный
Направления передвижений в пределах ТПУ	Анкетный, отчетно-статистический
Параметры пешеходных потоков в ТПУ (скорость, плотность, время передвижения)	Визуальный, видеосъемка
Параметры транспортных потоков в ТПУ (населенность транспортной единицы, интервал движения)	Визуальный, видеосъемка, отчетно-статистический

Натурные обследования предусматривают исследование процесса пересадки пассажиров с одного вида транспорта на другой с целью получения информации о качественных и количественных характеристиках их перемещения, а анкетирование позволяет провести опрос пассажиров, ожидающих транспортные средства.

Визуальное наблюдение позволяет фиксировать общую картину процесса пересадки, оценить состав пассажиропотока, его форму, выявить скопления людей на отдельных участках пешеходных коммуникаций ТПУ, вызывающих задержки движения.

Местоположение счетчиков определяется таким образом, чтобы охватить остановочные пункты городского наземного транспорта, входы в метро, выходы с ж.-д. платформ. При визуальном методе обследования отмечаются качественные показатели пересадочного потока: форма потока, длина потока, скопления людей и задержки движения.

Количественная оценка параметров движения людских потоков и более качественная оценка характера движения может быть дана на основе видеogramм, получаемых при помощи видеосъемки.

Целевую структуру передвижений пассажиропотоков в ТПУ и зоне их влияния, распределение длительности стоянок и численности индивидуального транспорта целесообразнее анализировать с использованием метода анкетирования. Количественная оценка параметров (количество пересаживающихся пассажиров, плотность, скорость и время движения) пересадочных потоков фиксируется на установленном участке в единицу времени.

Сплошное обследование принято считать идеальным, так как объектом изучения становится каждый пассажир. Однако проведение сплошного исследования транспортно-градостроительных объектов, где генеральная совокупность (в данном случае передвигающиеся пассажиры) слишком большая, является мероприятием крайне трудоемким и дорогостоящим. В этом случае наиболее эффективным, но менее трудоемким является метод выборочных наблюдений, позволяющий обследовать основную (представительную) часть генеральной совокупности. Этот метод обеспечивает снижение трудозатрат и получение достаточно точных параметров, характеризующих всю совокупность в целом.

Объем случайной выборки (количество опрошенных пассажиров) может быть определен по формуле [72]:

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot \sigma^2}{N \cdot \Delta^2 + t^2 \cdot \sigma^2} \quad (2.5)$$

для определения доли случайной выборки [72]:

$$n = \frac{t^2 \cdot (1 - g) \cdot N}{t^2 \cdot (1 - g) + N \cdot g \cdot \Delta_0^2} \quad (2.6)$$

где  $n$  - объем выборочной совокупности;

$N$  - объем генеральной совокупности (мощность пассажиропотока);

$\Delta$  - предельно допустимая ошибка выборки;

$\Delta_0$  - допустимая относительная ошибка выборки;

$t$  - коэффициент кратности средней ошибки выборки (коэффициент надежности, в который определяется с помощью таблицы значений функций Лапласа);

$\sigma^2$  - дисперсия получаемого показателя;

$g$  – доля изучаемого признака в выборке [72]:

$$g = \frac{n_{np}}{n} \quad (2.7)$$

где  $n_{np}$  - количество единиц наблюдения в выборке, которые обладают изучаемым признаком.

Обычно выборка считается репрезентативной, если показатель точности свыше 90%. Такая точность может быть достигнута, если величина допустимой относительной ошибки  $\Delta_0$  не превосходит 10% средней.

При  $N > 10000$  чел. слагаемое  $t^2 \cdot \sigma^2$  в знаменателе формулы 2.5 практически не оказывает влияния на значение объема выборки, так как оно очень мало в сравнении со слагаемым  $N \cdot \Delta^2$ . Поэтому, пренебрегая значением слагаемого  $t^2 \cdot \sigma^2$ , расчет необходимого объема выборочного исследования можно осуществлять по формуле повторной выборки [72]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2} \quad (2.8)$$

для определения доли случайной выборки [72]:

$$n = \frac{0,25t^2}{\Delta^2} \quad (2.9)$$

Все количество пассажиров в узле (пассажирооборот в час пик) образует генеральную совокупность. Далеко не всякая выборка в полном объеме отражает структуру всей генеральной совокупности. Определение выборочной совокупности рекомендуется производить при помощи многофазного типа отбора, изложенного для соответствующих обследований населения при разработке районных планировочных систем [72].

Выбор многофазного типа отбора объясняется наличием большого количества исследуемых показателей, в связи с чем, из выборочной совокупности определяющего показателя образуются подвыборки для оставшихся.

Значения параметров, входящих в формулы 2.5 и 2.6, определяют следующим образом:

1. Дисперсия изучаемого признака [73]:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right] \quad (2.10)$$

где  $x_i$ , - величина, которую может принимать единица наблюдения по изучаемому признаку;

$n$  - число единиц наблюдения, принятое для предварительного исследования.

2. Допустимая ошибка выборки зависит от природы изучаемых показателей и определяется для каждого из них. Относительная ошибка любого показателя не должна превышать  $\pm 5... 10\%$  [73]:

$$\Delta = |\bar{x} - \tilde{x}| \quad (2.11)$$

где  $\bar{x}$  - средний показатель признака в выборочной совокупности;

$\tilde{x}$  - то же, в генеральной совокупности.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (2.12)$$

$$\tilde{x} = \frac{1}{N} \sum x_i \quad (2.13)$$

Определение допустимой относительной ошибки выбора [73]:

$$\Delta_0 = \left| \frac{(\bar{x} - \tilde{x})}{\tilde{x}} \right| \cdot 100 \leq 10\% \quad (2.14)$$

Определение доли показателя [73]:

$$\Delta_0 = \left| \frac{(g - W)}{W} \right| \cdot 100 \leq 10\% \quad (2.15)$$

где  $g$ ,  $W$  - соответственно выборочная и генеральная доли.

Доля изучаемого показателя с данным признаком определяется на основе результатов пробного исследования. При  $g$ , стремящейся к нулю, объем выборочной совокупности  $n$  стремится к генеральной  $N$ .

3. Нормированное отклонение  $t$  выборочной средней ошибки выборки от генеральной зависит от принятой величины уровня значимости того, что действительная ошибка не превысит допустимую. Эта вероятность принимается одинаковой для всех показателей исследования и принимает значения близкие к 1. Значениям вероятности от 0,9545 до 0,9747 соответствует  $t$  от 2,0 до 2,3 [72]. Пример расчета объема выборочной совокупности при исследовании пассажиропотоков ТПУ «Тимирязевская» приведен в таблицах 2.10, 2.11.

Расчет производился в два этапа. Первый этап - определение по формуле 2.5 объема пассажиров, совершающих пересадку и принимающего за генеральную совокупность. Второй этап – определении по формуле 2.6 необходимого объема выборки в отдельности для каждого показателя. Полученные таким образом объемы сравниваются, и окончательный объем выборки устанавливается по определяющему показателю - распределения пассажиропотоков по маршрутам различных видов транспорта.

Статистическая обработка результатов натуральных наблюдений включает: анализ количественных характеристик исследуемых параметров; выявление закона распределения исследуемых величин; проверку гипотезы соответствия эмпирических и теоретических распределений; корреляционный анализ результатов исследований.

В последнее время во многих крупных городах и мегаполисах формируются ТПУ, при проектировании которых исходная информация в виде статистических данных об интервалах прибытия и отправления подвижного состава, взаимодействующих видов транспорта, величине, структуре, интенсивности и других параметрах пассажиропотока отсутствует, поэтому использование имитационных моделей, построенных на основе статистики просто невозможно.

Для исследования пассажиропотоков в новых ТПУ или реконструированных, в связи с включением в ТПУ нового вида транспорта, изменением его планировочной структуры или планировки примыкающих к нему территорий, меняющих характер, направление и объемы пассажиропотоков, необходимо применение интеллектуальных систем моделирования, позволяющих

выстроить логику цепей перемещения пассажиропотоков [74] на основе логики поведения в ТПУ отдельных пассажиров и посетителей.

Таблица 2.10 – Первая фаза формирования выборочной совокупности

Наименование ТПУ	Суточный пассажирооборот,	Пассажирооборот часа пик,	Доля пересаживающихся пассажиров,	Значение показателя для пересаживающихся пассажиров				Величина дисперсии, $\sigma^2$	Установленный объем пересадочных пассажиров в час пик, пасс.
				$x_i$	$(\sum x_i)^2$	$x_i^2$	$\sum x_i^2$		
ТПУ «Тимирязевская»	179	21,5	80	17200	5662562500	295840000	1421418750	192604	20920
			85	18275		333975625			
			90	19350		374422500			
			95	20425		417180625			

Таблица 2.11 – Вторая фаза формирования выборочной совокупности

Наименование ТПУ	Объем генеральной совокупности	Для определяющего показателя (количество пересадочных пассажиров по маршрутам различных видов транспорта), g	Кратность средней ошибки выборки, t	Допустимая относительная ошибка выборки $\Delta_0$	Объем выборочной совокупности n, пасс./ч.	Доля объема выборочной совокупности от генеральной, %
ТПУ «Тимирязевская»	20920	0,05	2	0,1	5575	26

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. Анализ научных исследований в области формирования и направлений развития ТПУ, принципов взаимодействия объектов их инфраструктуры позволил уточнить и систематизировать понятия и определения ТПУ и ТПК.

2. В применяемых в настоящее время классификациях ТПУ, учитывающих условия взаимодействия различных видов транспорта не в полной мере отражаются особенности функционирования ж.-д. транспорта.

3. Развитие внутригородских и пригородно-городских перевозок ж.-д. транспортом в крупных городах и мегаполисах требует систематизации и классификации ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта.

4. Для выделения классификационных групп ТПУ схожих по особенностям сформированной инфраструктуры и условиям функционирования была проведена систематизация ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта. Разработанная классификация ТПУ учитывает две группы ТПУ по числу ж.-д. линий, объединенных в ТПУ (одна или две и более), а также подгруппы ТПУ внутри групп в зависимости от типа отдельного пункта, на базе которого формируется ТПУ.

5. Для формирования рациональной структуры ТПУ были разработаны требования к размещению основных зон ТПУ и этапность их выделения, предложены варианты структурных схем ТПУ в зависимости от величины корреспондирующих пассажиропотоков, сформулированы основные параметры ТПУ.

6. Анализ методик и методологии проведения обследований пассажиропотоков в ТПУ и обработки их результатов позволил сделать вывод о необходимости использования интеллектуальных имитационных систем моделирования пассажиропотоков, приобретающих особую важность в условиях формирования новых ТПУ по которым статистическая информация о структуре, направлениях и величинах пассажиропотоков отсутствует.

7. Проектные решения по новым и реконструируемым ТПУ, а также предпроектные решения на уровне эскизных проработок вариантов планировочных решений внутренних помещений ТПУ и прилегающих территорий должны проходить экспертизу через интеллектуальную систему моделирования перспективных пассажиропотоков для получения наиболее рациональных планировочных решений, обеспечивающих также требуемый уровень транспортной безопасности.

### 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ

#### 3.1 Выбор математического аппарата и системы моделирования пассажиропотоков

Для транспортных сетей крупных городских агломераций, осуществляющих перемещение пассажиров, характерен дефицит пропускных и провозных способностей, поэтому наиболее актуальной становится задача взаимодействия транспортных сетей различных видов транспорта, оптимизация технологических процессов функционирования отдельных их элементов. Узлами взаимодействия транспортных сетей различных видов транспорта являются существующие и формируемые ТПУ.

Решение таких задач связано не только с наличием и использованием информации о текущем состоянии транспортной системы с целью принятия оперативных управляющих решений в реальном времени, но и с прогнозированием развития транспортной ситуации на определённый период времени вперёд. В настоящее время выбор параметров формируемых ТПУ необходимо осуществлять, учитывая их технические и технологические возможности на основе результатов моделирования корреспонденций пассажиропотоков, обеспечивающих возможность получения априорных оценок их развития.

Зарубежный опыт показывает, что моделирование пассажиропотоков – неотъемлемая часть подготовки предпроектных и проектных решений, а создание имитационной модели перемещения пассажиров является обязательным этапом при проектировании аэропортов, ж.-д. вокзалов и автовокзалов, спортивных комплексов, торговых центров, паркингов и т.д.

При разработке эффективной технологии и организации деятельности ТПУ могут представлять интерес данные о различных их функциональных составляющих, но наиболее важными являются комфорт и безопасность пассажиров.

ТПУ представляет собой совокупность пассажирских систем различных видов транспорта, функционирование которых связано с корреспонденциями пассажиропотоков между отдельными его элементами. Эффективность функционирования ТПУ в целом, во многом зависит от эффективности организации транспортных процессов взаимодействия в нём отдельных элементов.

Описать транспортные процессы, происходящие в ТПУ и промоделировать его пассажиропотоки, позволяют математические модели, главная задача которых – определение и прогнозирование параметров функционирования транспортной системы, учитывая качество реализуемых транспортных процессов.

Моделирование является основным методом исследований во многих областях знаний и научно-обоснованным методом оценок характеристик сложных систем, в частности транспортных, используемым для поддержки принятия решений в различных сферах деятельности. Ограничения в возможности экспериментального исследования больших транспортных систем, их полное проектирование, внедрение и эксплуатация невозможно без моделирования, которое позволяет в соответствующей форме представить процессы функционирования систем и описать протекание этих процессов.

Решение задач моделирования пассажиропотоков объектов транспортной инфраструктуры рассмотрены в работах: Доенин В.В. [75-76], Т.Ю. Константинова [77], Сорокин А.А. [78], Б.И. Торопов [79], Д. Хелбинг [80-81], В.В. Холщевников [82] и др.

Математические модели, применяемые для анализа транспортных систем, весьма разнообразны по математическому аппарату, используемым данным и степени детализации описания движения пассажиропотоков.

Активные разработки в области моделирования пассажиропотоков начались примерно с 80-х годов прошлого столетия после того, как в ходе изучения последствий техногенных крушений, аварий были выявлены недостатки в конструкциях зданий и сооружений, которые впоследствии привели к значительным человеческим жертвам. Эти конструкции удовлетворяли

требованиям правил проектирования и стандартам эксплуатации, но в условиях чрезвычайной ситуации не выдерживали увеличенных нагрузок. Моделирование пассажиропотоков в рассматриваемой конструкции, как в обычных (стандартных), так и в критических ситуациях позволяет выполнить экспертизу, доработать проект и сделать объект более безопасным ещё до его строительства.

В настоящее время в теории и практике моделирования транспортных процессов и систем применяют модели, структурное множество которых приведено на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Структура множества моделей, применяемых при моделировании пассажиропотоков

Модели перемещения пассажиров подразделяются на макроскопические, где моделируется поведение потока в целом, но не моделируется поведение отдельных пешеходов, и микроскопические, где моделируется поведение отдельных пассажиров и в которых каждый пешеход представлен отдельным элементом [83].

Практически во всех разработанных за последние годы моделях [84] использовались физические законы для моделирования движения пешеходов,

сводя их перемещение к движению элементарных частиц. В газокинетической модели движение пешеходов рассматривается как движение молекул в разжиженном газе. Точная скорость и положение пешеходов-молекул неизвестны, но известно распределение частиц, исходя из уравнения Больцмана [85].

Газокинетическая модель [80] наиболее распространенная в области моделирования процессов перемещения пассажиров и пешеходов, однако, она является идеализированным представлением для дискретного потока объектов, не являющихся малыми частицами, и не может эффективно применяться для анализа поведения конкретных транспортных систем. С её помощью невозможно исследование взаимодействия частиц (например, отдельных пассажиров), движущихся внутри потока (общего потока пассажиров) с различными скоростями, выполняющими различные манёвры (обгон, перестроение, повороты и т.д.) [85].

В моделях, использующих дискретное пространство (клеточные автоматы) [86] – пространство представляется сеткой, в каждой ячейки которой может поместиться только один пешеход, движение моделируется за счет перехода пешеходов между клетками по определенным правилам. Поток объектов рассматривается как случайный процесс перемещения дискретного множества частиц. Для реализации этих моделей на основе использования теории систем массового обслуживания или имитационного моделирования необходим обширный статистический материал [85], характеризующий свойства пассажиропотока, получение которого, как правило, и составляет одну из главных трудностей исследования. Как и в первом варианте, здесь нет возможности для учёта индивидуальных свойств объектов, особенностей их поведения, различных вариантов управления каждым из объектов в отдельности и т.д. Преимуществом клеточных автоматов являются: простые локальные правила, быстрые вычисления, хорошая калибровка.

В модели социальных сил [81] для описания движения пешеходов используют Ньютоновскую механику, а силы порождаются социальными взаимодействиями. Модель социальных сил имеет хорошее приближение к

реальным условиям, реалистичную анимацию, дополнена логикой принятия решений более высокого уровня, чем в моделях с дискретным пространством.

В магнитной модели (модель притягивающих сил) [87] пассажиры или пешеходы представляются в виде электрических зарядов, находящихся в магнитном поле. Пешеходы и препятствия – положительные заряды, а цели движения – отрицательные заряды. Пешеходы движутся к цели и избегают столкновений. На каждого пешехода воздействуют две силы. Первая — магнитная сила, определённая в законе Кулона, которая зависит от величины электрического заряда пешехода и расстояния между пешеходом и целью его движения. Вторая сила действует на пешеходов с целью предотвращения столкновений с другими пешеходами или препятствиями посредством использования ускорения. Схематичные алгоритмы работы моделей социальных сил, клеточных автоматов и магнитной модели представлены на рисунке 3.2.

Кроме того известны модели, использующие теорию очередей для описания движения пассажиров или пешеходов в терминах вероятностных функций, а также расчетные модели [88], в которых большая часть параметров разово рассчитывается на основании данных практического эксперимента, составляются таблицы зависимости этих параметров от числа пешеходов и размеров помещения [89].

Преимущества и недостатки рассмотренных выше моделей сведены в таблицу 3.1. ТПУ – сложная система, состоящая из дискретного множества элементов (пассажиров), перемещающихся в дискретном пространстве в дискретные моменты времени, и при этом каждый элемент (пассажир) может автономно, независимо от других принимать решение о том, что необходимо сделать на следующем шаге, исходя из анализа своего собственного поведения или состояния всей среды (ТПУ) в целом на данном шаге. Такая система не может быть смоделирована с помощью магнитной, газокINETической или других перечисленных выше моделей. Необходимы другие принципы, учитывающие, что в основе организации движения пассажиропотоков и перемещения пассажиров лежат логические зависимости. Этим принципам больше всех соответствует

транспортная модель, разработанная д.т.н., профессором В.В. Доениным и построенная на логико-разностных подходах [75, 76].

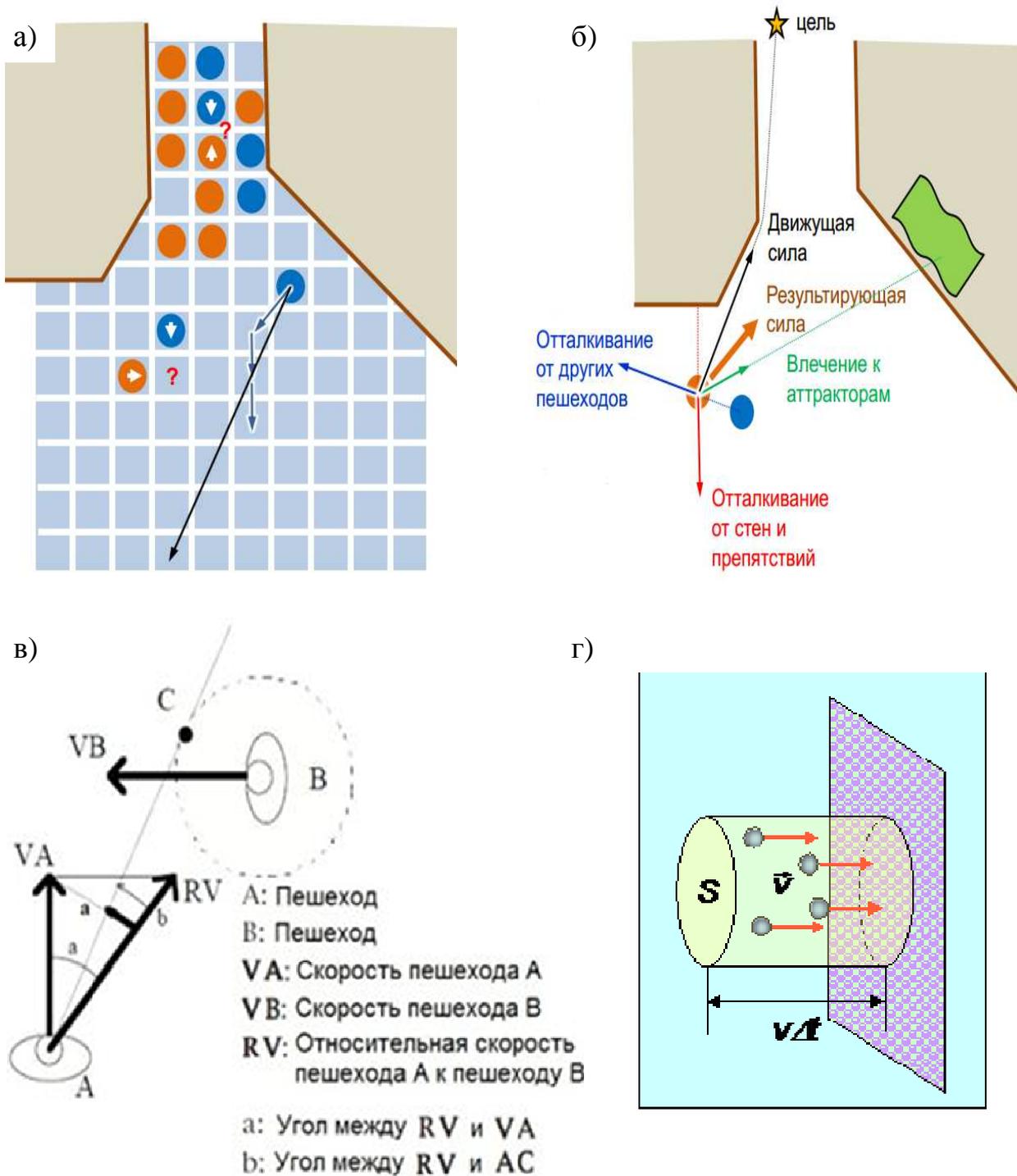


Рисунок 3.2 – Схематичные алгоритмы работы моделей:

а) клеточные автоматы; б) социальных сил; в) магнитная; г) газокINETическая

Таблица 3.1 – Преимущества и недостатки моделей, используемых для моделирования перемещения пассажиров

Модель перемещения пассажиров	Преимущества модели	Недостатки модели
Магнитная модель	простота реализации; высокая скорость работы модели	невозможность индивидуализации пешехода; невозможность учета таких явлений как паника, чрезвычайные ситуации и т.д.; невозможность задания иной линии поведения пешехода, кроме как стремления достичь «цели» и избежать столкновений с другими пешеходами или препятствиями
Модель социальных сил	хорошее приближение к реальности; очень реалистичная анимация; дополнена логикой принятия решений более высокого уровня	отсутствие достаточного быстродействия при вычислениях
Клеточные автоматы	простые локальные правила; хорошее быстродействие при вычислениях; при необходимости может быть хорошо откалибрована	неубедительная анимация
Газокинетическая модель	наиболее распространенная и часто применяемая	невозможно исследование взаимодействия частиц движущихся внутри потока с различными скоростями и выполняющими различные маневры (обгон, перестроение, повороты и т.д.)

Для описания поведения интеллектуальных транспортных объектов (к которым относится пассажир) эта модель использует метамоделли (3.1) и (3.2) [75]:

$$\begin{aligned}
z_v &= f_z(x_v(t), s_v) \\
s_{v+1} &= f_s(x_v(t), s_v) \\
d_{v+1} &= f_d(x_v(t), s_v) \\
x_v(t) &= f_x(t_v), \quad t_v = t_{v-1} + \Delta t,
\end{aligned} \tag{3.1}$$

где  $z_v$  – реакция объекта в  $v$ -й момент времени;

$s_v$  – состояние объекта в этот момент времени;

$x_v$  – переменная, указывающая занята или свободна зона по ходу движения объекта.

$d_v$  – местоположение объекта в среде в  $v$ -й момент времени;

$\Delta t$  – дискретный шаг изменения времени  $t$ .

$$\begin{aligned}
Z_v^i &= f_z^i(x_v^i, s_v^i) \\
s_{v+1}^i &= f_s^i(x_v^i, s_v^i) \\
d_{v+1}^i &= f_d^i(x_v^i, s_v^i) \\
x_v^i &= f_x^i(z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k, t_v) \\
t_v &= t_{v-1} + \Delta t, \quad i=1, 2, \dots, k
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Модель (3.2) отражает влияние каждого из  $k$  объектов системы на рассматриваемый  $i$ -й процесс через изменение входных воздействий  $x_v^i$  как результат формирования совокупности реакций  $z_{v-1}^1, z_{v-1}^2, \dots, z_{v-1}^k$ .

Описание поведения пассажиров ТПУ можно производить, опираясь на метамоделли (3.1) и (3.2), позволяющие обеспечить анализ свойств динамической системы, предназначенной для перемещения объектов разного рода.

При выборе системы для моделирования пассажиропотоков ТПУ были проанализированы программные комплексы, ориентированные на построение имитационных моделей. Данные программные продукты обеспечивают аналитическую и информационную поддержку принятия обоснованных решений в самых разнообразных сферах. Многие из них позволяют проводить некоторый анализ, глубина которого зависит от сложности методологии, лежащей в основе программы. Характеристики современных систем моделирования наиболее часто используемых при моделировании транспортных объектов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики современных систем моделирования, используемых при моделировании транспортных объектов

Система моделирования	Моделирующая среда и поддержка			
	Графическая конструкция имитационного моделирования	Авторское моделирование, программирование моделей	Анимация (в реальном времени)	Поддержка анализа результатов
AnyLogic	Потоковые и UML диаграммы, дискретное моделирование	+ (Java)	+ (2D/3D)	+ (оптимизация OptQuest)
ARENA	Блок-схемы	+ (SIMAN)	+	+
EXTEND	Компоновочные блоки, непрерывные и дискретные модели	+ (Modl)	+	+ (анализ чувствительности)
GPSS/H-PROOF	Блок-схемы	+ (GPSS)	+	+ (ANOVA)
IThINK ANALYST	CASE-средства, имитационное моделирование, потоковые диаграммы	+ (DYNAMO)	+	+ (анализ чувствительности)
PROCESS MODEL	Блок-схемы, дискретное моделирование	–	–	+
SIMUL8	–	+ (объектно-ориентированное программирование)	+	+

Из таблицы 3.2 можно отметить, что больше всего удовлетворяют выбранным для анализа критериям следующие системы моделирования: AnyLogic, ARENA, EXTEND, GPSS/H-PROOF, IThINK ANALYST. Однако AnyLogic имеет преимущества перед перечисленными выше системами моделирования. Модель ТПУ описывается как система массового обслуживания, заявки в которой представляют пассажиры, но представление пассажиров как потока однородных заявок является неадекватным для получения положительного результата. Необходимо также учитывать поведение пассажиров и возможное их

взаимодействие, скорость передвижения, ее зависимость от числа пассажиров в ТПУ и т. п., т. е. необходимо вводить непрерывные переменные. В AnyLogic непрерывные параметры поведения объектов вводятся просто. Именно поэтому для построения математической модели взаимодействия пассажиропотоков в ТПУ был выбран отечественный профессиональный пакет имитационного моделирования AnyLogic 7.

### 3.2 Описание математической модели функционирования ТПУ

Решение задачи построения математической модели функционирования ТПУ, рассмотрено на модельном примере, реализованном на базе предпроектных проработок ТПУ «Тимирязевская», аксонометрическая схема которого и план первого этажа приведены на рисунке 3.2, а план второго этажа на рисунке 3.3. В математической модели функционирования ТПУ учтены все возможные пассажиропотоки: пассажиропоток с монорельса, пригородного ж.-д. транспорта, с «перехватывающей» парковки, метрополитена, наземного пассажирского транспорта, пеший подход.

При моделировании пассажиропотоков транспортных объектов, к которым относится ТПУ, как правило, выделяют следующие основные пассажиропотоки, складывающиеся в пространстве ТПУ:

- 1) исходящий пассажиропоток  $W_i$  – пассажиры, достигшие пункта назначения и имеющие цель выйти из ТПУ;
- 2) входящий пассажиропоток  $V_i$  – пассажиры, имеющие проездные документы и, войдя на территорию ТПУ, сразу следующие на пересадку;
- 3) входящий пассажиропоток  $C_i$  – пассажиры, которым необходимо приобрести проездные документы, войдя на территорию ТПУ, и направляющиеся к кассам.

Необходимо добиться такой организации перемещения пассажиропотоков, при которой пересечений маршрутов их движения было как можно меньше. Достигнуть этого можно изменяя: структуру планировочных решений, число и

расположение касс, входных и выходных дверей, турникетов, вместимость, размеры и конфигурацию вестибюлей, пешеходных тоннелей, переходов и т.д.

Чтобы в результате моделирования пассажиропотоков понять, насколько устойчивой, безопасной, комфортной и эффективной будет работа ТПУ, необходимо правильно описать поведение отдельных пассажиров и в целом пассажиропотоков и их взаимодействие друг с другом в пространстве ТПУ. Для рассматриваемого предпроектного решения в пространстве ТПУ «Тимирязевская» формируются следующие пассажиропотоки:

$V^{ch}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через центральный вход и следующие к эскалатору;

$V^c$  – пассажиры, входящие в ТПУ через центральный вход идвигающиеся в направлении турникетов входа на пассажирские платформы к пригородным поездам;

$V^{cn}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через центральный вход и следующие на пересадку на наземный пассажирский транспорт;

$V^{th}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через правый вход и следующие к эскалатору;

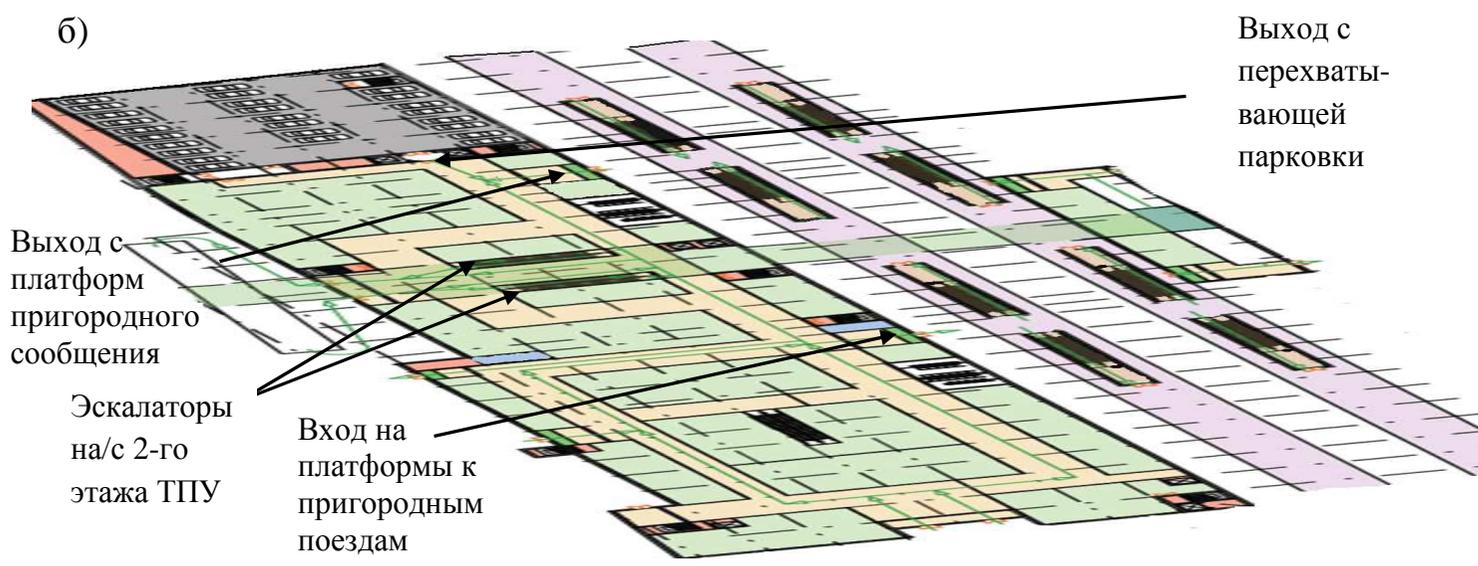
$V^r$  – пассажиры, входящие в ТПУ через правый вход идвигающиеся в направлении турникетов входа на пассажирские платформы к пригородным поездам;

$V^{rn}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через правый вход и следующие на пересадку на наземный пассажирский транспорт;

$V^{rp}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через правый вход и следующие на «перехватывающую» парковку;

$V^n$  – пассажиры, прибывшие в ТПУ наземным пассажирским транспортом идвигающиеся в направлении турникетов входа на пассажирские платформы к пригородным поездам;

$V^{p1}$  – пассажиры, прибывшие в ТПУ (1-й этаж) на индивидуальном автотранспорте идвигающиеся в направлении турникетов входа на пассажирские платформы к пригородным поездам;



- Условные обозначения:
- платформы станции Тимирязевская
  - движение пассажиропотоков в ТПУ
  - горизонтальные коммуникации обслуживающие перемещение пассажиров между видами транспорта
  - кассы
  - залы ожидания
  - турникеты, шлагбаумы
  - вертикальные коммуникации
  - многоуровневый гараж
  - тех. и адм. пом. многоуровневой парковки: венткамеры, насосная, с/у, охрана и др.
  - направление движения основных пассажиропотоков

Рисунок 3.2 –ТПУ «Тимирязевская»: а) аксонометрическая схема размещения основных устройств; б) план первого этажа

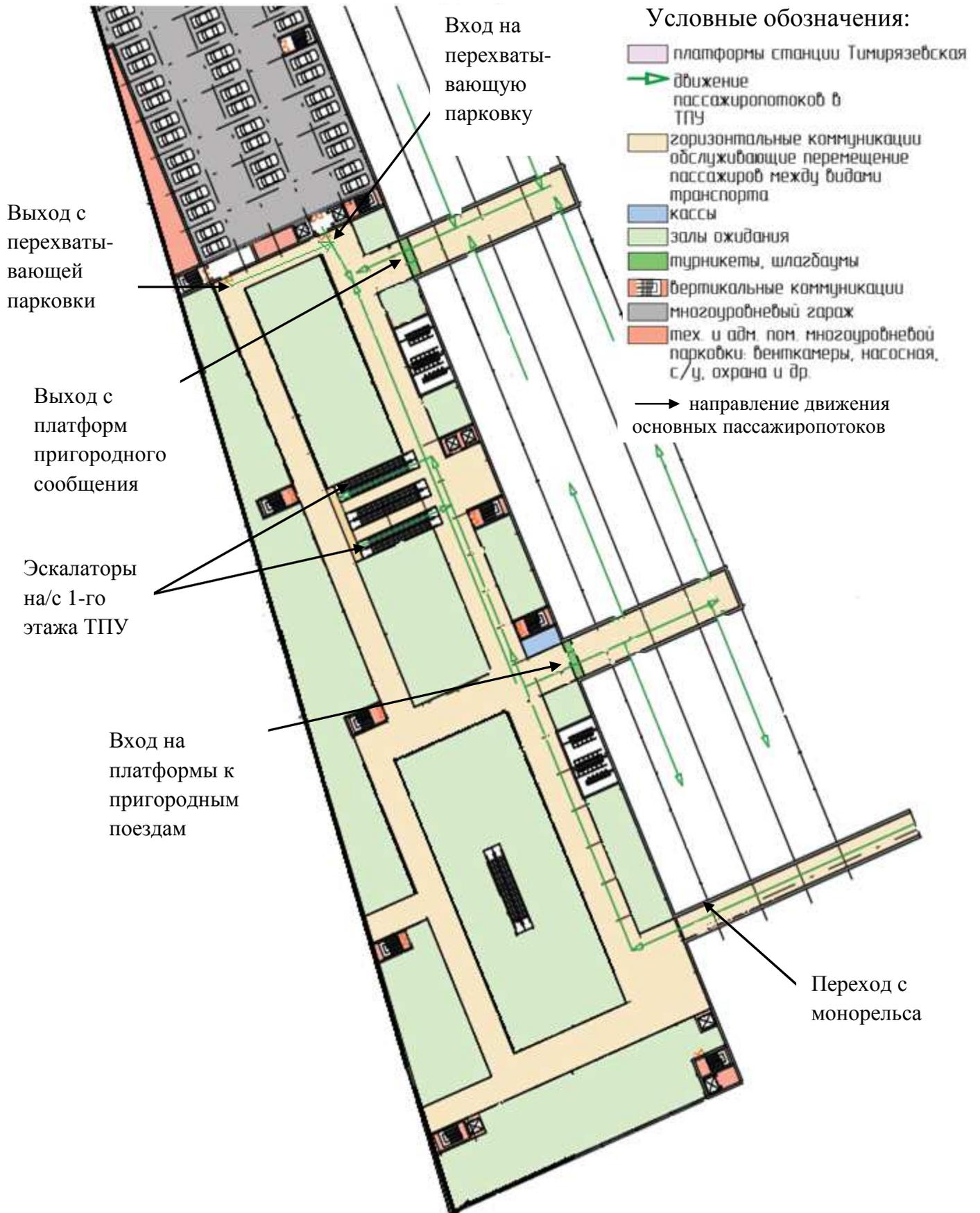


Рисунок 3.3 – План второго этажа и направления движения пассажиропотоков ТПУ «Тимирязевская»

$V^{ph}$  – пассажиры, прибывшие в ТПУ (1-й этаж) на индивидуальном автотранспорте и следующие к эскалатору;

$V^{pn}$  – пассажиры, прибывшие в ТПУ (1-й этаж) на индивидуальном автотранспорте и следующие на пересадку на наземный пассажирский транспорт;

$V^u$  – пассажиры с проездными документами, попадающие на 2-й этаж ТПУ с помощью эскалаторов и двигающиеся в направлении турникетов входа на пассажирскую платформу к пригородным поездам;

$V^m$  – пассажиры с проездными документами, следующие на пересадку с монорельсового транспорта в направлении турникетов входа на пассажирскую платформу к пригородным поездам (2-й этаж ТПУ);

$V^p$  – пассажиры с проездными документами, пользующиеся паркингом и двигающиеся в направлении турникетов входа на пассажирскую платформу к пригородным поездам (2-й этаж ТПУ);

$C^{uk}$  – пассажиры, попадающие на 2-й этаж ТПУ с помощью эскалаторов и направляющиеся к кассам входа на пассажирскую платформу, а затем к турникетам входа на пассажирскую платформу;

$C^{mk}$  – пассажиры, следующие на пересадку с монорельсового транспорта к кассам входа на пассажирскую платформу, а затем направляющиеся к турникетам входа на пассажирскую платформу (2-й этаж ТПУ);

$C^c$  – пассажиры, входящие в ТПУ через центральный вход и следующие к кассам входа на платформы пригородных электропоездов, а затем к турникетам;

$C^{cn}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через центральный вход и следующие к кассам наземного пассажирского транспорта, а затем к турникетам;

$C^r$  – пассажиры, входящие в ТПУ через правый вход и следующие к кассам входа на пассажирские платформы, а затем к турникетам;

$C^{rn}$  – пассажиры, входящие в ТПУ через правый вход и следующие к кассам наземного пассажирского транспорта, а затем к турникетам;

$C^n$  – пассажиры, прибывшие на наземном транспорте и следующие к кассам входа на пассажирские платформы, а затем к турникетам;

$C^{p1}$  – пассажиры, прибывшие в ТПУ (1-й этаж) на индивидуальном транспорте и следующие к кассам входа на платформы пригородных электропоездов, а затем к турникетам;

$C^{pk}$  – пассажиры, пользующиеся паркингом и направляющиеся к кассам входа на пассажирскую платформу, а затем к турникетам входа на пассажирскую платформу (2-й этаж ТПУ);

$W^n$  – пассажиры, прибывшие наземным транспортом и следующие на выход;

$W^{pe}$  – пассажиры, прибывшие на индивидуальном автотранспорте и следующие на выход;

$W^{he}$  – пассажиры, следующие от эскалатора со 2-го этажа ТПУ на выход;

$W^c$  – пассажиры, прибывшие в пригородных электропоездах и следующие на выход;

$W^{np}$  – пассажиры, прибывшие наземным пассажирским транспортом и следующие на «перехватывающую» парковку;

$W^{lp}$  – пассажиры, прибывшие в пригородных электропоездах и следующие на «перехватывающую» парковку;

$W^u$  – пассажиры, прибывшие в пригородных электропоездах и следующие через турникеты выхода с пассажирских платформ к эскалатору на 1-й этаж ТПУ;

$W^{pu}$  – пассажиры, прибывшие на личном автотранспорте и следующие к эскалатору на 1-й этаж ТПУ;

$W^{mu}$  – пассажиры, прибывшие монорельсовым транспортом и следующие к эскалатору на 1-й этаж ТПУ;

$W^p$  – пассажиры, прибывшие в пригородных электропоездах и следующие через турникеты выхода с пассажирских платформ на «перехватывающую» парковку (2-й этаж ТПУ);

$W^m$  – пассажиры, прибывшие монорельсовым транспортом и следующие на «перехватывающую» парковку (2-й этаж ТПУ).

Помимо перечисленных пассажиропотоков в пространстве ТПУ может быть незначительное число пассажиров, следующих в залы или из залов ожидания,

направляющиеся к или от объектов сервисного обслуживания и т.д. Однако, в ТПУ их доля настолько мала по сравнению с основными пассажиропотоками, что она не может повлиять на устойчивость и эффективность функционирования ТПУ.

Пространство ТПУ представим в виде разбитой на зоны ленты (рисунок 3.4). В каждой зоне ленты может быть записан только один символ из алфавита  $Y$ , содержащего следующие переменные [90]:

$$Y = \{S_i, B_j, H_k, V_l, R_m, N_p\} \quad (3.3)$$

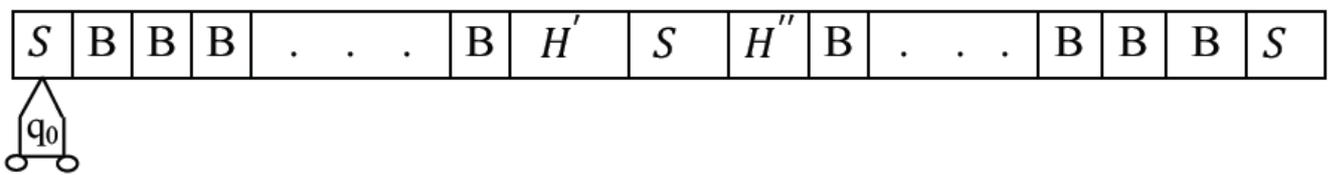


Рисунок 3.4 – Разбивка пространства ТПУ на зоны

Символы  $B_j$  характеризуют незанятость зоны каким-либо объектом;  $S_i$  – адреса пунктов ТПУ;  $H_k$  – зоны, в которых осуществляется управление возможностью дальнейшего следования объекта;  $V_l$  – транспортные объекты (пассажиры ТПУ);  $R_m$  – места возможного изменения маршрута движения пассажира и выбора дальнейшего направления;  $N_p$  – препятствия на пути следования.

Перемещение объекта  $V_l$  осуществляет управляющее (исполнительное) устройство  $q_j$ , которое обладает способностью просматривать ближайшие соседние зоны и перемещать объект в соседние зоны (вперед или назад).

События, которые возникают в подобной модели и реакции транспортного оператора, описываются выражением [90]:

$$\frac{V_l}{q_j} BST \frac{V_l}{q_k} \quad (3.4)$$

где первая тройка символов [90]:

$$\frac{V_l}{q_j} B \quad (3.5)$$

характеризует событие, которое может сложиться в транспортном процессе, а вторая [90]:

$$ST \frac{V_l}{q_k} \quad (3.6)$$

одну из возможных реакций транспортного оператора. Под транспортным оператором понимают конечную совокупность транспортных операций, среди которых нет операций с одинаковыми начальными тройками. В целом совокупность (3.4) указывает логическую операцию, которая может быть использована для управления транспортным процессом на каком-то шаге его развития.

Для рассмотрения всех возможных типов логических операций будем использовать множество  $D$ , характеризующее реакции управляющего устройства  $q_j$  [90]:

$$D = \{ST, RE, EX, R, L, R(S_k)\} \quad (3.7)$$

где  $ST$  – команда на перемещение на один шаг по ходу движения;  $RE$  – команда изменения направления движения;  $EX$  – команда ожидания или остановки;  $R$  – команда на изменения направления движения направо;  $L$  – налево;  $R(S_k)$  – команда на выполнение одного шага от зоны  $R$  к зоне  $S_k$ .

Используя данную технологию, построенную на логико-разностных подходах, опишем поведение пассажиропотоков ТПУ «Тимирязевская». С целью сокращения объема описания сходных по поведению потоков (в перечисленном выше списке 34 различных видов пассажиропотоков) их виды будут только упомянуты, а при небольших отличиях друг от друга будут выделены только их особенности. Так, например, сходны по своему поведению пассажиропотоки  $V^u$  и  $V^c$ . Рассмотрим поведение потока  $V^u$  (пассажиры с проездными документами, следующие с эскалатора к входу на пассажирскую платформу). Его описание будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & \frac{V_i^{ub}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{ub}}{q_0^i}; \frac{V_i^{ub}}{q_0^i} Tl_1 R \frac{V_i^{us}}{q_0^i}; \frac{V_i^{us}}{q_0^i} Kl_1 L \frac{V_i^{ux}}{q_0^i}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{ux}}{q_0^i}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^i} C_f EX \frac{V_i^{ux}}{q_0^i}; \\ & \frac{V_i^{ux}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{V_i^{ux}}{q_0^i}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^i} TU(c)TU(o) \frac{V_i^{ut}}{q_0^i}; \frac{V_i^{ut}}{q_0^i} TU(o)ST \frac{V_i^{ut}}{q_0^i}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

где  $b$  – фаза движения пассажира от эскалатора до первого поворота направо;  $Tl_1$  – линия, за которой пассажир поворачивает направо;  $s$  – фаза движения пассажира после поворота до первого поворота налево;  $Kl_1$  – линия последней кассы, за которой пассажир поворачивает налево к какому-то из турникетов  $TU_z$ ;  $x$  – фаза движения пассажира после поворота до турникета  $z$ ;  $t$  – фаза движения пассажира после прохода турникета  $z$ ;  $C_f$  – пассажиры кассы  $f$ , образующие очереди у входа к платформам пригородных поездов;  $TU(c)$ ,  $TU(o)$  – турникеты закрытый и открытый соответственно (открытие турникета происходит при приближении пассажира).

Учитывая особенности планировочной структуры ТПУ «Тимирязевская» можно предположить, что пассажиропотоку  $V^u$ , следующему мимо касс к турникетам входа на пригородную пассажирскую платформу, при большой его величине необходимо следовать через очереди к кассам. Эта ситуация в описании потока (3.8) моделируется следующим фрагментом:

$$\frac{V_i^{ux}}{q_0^i} C_f \text{ EX } \frac{V_i^{ux}}{q_0^i}; \frac{V_i^{ux}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{V_i^{ux}}{q_0^i} \quad (3.9)$$

Описание пассажиропотока  $V^m$  (пассажиры с проездными документами, следующие на пересадку с монорельсового транспорта к входу на пассажирскую платформу):

$$\begin{aligned} & \frac{V_i^m}{q_0^i} ENST \frac{V_i^{mb}}{q_0^i}; \frac{V_i^{mb}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{mb}}{q_0^i}; \frac{V_i^{mb}}{q_0^i} Tl_1R \frac{V_i^{md}}{q_0^i}; \frac{V_i^{md}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{md}}{q_0^i}; \\ & \frac{V_i^{md}}{q_0^i} Tl_2R \frac{V_i^{mx}}{q_0^i}; \frac{V_i^{mx}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{mx}}{q_0^i}; \frac{V_i^{mx}}{q_0^i} C_f \text{ EX } \frac{V_i^{mx}}{q_0^i}; \frac{V_i^{mx}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{V_i^{mx}}{q_0^i}; \quad (3.10) \\ & \frac{V_i^{mx}}{q_0^i} TU(c)TU(o) \frac{V_i^{mt}}{q_0^i}; \frac{V_i^{mt}}{q_0^i} TU(o)ST \frac{V_i^{mt}}{q_0^i}. \end{aligned}$$

где  $EN$  – линия входа на 2-й этаж ТПУ со стороны прибытия монорельсового транспорта;  $d$  – фаза движения пассажира до поворота направо к входу № 2 к пассажирским платформам пригородных поездов;  $Tl_2$  – линия, за которой пассажир поворачивает второй раз направо.

Описание пассажиропотока  $V^{cn}$  (пассажиры, входящие в ТПУ через центральный вход и следующие на пересадку на наземный пассажирский транспорт):

$$\begin{aligned} & \frac{V_i^{cn}}{q_0^i} ECST \frac{V_i^{cnb}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnb}}{q_0^i} NEX \frac{V_i^{cnb}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnb}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{cnb}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnb}}{q_0^i} Tl_1R \frac{V_i^{cns}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cns}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{cns}}{q_0^i}; \\ & \frac{V_i^{cns}}{q_s^i} Tl_3L \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i} C_f EX \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i}; \\ & \frac{V_i^{cnx}}{q_0^i} TU(c)TU(o) \frac{V_i^{cnt}}{q_0^i}; \frac{V_i^{cnt}}{q_0^i} TU(o)ST \frac{V_i^{cnt}}{q_0^i}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

где ЕС – линия центрального входа в ТПУ;  $Tl_3$  – линия, за которой пассажир поворачивает налево.

Учитывая особенности планировочного решения 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская» описание пассажиропотока  $V^p$  значительно проще:

$$\begin{aligned} & \frac{V_i^p}{q_0^i} EPST \frac{V_i^{pl}}{q_0^i}; \frac{V_i^{pl}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{pl}}{q_0^i}; \frac{V_i^{pl}}{q_0^i} Kl_1L \frac{V_i^{px}}{q_0^i}; \frac{V_i^{px}}{q_0^i} BST \frac{V_i^{px}}{q_0^i}; \frac{V_i^{px}}{q_0^i} C_f EX \frac{V_i^{px}}{q_0^i}; \\ & \frac{V_i^{px}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{V_i^{px}}{q_0^i}; \frac{V_i^{px}}{q_0^i} TU(c)TU(o) \frac{V_i^{pt}}{q_0^i}; \frac{V_i^{pt}}{q_0^i} TU(o)ST \frac{V_i^{pt}}{q_0^i}. \end{aligned} \quad (3.12)$$

где EP – линия входа на 2-й этаж ТПУ с «перехватывающей» парковки; 1 – фаза движения пассажира до второго поворота налево к входу к пассажирским платформам пригородных поездов.

Совокупность выражений (3.13) характеризует поведение пассажиропотока  $C^{uk}$ , пассажиры которые нуждаются в приобретении проездных билетов в кассах ТПУ:

$$\begin{aligned} & \frac{C_i^{uk}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{ukb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{ukb}}{q_0^i} Tl_1R \frac{C_i^{uks}}{q_0^i}; \frac{C_i^{uks}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{uks}}{q_0^i}; \frac{C_i^{uks}}{q_0^i} Kl_1L \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i}; \\ & \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i} BST(f) \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i} C^{kf} EX \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i} B(d)ST(df) \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i}; \\ & \frac{C_i^{ukf}}{q_0^i} K_f EX(t) \frac{C_i^{ukh}}{q_1^i}; \frac{C_i^{ukh}}{q_1^i} K_f R \frac{C_i^{ukh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{ukh}}{q_0^i} BST(z) \frac{C_i^{ukh}}{q_0^i}; \\ & \frac{C_i^{ukh}}{q_0^i} TU_z(c)TU_z(o) \frac{C_i^{ukh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{ukh}}{q_0^i} TU_z(o)ST \frac{C_i^{ukt}}{q_0^i}. \end{aligned} \quad (3.13)$$

где  $f$  – фаза движения пассажира от момента выбора кассы до покупки билета;  $C^{kf}$  – пассажиропоток, ожидающий обслуживания в очереди к кассе;  $K_f$  – касса с номером  $f$ ;  $EX(t)$  – время, затрачиваемое кассиром на продажу билета;  $h$  – фаза движения пассажира после покупки билета и до турникетов.

В описании пассажиропотока  $C^{uk}$  (3.13) пассажир после поворота налево к кассам принимает решение, к какой кассе он будет двигаться далее. Это решение он принимает, исходя из длины очереди перед каждой из касс, в соответствии со следующим выражением:

$$K_i = \min_f \{R_1, R_2, \dots, R_f\} \quad (3.14)$$

где  $R_i$  – длина очереди перед  $i$ -ой кассы, а пассажир выбирает для себя кассу с очередью минимальной среди  $f$  касс. После сделанного выбора  $C^{uks}$  преобразуется в символ  $C^{ukf}$ , что обозначает начало новой фазы движения – движение  $ST(f)$  к выбранной кассе  $f$ . Она продолжается до момента достижения «спины» последнего ожидающего билета пассажира в этой очереди.

Пассажир, находясь в очереди, не может делать полный шаг, так как зона перед ним занята. Тогда он начинает двигаться «потихоньку», делая неполный шаг. Если освобождается часть зоны размером  $B(d)$ , то и пассажир делает шаг соответствующего размера  $ST(d)$ . Виртуально в пространстве имеется множество сеток с различным шагом дискретизации  $d$ . Аналогичным образом выполняется описание пассажиропотоков:  $C^{mk}$  (3.15),  $C^{pk}$  (3.16),  $C^r$  (3.17),  $C^{cn}$  (3.18).

$$\begin{aligned} & \frac{C_i^{mk}}{q_0^i} ENST \frac{C_i^{mkb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkb}}{q_0^i} Tl_1 R \frac{C_i^{mkd}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkd}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{mkd}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkd}}{q_0^i} Tl_2 R \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i}; \\ & \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i} BST(f) \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i} C^{kf} EX \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i} B(d) ST(df) \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i}; \quad (3.15) \\ & \frac{C_i^{mkf}}{q_0^i} K_f EX(t) \frac{C_i^{mkh}}{q_1^i}; \frac{C_i^{mkh}}{q_1^i} K_f R \frac{C_i^{mkh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkh}}{q_0^i} BST(z) \frac{C_i^{mkh}}{q_0^i}; \\ & \frac{C_i^{mkh}}{q_0^i} TU_z(c) TU_z(o) \frac{C_i^{mkh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{mkh}}{q_0^i} TU_z(o) ST \frac{C_i^{mkt}}{q_0^i}. \end{aligned}$$

где  $ST(z)$  – фаза движения к выбранному турникету  $z$ .

$$\begin{aligned}
& \frac{C_i^{pk}}{q_0^i} EPST \frac{C_i^{pkl}}{q_0^i}; \frac{C_i^{pkl}}{q_0^i} Kl_1 L \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i} BST(f) \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i} C^{kf} EX \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i} B(d)ST(df) \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{pkf}}{q_0^i} K_f EX(t) \frac{C_i^{pkh}}{q_1^i}; \frac{C_i^{pkh}}{q_1^i} K_f R \frac{C_i^{pkh}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{pkh}}{q_0^i} BST(z) \frac{C_i^{pkh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{pkh}}{q_0^i} TU_z(c)TU_z(o) \frac{C_i^{pkh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{pkh}}{q_0^i} TU_z(o)ST \frac{C_i^{pkt}}{q_0^i}.
\end{aligned} \tag{3.16}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{C_i^r}{q_0^i} ERST \frac{C_i^{rb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rb}}{q_0^i} NEX \frac{C_i^{rb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rb}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{rb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rb}}{q_0^i} Tl_1R \frac{C_i^{rs}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rs}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{rs}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{rs}}{q_s^i} Tl_3L \frac{C_i^{rd}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rd}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{rd}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rd}}{q_0^i} Tl_2R \frac{C_i^{rf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rf}}{q_0^i} BST(f) \frac{C_i^{rf}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{rf}}{q_0^i} C^f EX \frac{C_i^{rf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rf}}{q_0^i} B(d)ST(df) \frac{C_i^{rf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rf}}{q_0^i} K_f EX(t) \frac{C_i^{rh}}{q_1^i}; \frac{C_i^{rh}}{q_1^i} K_f R \frac{C_i^{rh}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{rh}}{q_0^i} BST(z) \frac{C_i^{rh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rh}}{q_0^i} TU_z(c)TU_z(o) \frac{C_i^{rh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{rh}}{q_0^i} TU_z(o)ST \frac{C_i^{rt}}{q_0^i}.
\end{aligned} \tag{3.17}$$

где ER – линия правого входа в ТПУ.

$$\begin{aligned}
& \frac{C_i^{cn}}{q_0^i} ECST \frac{C_i^{cnb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnb}}{q_0^i} NEX \frac{C_i^{cnb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnb}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{cnb}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnb}}{q_0^i} Tl_1R \frac{C_i^{cnd}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{cnd}}{q_0^i} BST \frac{C_i^{cnd}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnd}}{q_0^i} Tl_2R \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i} BST(f) \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i} C^f EX \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i} B(d)ST(df) \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnf}}{q_0^i} K_f EX(t) \frac{C_i^{cnh}}{q_1^i}; \frac{C_i^{cnh}}{q_1^i} K_f L \frac{C_i^{cnh}}{q_0^i}; \\
& \frac{C_i^{cnh}}{q_0^i} BST(z) \frac{C_i^{cnh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnh}}{q_0^i} TU_z(c)TU_z(o) \frac{C_i^{cnh}}{q_0^i}; \frac{C_i^{cnh}}{q_0^i} TU_z(o)ST \frac{C_i^{cnt}}{q_0^i}.
\end{aligned} \tag{3.18}$$

Наиболее простыми оказываются потоки прибывающих в ТПУ пассажиров, поскольку они не нагружены необходимостью решать какие-либо задачи, кроме одной: выйти из ТПУ. Например, пассажиры  $W^{pu}$  с «перехватывающей» парковки следуют прямо через распределительный зал к г-м эскалатору (3.19):

$$\begin{aligned}
& \frac{W_i^{pu}}{q_0^i} EPST \frac{W_i^{pub}}{q_0^i}; \frac{W_i^{pub}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{pub}}{q_0^i}; \frac{W_i^{pub}}{q_b^i} Tl_1R \frac{W_i^{pur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{pur}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{pur}}{q_0^i}; \\
& \frac{W_i^{pur}}{q_0^i} W_l^{pur} EX(r) \frac{W_i^{pur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{pur}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{W_i^{pur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{pur}}{q_0^i} ESST \frac{W_i^{pue}}{q_0^i}.
\end{aligned} \tag{3.19}$$

где  $EX(r)$  – время, затрачиваемое пассажиром в ожидании входа на эскалатор;  $ES$  – линия начала эскалатора, работающего на спуск;  $e$  – индекс пассажира, покинувшего 2-й этаж ТПУ «Тимирязевская».

Пассажиры, прибывшие в пригородных электропоездах и следующие через турникеты к эскалатору, действуют в соответствии с оператором (3.20):

$$\begin{aligned} & \frac{W_i^u}{q_0^i} BST \frac{W_i^u}{q_0^i}; \frac{W_i^u}{q_0^i} NEX \frac{W_i^u}{q_0^i}; \frac{W_i^u}{q_0^i} K_1 L \frac{W_i^{ub}}{q_0^i}; \frac{W_i^{ub}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{ub}}{q_0^i}; \frac{W_i^{ub}}{q_0^i} Tl_1 R \frac{W_i^{ur}}{q_0^i}; \\ & \frac{W_i^{ur}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{ur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{ur}}{q_0^i} W_l^{ur} EX(r) \frac{W_i^{ur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{ur}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{W_i^{ur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{ur}}{q_0^i} ESST \frac{W_i^{ue}}{q_0^i}. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Здесь  $K_1$  обозначает линию касс у выхода с пригородных платформ, дойдя до которой, пассажиры поворачивают налево, а затем, направо к  $г$ -м эскалатору, следующему на спуск.

Описание пассажиропотока  $W^{mu}$  следующего с монорельсового транспорта к эскалатору:

$$\begin{aligned} & \frac{W_i^{mu}}{q_0^i} ENST \frac{W_i^{mub}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mub}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{mub}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mub}}{q_0^i} Tl_1 R \frac{W_i^{mus}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mus}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{mus}}{q_0^i}; \\ & \frac{W_i^{mus}}{q_0^i} Tl_3 L \frac{W_i^{mur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mur}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{mur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mur}}{q_0^i} W_l^{mur} EX(r) \frac{W_i^{mur}}{q_0^i}; \quad (3.21) \\ & \frac{W_i^{mur}}{q_0^i} B(d)ST(d) \frac{W_i^{mur}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mur}}{q_0^i} ESST \frac{W_i^{mue}}{q_0^i}. \end{aligned}$$

Описание пассажиропотока с пригородных электропоездов  $W^p$ , следующего через турникеты выхода с пассажирских платформ на «перехватывающую» парковку:

$$\begin{aligned} & \frac{W_i^p}{q_0^i} BST \frac{W_i^p}{q_0^i}; \frac{W_i^p}{q_0^i} NEX \frac{W_i^p}{q_0^i}; \frac{W_i^p}{q_0^i} K_2 R \frac{W_i^{py}}{q_0^i}; \frac{W_i^{py}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{py}}{q_0^i}; \\ & \frac{W_i^{py}}{q_0^i} NEX \frac{W_i^{py}}{q_0^i}; \frac{W_i^{py}}{q_0^i} ExrST \frac{W_i^{pe}}{q_0^i}. \end{aligned} \quad (3.22)$$

где  $K_2$  – линия касс у выходы с пригородных платформ, дойдя до которой пассажиры поворачивают направо;  $y$  – фаза движения пассажира до двери ведущей на «перехватывающую» парковку после поворота направо;  $Exr$  – выходные двери, ведущие на «перехватывающую» парковку.

Описание пассажиропотока  $W^m$  следующего с монорельсового транспорта на «перехватывающую» парковку:

$$\frac{W_i^m}{q_0^i} ENST \frac{W_i^{mb}}{q_0^i}; \frac{W_i^{mb}}{q_0^i} Tl_1R \frac{W_i^{my}}{q_0^i}; \frac{W_i^{my}}{q_0^i} BST \frac{W_i^{my}}{q_0^i}; \frac{W_i^{my}}{q_0^i} NEX \frac{W_i^{my}}{q_0^i};$$

$$\frac{W_i^{my}}{q_0^i} ExrST \frac{W_i^{me}}{q_0^i}. \quad (3.23)$$

По фрагментам описания пассажиропотоков ТПУ «Тимирязевская» можно заметить, что наиболее сложная ситуация при организации пассажиропотоков, для заданного архитектурно-планировочного решения, складывается в центральной части 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская».

Формализованное описание пассажиропотоков ТПУ позволяет систематизировать представление о процессах, протекающих в нём и проанализировать общие свойства транспортных систем, абстрагируясь от деталей, характерных для каждого отдельного вида транспорта или системы.

### 3.3 Компьютерная реализация математической модели функционирования ТПУ

Для компьютерной реализации в виде модельного примера, описанной в пункте 3.2 диссертации математической модели функционирования ТПУ «Тимирязевская», выбран отечественный профессиональный пакет имитационного моделирования AnyLogic 7 University (образовательная версия) [91]. При её построении была активно задействована пешеходная библиотека AnyLogic, в которой пассажиры движутся в непрерывном пространстве, реагируя на различные виды препятствий в виде стен и других пассажиров. Особый интерес представляет второй уровень проектируемого ТПУ (рисунок 3.3), так как именно на этом уровне сконцентрирован наибольший процент технологических площадей. Логика работы имитационной модели ТПУ «Тимирязевская» представлена на рисунке 3.5. Приведем описание объектов разработанной модели.

PedGround – данный объект задает двумерное пространство в моделируемой среде, представляющее собой 2-й этаж ТПУ «Тимирязевская», т.е. поверхность, по которой будут перемещаться пассажиры и посетители ТПУ. Этаж ограничен стенами – объектами, которые пассажиры и посетители не могут пересекать.

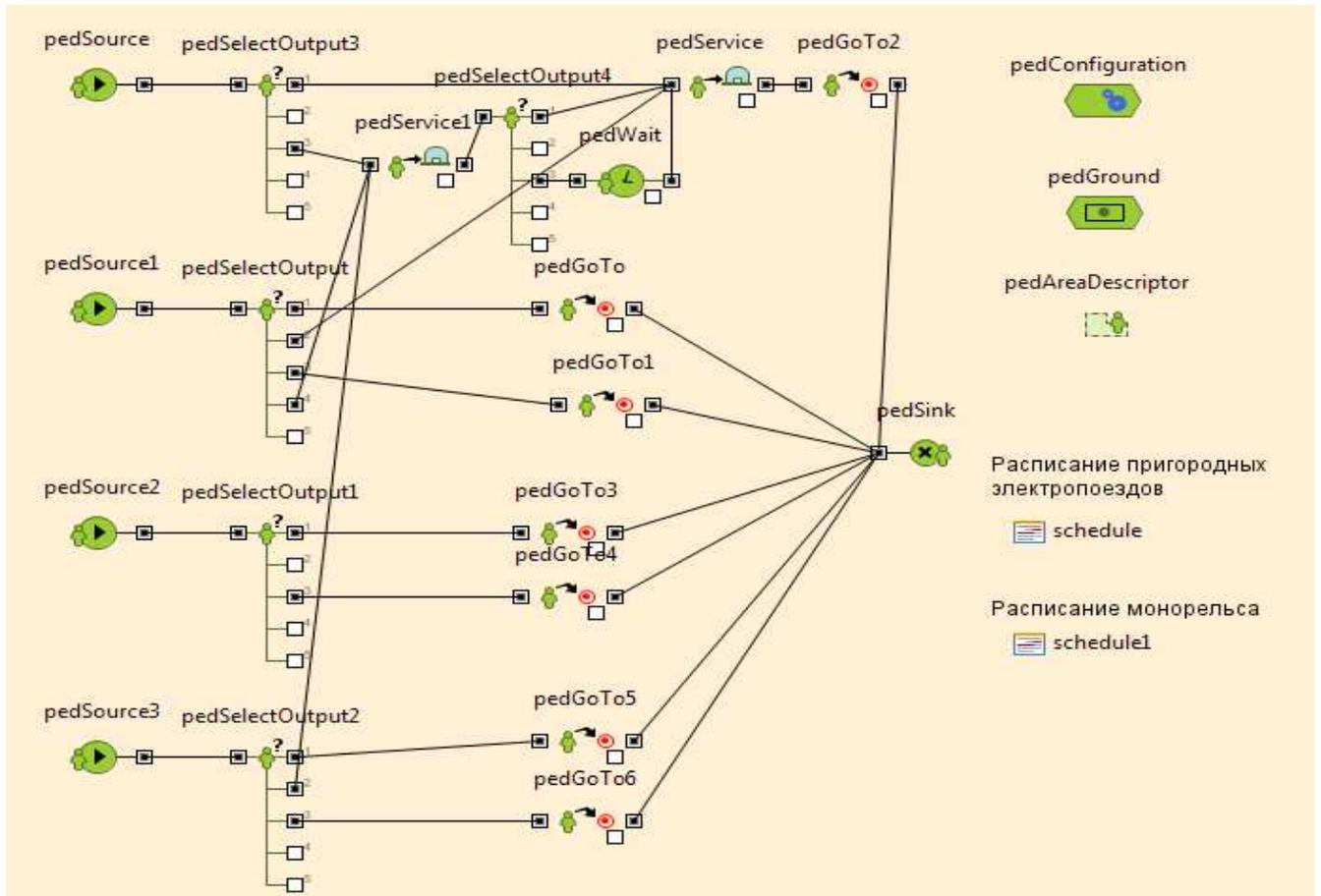


Рисунок 3.5 – Логическая структура работы имитационной модели ТПУ «Тимирязевская»

На фрагменте анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская» приведенной на рисунке 3.6 моделируемое пространство представляет собой план 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская» ограниченное замкнутыми ломаными линиями, имитирующими стены, внутри которых расположены целевые линии – линии появления и поглощения пассажиропотоков; графические объекты, изображающие турникеты, билетные кассы, залы ожидания. PedSource в данном случае – генератор пассажиров, используемый в качестве начальной точки диаграммы процесса.

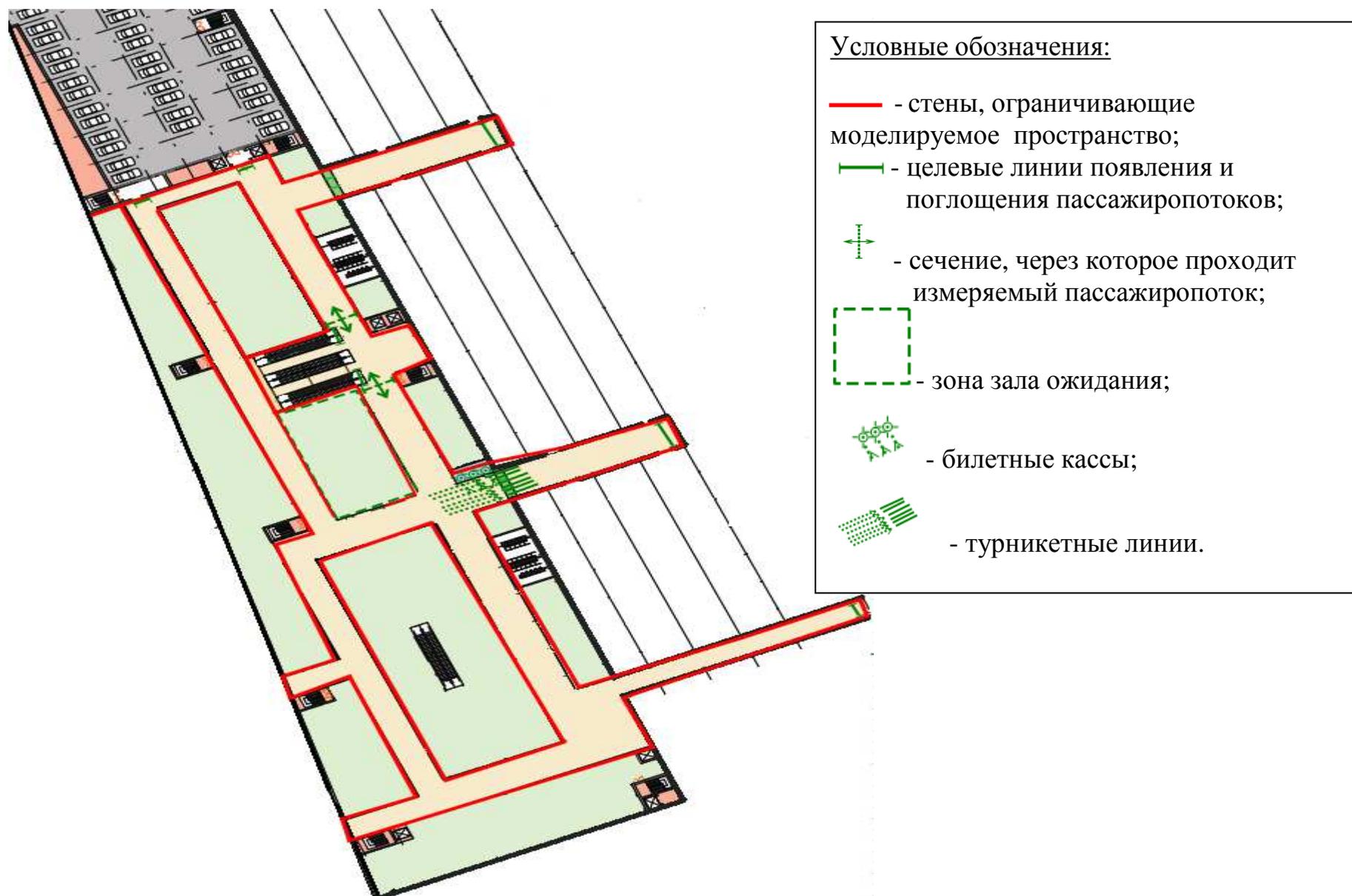


Рисунок 3.6 – Фрагмент анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская»

Пассажиры поступают в ТПУ с заданной (установленной по результатам обследования) или задаваемой интенсивностью пассажиропотоков в ТПУ «Тимирязевская» для утреннего «час-пика». В ходе выполнения эксперимента интенсивность поступления пассажиров может варьироваться в заданных пределах. Пассажиры, следующие на пересадку, попадают на 2-й этаж ТПУ «Тимирязевская» с платформ пригородного сообщения, с монорельсового транспорта, с «перехватывающей» парковки и с 1-го этажа ТПУ, в связи с этим на рисунке 3.5 приведены четыре объекта PedSource.

Электропоезда пригородного сообщения и монорельсовые поезда прибывают в ТПУ в соответствии с действующим (заданным) расписанием, которое задается с помощью специального модуля расписаний Shedule.

PedGoTo – объект моделирует перемещение пассажиров в пространстве 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская», указывая пассажиру путь следования.

PedSink – объект удаляет поступивших в него пассажиров из моделируемой среды и используется в качестве конечной точки диаграммы процесса.

PedConfiguration – объект позволяет изменять общие настройки диаграммы процесса движения пассажиров, влияющие на производительность модели.

PedService – объект, который добавляется в диаграмму процесса для моделирования процесса обслуживания пассажиров в заданном сервисе (билетные кассы, турникеты, автоматы по продаже билетов и т.д.). Объект позволяет моделировать очереди и сервисы в любой комбинации и устанавливать правила выбора сервисов. Время задержки пассажиров у турникетов распределено по равномерному закону с минимальным значением равным 2 секунды, а максимальным – 3 секунды, время задержки пассажиров у билетных касс, для приобретения проездного документа, находится в интервале от 15 до 25 секунд. При моделировании очередей в модели имеется возможность выбора пассажиром очереди по следующим критериям: самая короткая, ближайшая, другая (конкретная).

PedSelectOutput – объект является блоком принятия решений. Пассажир, вошедший в блок PedSelectOutput, будет перенаправлен в один из пяти выходных

портов в зависимости от заданных для этих портов коэффициентов предпочтения. Объект `PedSelectOutput` будет перенаправлять пассажиров без билета к кассам, а пассажиров с билетами к турникетам. Также с помощью этого объекта можно распределять пассажиропоток в зависимости от цели назначения. Так, например, пассажиропоток прибывающий в ТПУ с монорельсового транспорта с помощью объекта `PedSelectOutput` распределяет его в следующем соотношении: 55 % следует к эскалатору, работающему на спуск на 1-й этаж ТПУ; 25 % пассажиров к билетным кассам, а затем к турникетам входа на пассажирскую платформу; 15 % пассажиров с проездными документами сразу отправляются к турникетам; 5 % пассажиров следует на «перехватывающую» парковку.

`PedAreaDescriptor` – объект, с помощью которого моделируются пассажиропотоки в залах ожидания пассажиров пригородного сообщения. Место расположения залов ожидания и их площадь устанавливались из предпроектных проработок по ТПУ «Тимирязевская».

`PedWait` – объект, который заставляет пассажиров перейти в зал ожидания и ожидать там в течение определенного периода времени. Время нахождения пассажира в зале ожидания пригородных электропоездов задается, если объект пока не существует или устанавливается по результатам проводимого анкетного обследования. Время нахождения пригородного пассажира ТПУ «Тимирязевская» в зале ожидания находится в интервале 5-10 минут.

При построении модели особое внимание уделялось распределению пассажиропотоков по маршрутам следования внутри ТПУ. Каждый пассажир, поступающий в ТПУ, обладает определенными характеристиками: цель посещения ТПУ, наличие проездного документа на соответствующий вид транспорта, время отправления вида транспорта, на который пересаживается пассажир и т.д. Исходя из этого, пассажир выбирает маршрут следования в моделируемом пространстве. В модели можно учесть любые характеристики пассажиропотоков, включая размеры отдельных пассажиров (дети, взрослые и т.д.), меняя как скорость перемещения пассажиров в целом, так и скорость

перемещения различных их групп (маломобильные группы населения (МГН) и инвалиды, пассажиры с детьми, с багажом и т.д.).

В процессе работы модели отображается статистическая информация, характеризующая пассажиропотоки. Модель позволяет собирать статистику по интенсивности пассажиропотоков, проходящих в моделируемом пространстве через заданную линию (сечение), а также трафик – общее количество пассажиров, пересекающих заданную линию в заданном направлении (или в обоих направлениях) в единицу времени (в течение последнего часа). Интенсивность пассажиропотока определяется как величина трафика, поделенная на длину линии сечения (в метрах), и измеряется в  $\frac{\text{пассажирах}}{\text{час} \times \text{метр}}$ . Трафик измеряется в пассажирах/час.

Отобразить динамику моделируемого процесса функционирования ТПУ «Тимирязевская» позволяет карта плотности пассажиропотоков, с помощью которой можно обнаружить участки моделируемого пространства, на которых значение плотности пассажиропотоков становится критической. Такие области отображаются на плане моделируемого пространства – красным цветом (критическая считается плотность – 1,5 пассажира на м<sup>2</sup>). Синий цвет используется для участков с низкой плотностью. При нулевой плотности закрашивание соответствующего участка не производится вообще. Приведенный на рисунке 3.7 фрагмент анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская» с плотностью пассажиропотоков в моделируемом пространстве ТПУ и шкалой уровня плотности информирует, что, например, желтый цвет на карте плотности будет соответствовать плотности 0,75 пас./м<sup>2</sup>. Результаты имитационного моделирования процесса функционирования ТПУ «Тимирязевская» приведены на рисунках 3.7 и 3.8. Они подтверждают вывод, сформулированный по результатам описания пассажиропотоков в пункте 3.2 диссертации о сложной ситуации при организации пассажиропотоков в центральной части 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская».

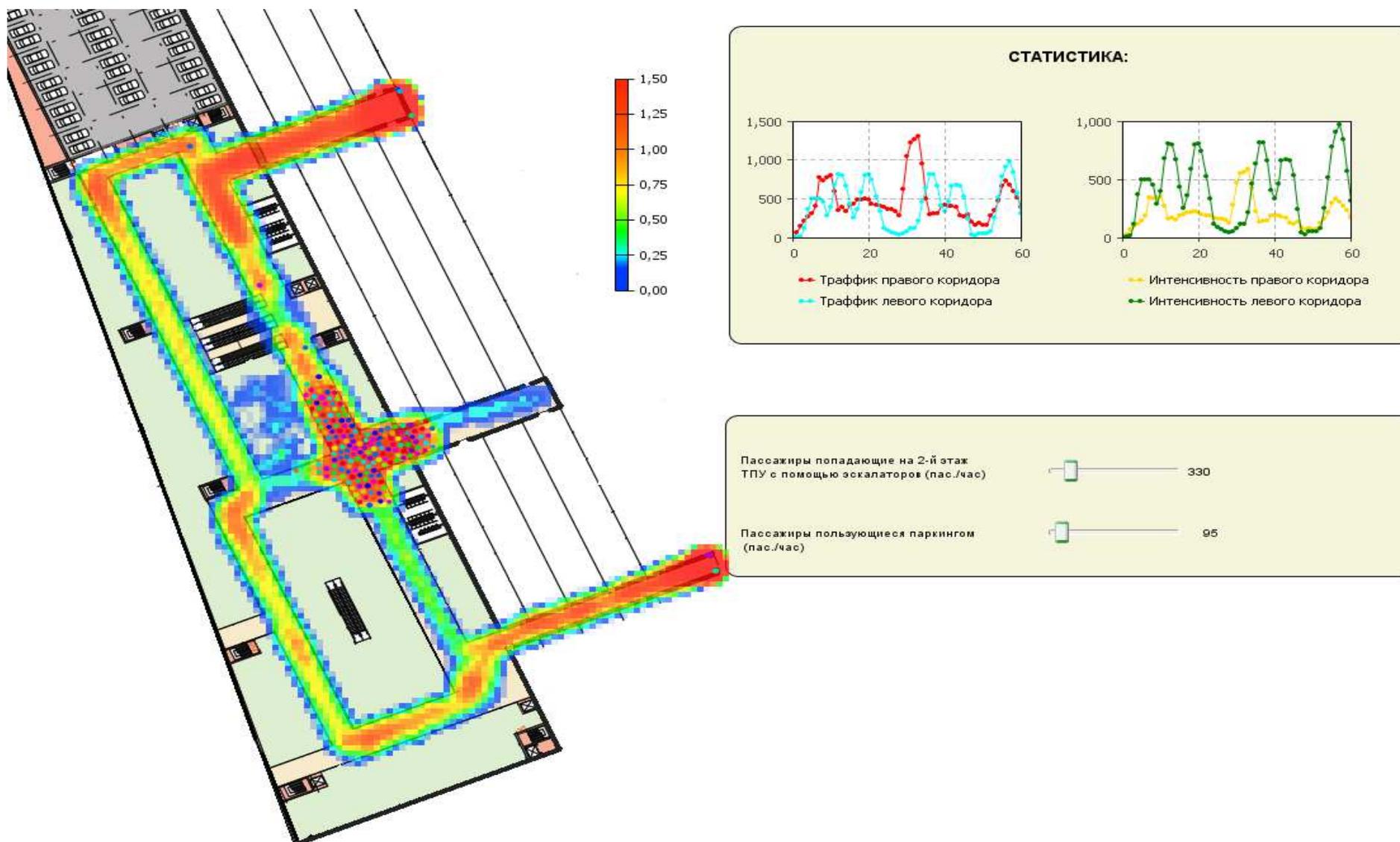


Рисунок 3.7 – Фрагмент анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская»: плотность пассажиропотоков в моделируемом пространстве ТПУ

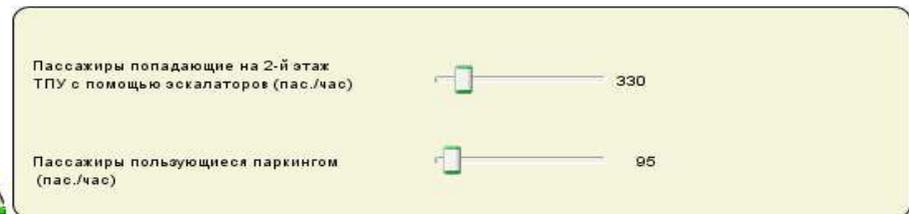
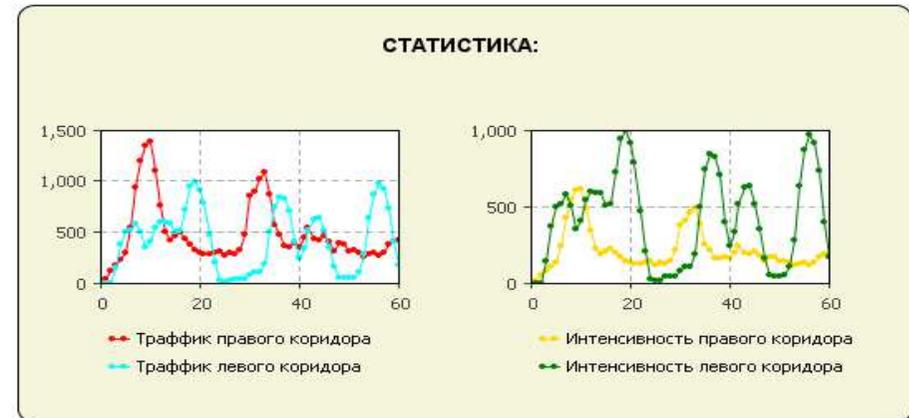
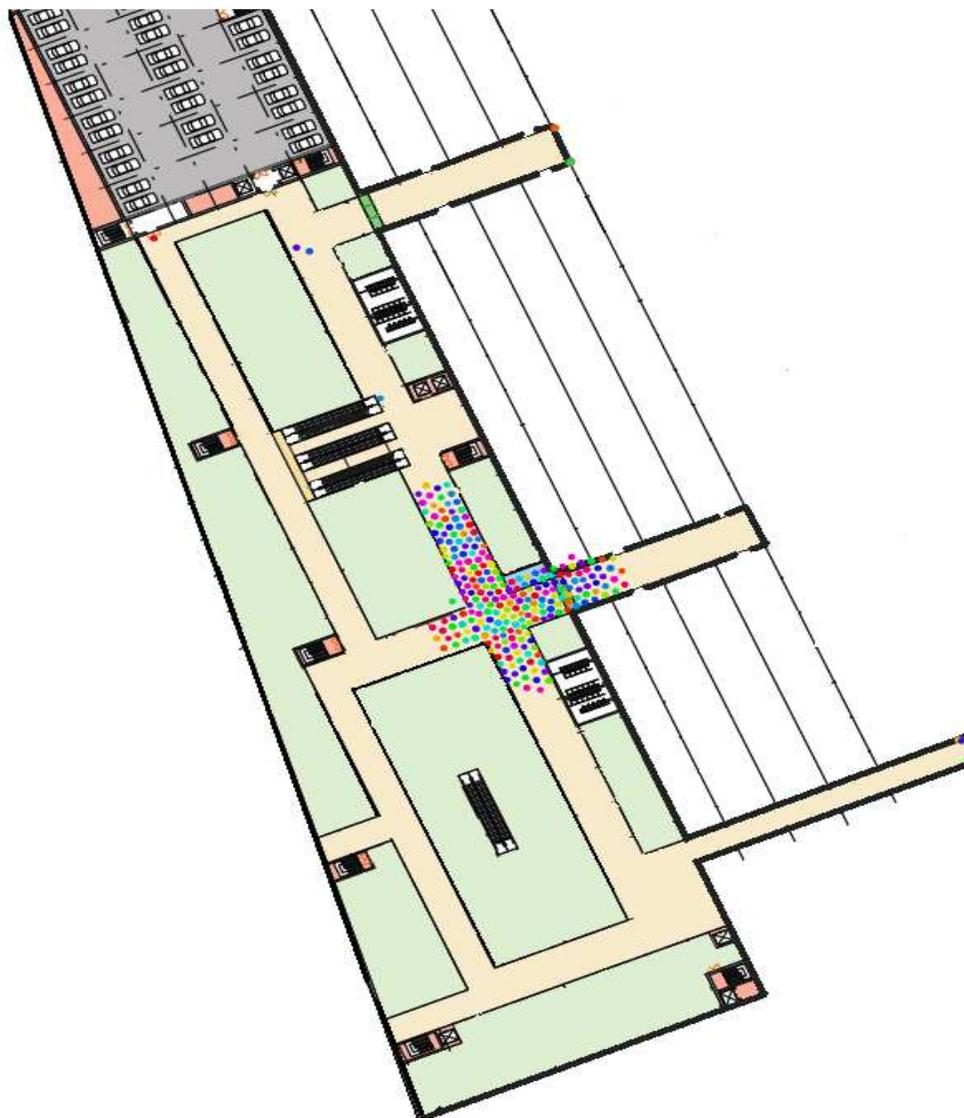


Рисунок 3.8 – Фрагмент анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская»: образование «пробки» в центральной части 2-го этажа ТПУ

Таким образом, предложенное планировочное решение ТПУ «Тимирязевская» (рисунки 3.7 и 3.8) не обеспечивает соблюдение условий быстрой и комфортной пересадки в ТПУ – на определенном моменте прогона модели образовалась «пробка». Образованию «пробки» способствовало неправильное размещение билетных касс: маршруты перемещения и нахождения пассажиров, выстраивающихся в очередь к кассам, пересекаются с маршрутами перемещения и нахождения пассажиров, выстраивающихся в очередь к турникетам. Наибольшая плотность пассажиропотоков наблюдается в правом и левом коридорах ТПУ у эскалаторов, работающих на спуск и подъем со 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская». Принимая во внимание результаты моделирования, произведена перепланировка 2-го этажа ТПУ «Тимирязевская»: изменено расположение билетных касс; перенесена зона расположения залов ожидания. Результаты имитационного моделирования рационализированного варианта функционирования ТПУ «Тимирязевская» в виде фрагмента анимации имитационной модели приведены на рисунках 3.9 и 3.10.

Как видно из временных графиков сбора статистики имитационного моделирования (интенсивность и трафик) в рационализированном варианте, по сравнению с исходным, удалось за тот же период модельного времени (1 час) пропустить на 50 % пассажиров больше. Модельный прогон рационализированного планировочного пространства варианта ТПУ «Тимирязевская» не выявил случаев образования «пробок». Разработанная модель и модельный пример для ТПУ «Тимирязевская» позволяет изменять:

- интенсивность поступления пассажиров в ТПУ;
  - расписание движения пригородных электропоездов и монорельсового транспорта;
  - планировочное решение ТПУ;
  - число билетных касс, турникетов;
  - скорость движения пассажиров в ТПУ и их размеры;
  - время нахождения пассажиров в залах ожидания пригородного сообщения
- и т.д.

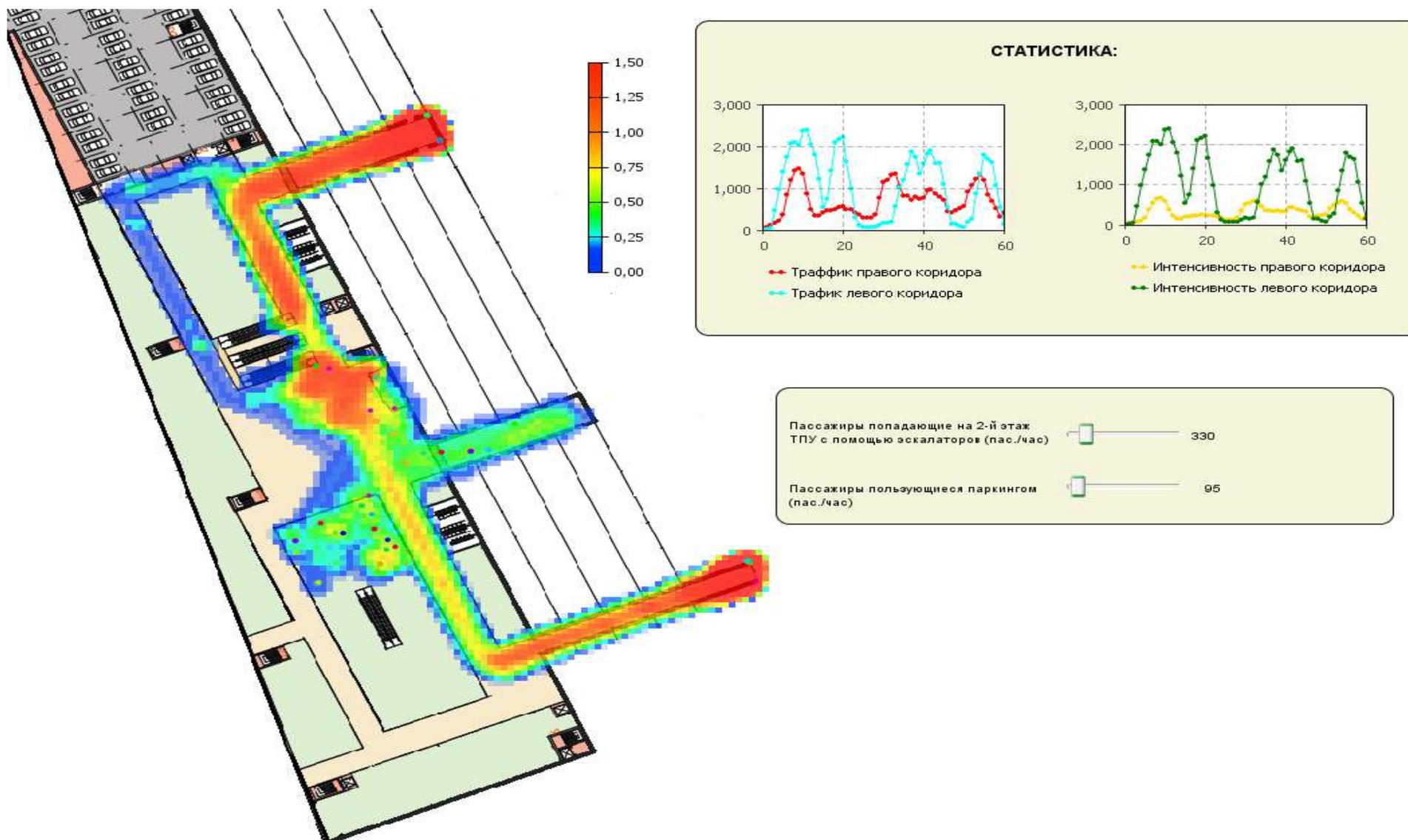
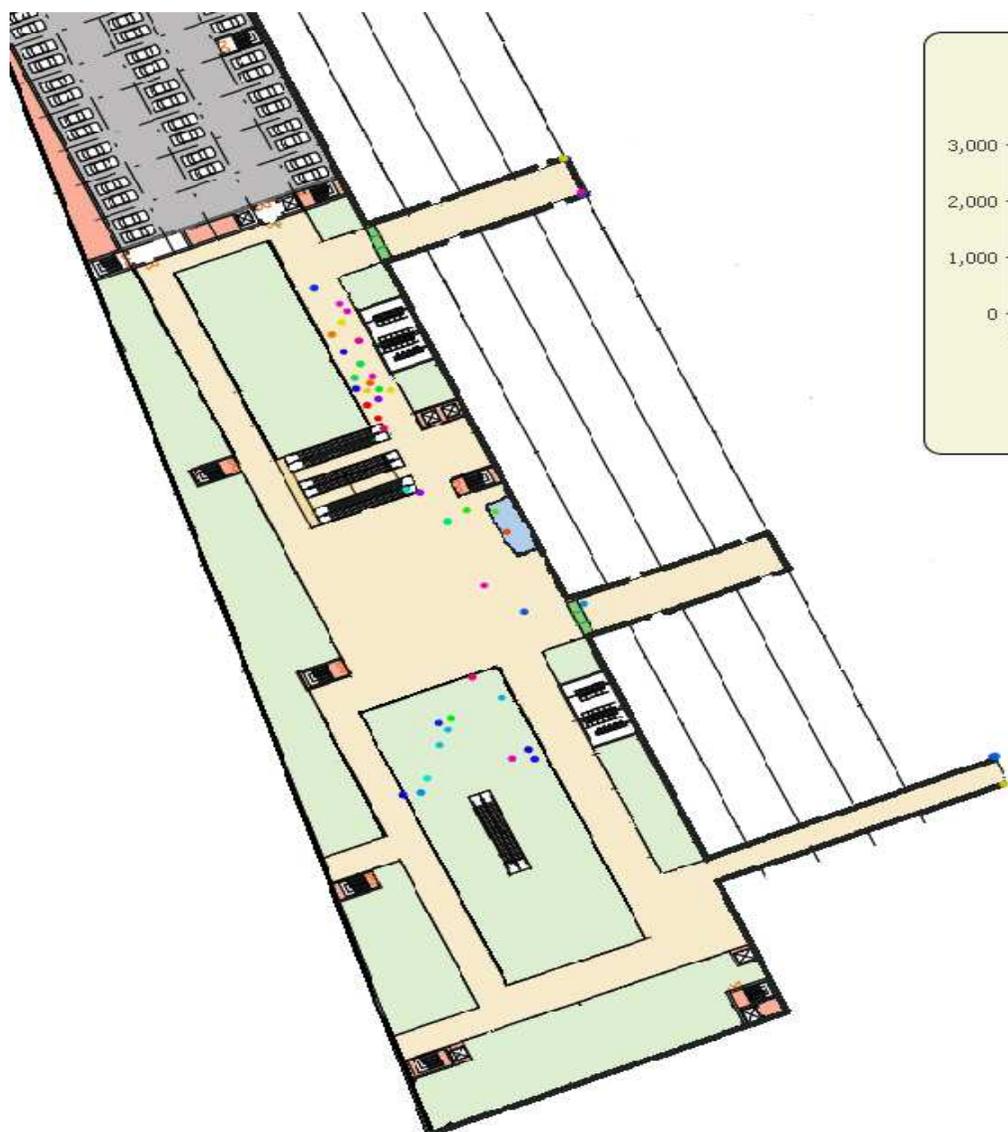


Рисунок 3.9 - Фрагмент анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская»: плотность пассажиропотоков в рационализированном пространстве ТПУ



Пассажиры попадающие на 2-й этаж ТПУ с помощью эскалаторов (пас./час)	330
Пассажиры пользующиеся паркингом (пас./час)	95

Рисунок 3.10 – Фрагмент анимации имитационной модели ТПУ «Тимирязевская»: результаты моделирования рационализированного планировочного решения ТПУ

Проведенное имитационное моделирование на модельном примере позволило оценить особенности предлагаемого предпроектного решения ТПУ «Тимирязевская» и уже на этапе предпроектных проработок сделать вывод о целесообразности, эффективности и объективности эксперимента, проводимого с помощью разработанной модели, увидеть работу ТПУ по реализуемому варианту планировочного решения [92].

В рамках данной работы процесс моделирования пассажиропотоков в ТПУ можно разделить на несколько этапов, наименование которых и последовательность реализации которых представлена на рисунке 3.11.



Рисунок 3.11 – Этапность процесса моделирования пассажиропотоков в ТПУ

Аналогично рассмотренному модельному примеру по ТПУ «Тимирязевская», разработанную методику и методологию можно использовать

при моделировании пассажиропотоков любых других ТПУ. Изложенный методологический подход может быть использован также при моделировании пассажиропотоков внутри ж.-д. вокзалов и остановочных пунктов, на вокзальных комплексах, привокзальных площадях вокзалов, в ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта и метрополитена, в ТПУ со взаимодействием любых других видов транспорта.

### 3.4 Практическое применение моделируемых характеристик пассажиропотока

В системе перемещения пассажиров можно выделить две взаимодействующие подсистемы, одна из которых включает в себя устройства, обеспечивающие перемещение пассажиров, а другая – сам пассажиропоток со своими параметрами, законами перемещения и поведения.

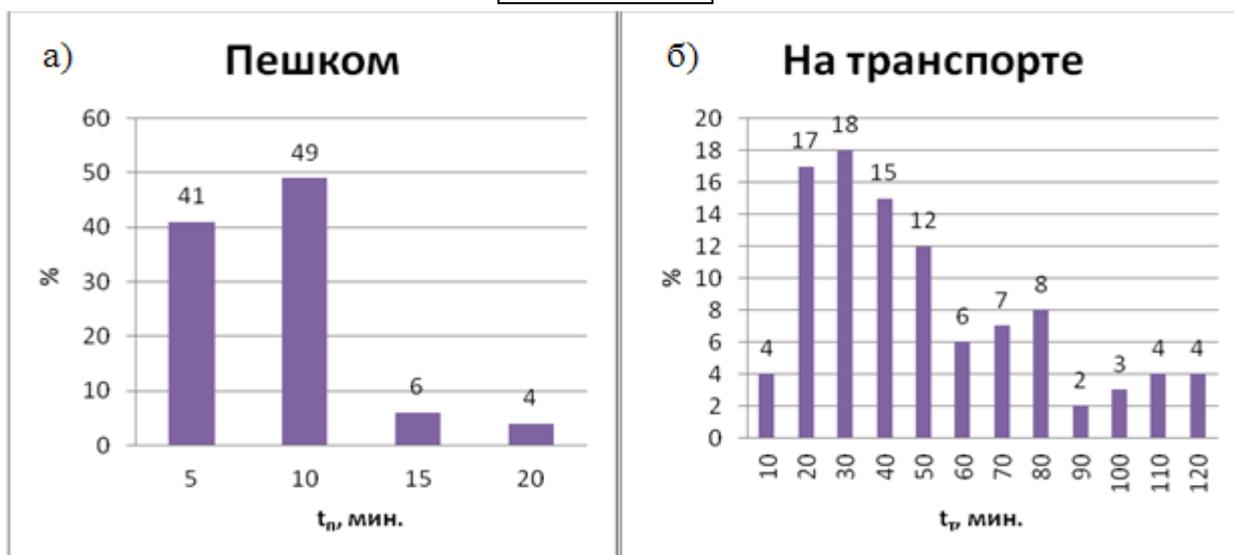
В качестве исходной информации при моделировании выступала величина пересадочного пассажиропотока между отдельными видами транспорта, взаимодействующими в ТПУ «Тимирязевская». Данный параметр оценивается количеством пассажиров, которые пересекаются и распределяются по видам транспорта в единицу времени. Исходная информация для моделирования была взята из базы данных ОАО «РЖД-Развитие вокзалов».

Для определения границ ТПУ и зоны его влияния на прилегающую территорию важно оценить доступность узла, путем определения времени пешего подхода  $t_n$  или подъезда на транспорте  $t_t$  к ТПУ. На рисунке 3.12 приведены гистограммы распределения времени транспортной и пешей доступности ТПУ «Тимирязевская».

Полученная в результате моделирования ТПУ «Тимирязевская» статистическая информация может быть использована для анализа загрузки существующего или формируемого ТПУ. Величина корреспондирующего пассажиропотока и число взаимодействующих в ТПУ видов транспорта позволяют установить категорию ТПУ, а также его тип и группу. Эти показатели

позволяют предварительно оценить необходимые размеры коммуникационных путей с учетом перспектив развития ТПУ.

### Прибытие



### Отправление

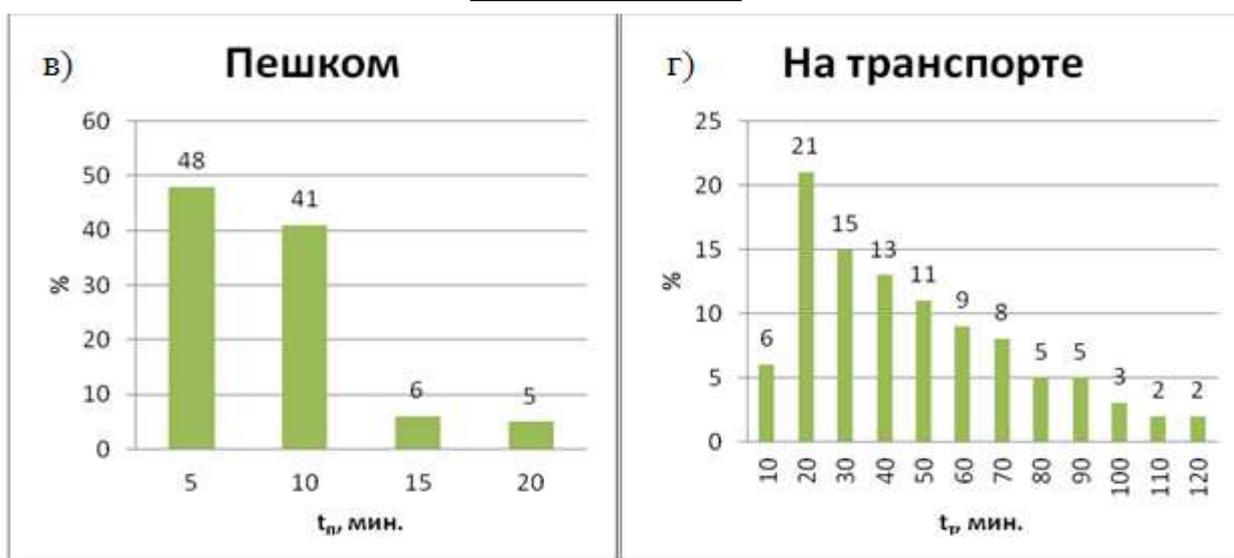


Рисунок 3.12 – Распределение времени транспортной и пешей доступности ТПУ «Тимирязевская»: а) пеший подход по прибытию; б) прибытие на транспорте; в) пеший подход по отправлению; г) отправление на транспорте

Используемые при моделировании данные о распределении пассажиропотока ТПУ необходимы для построения картограмм пассажиропотоков. Картограмма пассажиропотоков ТПУ «Тимирязевская» в утренний «час-пик» представлена на рисунке 3.13.

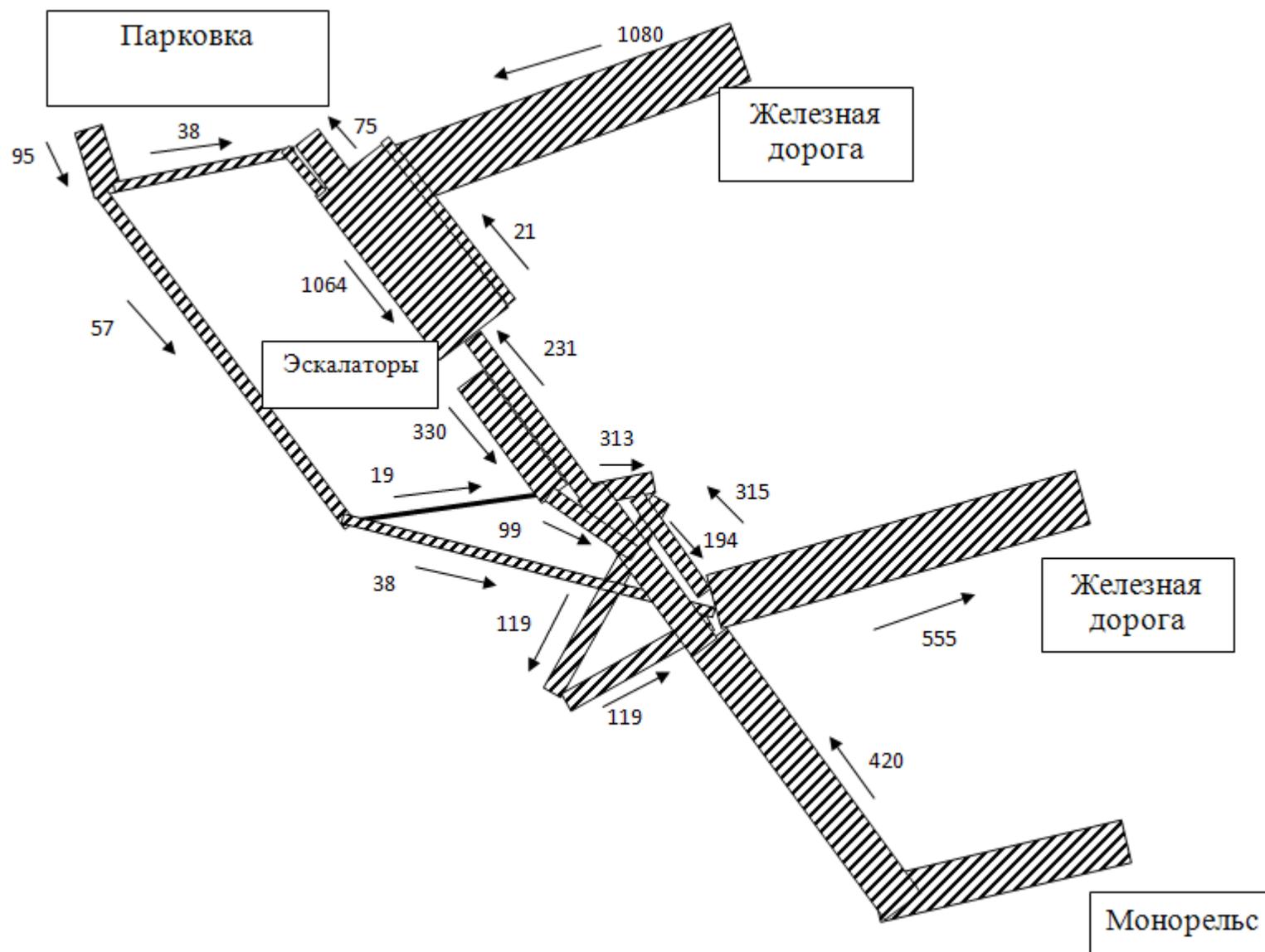


Рисунок 3.13 – Картограмма пассажиропотоков ТПУ «Тимирязевская» в утренний «час-пик»

Картограмма пассажиропотоков при наложении на коммуникационные пути позволяет устанавливать пропускную способность и параметры отдельных элементов ТПУ (эскалаторов, лестниц, траволаторов, турникетных линий, конкорсов и т.д.). Для определения пропускной способности основных элементов ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, важны зависимости между параметрами продвижения пассажиропотока: скорости и плотности  $V = f(D)$ ; интенсивности и плотности  $q = f(D)$ . Графики зависимости  $V = f(D)$  и  $q = f(D)$  представлены на рисунке 3.13.

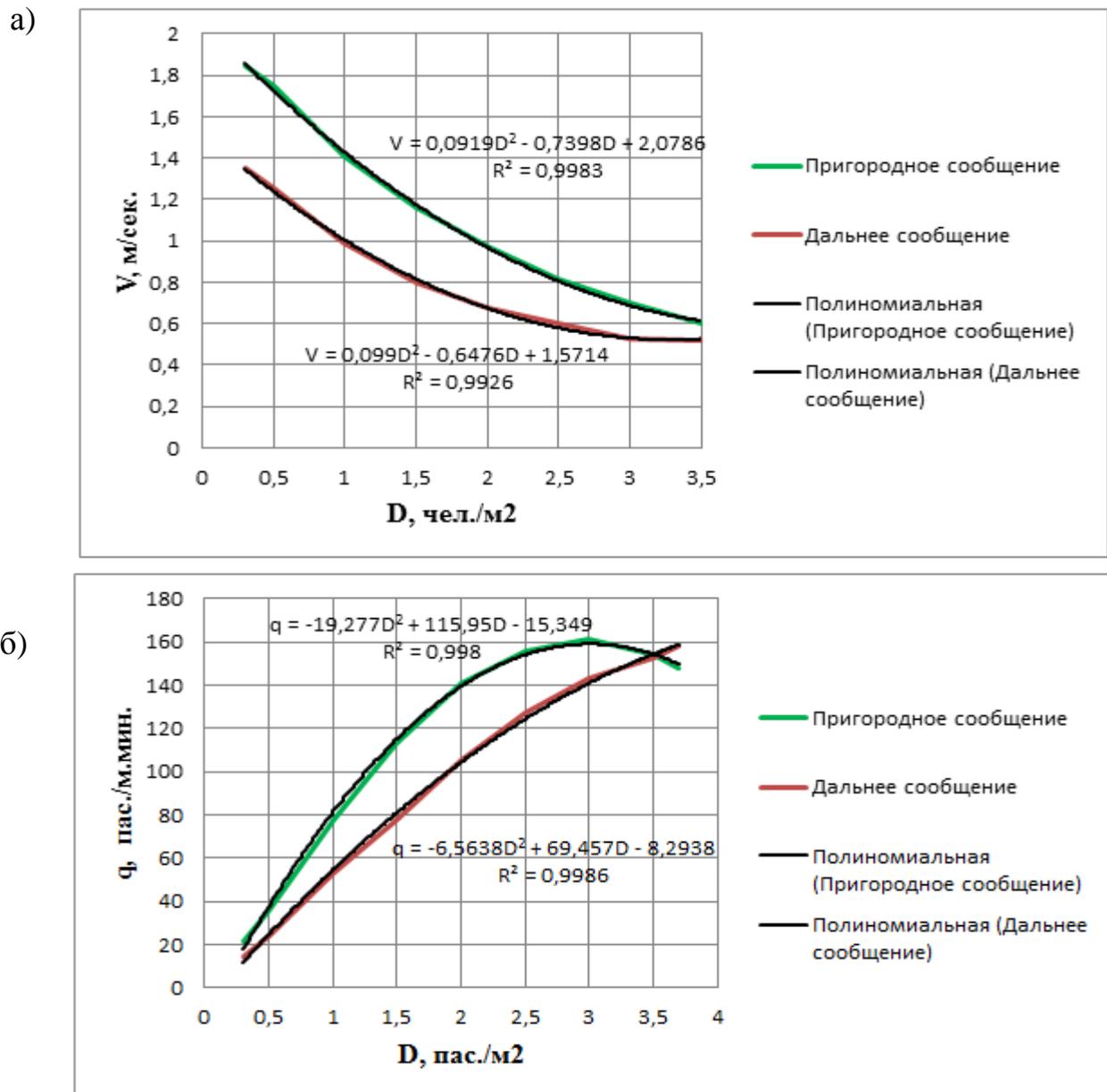


Рисунок 3.14 – Зависимость плотности движения пассажиропотоков:

а) от скорости движения; б) от интенсивности движения

При моделировании ТПУ «Тимирязевская» скорость перемещения пассажира варьировалась в интервале от 0,3 до 1,6 м/сек. Скорость движения конкретного пассажира в каждом пассажиропотоке определяется характеристиками данного пассажиропотока и оценкой интенсивности движения пассажиров на смежных участках. Под плотностью пассажиропотока по его ширине понимается его средняя величина.

При расчете параметров ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, может быть также использован показатель обратный плотности – площадь, приходящаяся на одного пассажира  $p$  ( $\text{м}^2/\text{пас.}$ ) в процессе движения. График зависимости плотности пассажиропотока  $D$  ( $\text{пас./м}^2$ ) и пропускной способности одного метра ширины коммуникационных путей  $Q$  в зависимости от значений  $p$  приведен на рисунке 3.15.

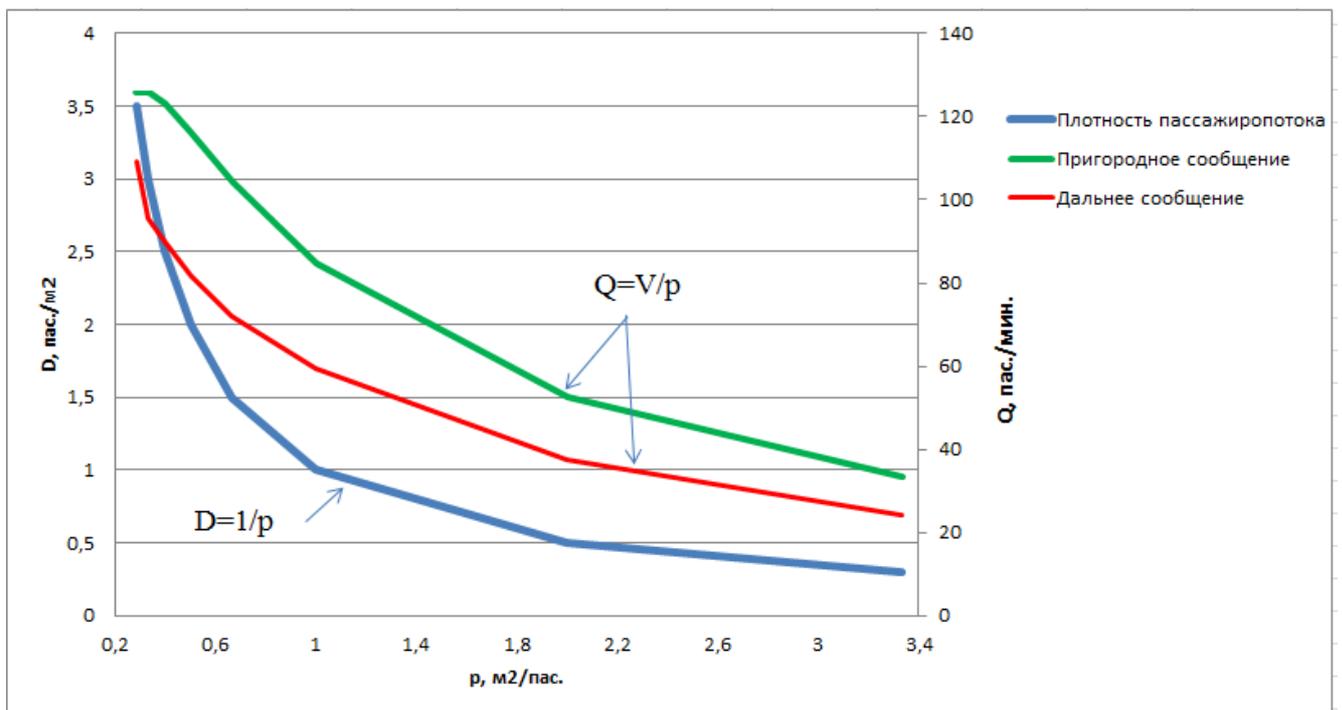


Рисунок 3.15 – Зависимость плотности пассажиропотока и пропускной способности одного метра ширины коммуникационных путей от значений  $p$

Крупные ТПУ характеризуются значительной неравномерностью пассажиропотоков по периодам суток. Наибольший поток наблюдается в утренние и вечерние часы пик, поэтому для анализа ТПУ «Тимирязевская» принимались данные для утреннего час-пик. Объясняется это тем, что объемы

максимальных суточных пассажиропотоков образуются именно в этот период и обычно доля их составляет до 50% суточного потока пассажиров ТПУ.

Одним из основных параметров ТПУ является расстояние, которое необходимо преодолеть пассажиру, чтобы осуществить пересадку с одного вида транспорта на другой. При этом в соответствии с нормативными требованиями [93] максимальная дальность пешего прохода при пересадке не должна превышать 100-150 м, а время на пересадку 3-5 минут.

В основе планировочного решения любого транспортного сооружения лежат нормативы, регламентирующие его вместимость, размеры занимаемых им площадей и его габариты, которые можно получить путем анализа закономерностей процессов, протекающих в нем. Основной процесс, происходящий в ТПУ - это перемещение пассажиров, связанное с пересадкой с одного вида транспорта на другой и посещением объектов различного функционального назначения (торговля, сервис и т.д.) в зоне ТПУ. Поэтому параметры скорости, плотности и времени пешеходных перемещений пассажиров в пределах ТПУ и зависимости этих параметров друг от друга и других факторов могут быть использованы при реконструкции существующих и формировании новых ТПУ.

При проектировании и последующем сооружении ТПУ особое значение приобретает создание условий для беспрепятственного перемещения пассажиров в пересадочной зоне с минимальными затратами времени. Для этого требуется рационализация соотношения протяженности пересадочного пути между взаимодействующими в узле видами транспорта и безопасности, комфортности перемещения.

Небольшие расстояния между системами различных видов транспорта в ТПУ минимизируют время затрачиваемое пассажиром на пересадку между видами транспорта, однако возможны проблемы с безопасностью и удобством пересадки при отсутствии увязки единовременной посадочной вместимости для видов подвижного состава взаимодействующих видов транспорта. В этом случае создание удлиненных коммуникационных путей, служащих своеобразным

гасителем и распределителем в пространстве и времени больших волн пассажиропотоков, является необходимым условием для нормального функционирования ТПУ.

Вид и характер входного потока (потока прибывающих пассажиров) описывается законами распределения интервала прибытия наиболее пассажироемкого вида транспорта, (например, электропоездов пригородного ж.-д. транспорта). Вид и характер выходного потока - убывающих из ТПУ пассажиров - описывается законом распределения интервалов отправления подвижного состава развозящих видов транспорта и вместимостью его транспортных средств (например, городских видов транспорта).

Транспортно-технологические и планировочные решения ТПУ, разработанные с использованием результатов моделирования, позволяют более эффективно использовать городские территории, рационализировать объем капиталовложений, применить социально ориентированные предложения по организации ТПУ с созданием благоприятных условий для его пассажиров и посетителей.

### ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. ТПУ – сложная система, включающая дискретное множество пассажиров, перемещающихся в дискретном пространстве в дискретные моменты времени, где каждый пассажир может автономно, независимо от действий других пассажиров принимать решение о необходимости определенных действий на следующем шаге, исходя из анализа своего собственного поведения или состояния всей системы в целом на данном шаге, для моделирования которой необходимо использовать логические зависимости.

2. Описание поведения всех возможных пассажиропотоков, возникающих в моделируемом пространстве ТПУ «Тимирязевская», учитывающее логические зависимости в организации движения пассажиропотоков и перемещении пассажиров, позволяет оценить существующий

и задать требуемый уровень устойчивости, безопасности, комфорта и эффективности функционирования ТПУ.

3. Разработанная модель функционирования ТПУ и её реализация на модельном примере ТПУ «Тимирязевская», позволяют моделировать и отображать моделируемый процесс с помощью анимации, отслеживать и контролировать плотность пассажиропотоков в различных зонах моделируемого пространства, что позволило сделать вывод о способности системы справиться с колебаниями существующего и объемами перспективного пассажиропотока, выявить возможные недостатки существующего или предлагаемого планировочного решения ТПУ, определить рациональные технико-технологические характеристики основных его устройств и ТПУ в целом.

4. Полученные в результате моделирования данные позволяют окончательно установить внутренние параметры ТПУ и определиться с транспортно-технологическим и планировочным решением ТПУ.

## 4 ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ

### 4.1 Оценка эффективности формирования и функционирования ТПУ

К оценке общей эффективности формирования и функционирования ТПУ следует подходить комплексно. Общую эффективность необходимо оценивать, принимая во внимание сложность и разнообразие возможных технических решений и протекающих процессов взаимодействия в ТПУ различных видов транспорта. Основным эффектом от формирования ТПУ выражается в улучшении условий внутригородского и пригородно-городского перемещения населения города и пригорода и достигается: созданием наилучших условий взаимодействия видов транспорта в ТПУ; разгрузкой УДС города и пригорода за счёт привлечения пассажиров с индивидуальных видов транспорта на общественные виды транспорта (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Эффекты от формирования ТПУ

Эффективность функционирования ТПУ необходимо оценивать группой показателей, которые должны учитывать интересы пассажиров и посетителей;

компаний, осуществляющих их перевозку и обслуживание; и городов (пригородов), на территории которых размещается ТПУ.

Экономические вопросы транспортных систем рассматриваются в работах следующих учёных: А.В. Андреева [94], Р.Л. Бранзия [95], В.Г. Галабурды [96], В.Н. Голоскокова [97], А.В. Гузенко [98], М.Ю. Елизарьева [74], В.Р. Захарова [99], Н.Н. Зюзиной [100], В.В. Кондратенко [45], П.В. Куренкова [101], О.А. Олениной [102], К.А. Сенцовой [103], А.В. Шабанова [104], Е.А. Юрковой [105] и др.

К показателям эффективности, *учитывающим интересы пассажиров*, относят: затраты времени на поездку, которые включают в себя – время на пешеходные подходы, на ожидание транспорта, на поездку в транспорте и на пересадку; а также коэффициент пересадочности, комфортабельность и доступность ТПУ.

Затраты времени пассажира по поездке:

$$T = 2t_n + t_{ож} + t_{тр} + t_{пер} \quad (4.1)$$

где  $t_n$  – затраты времени на пешеходный подход (подъезд) к ТПУ, мин.;

$t_{ож}$  – время на ожидание транспорта, включая время на передвижения внутри ТПУ, мин.;

$t_{тр}$  – время, затрачиваемое на поездку в транспорте, мин.;

$t_{пер}$  – время, затрачиваемое пассажиром на пересадку, мин.

Затраты времени на пешеходные подходы к ТПУ [45]:

$$t_n = \frac{l_n \cdot 60}{V_n} \quad (4.2)$$

где  $l_n$  – средняя дальность пешего подхода или подъезда к ТПУ, км;

$V_n$  – средняя скорость передвижения, км/ч.

Один из вариантов распределения времени пешего подхода к ТПУ «Тимирязевская» приведен в п. 3.4 диссертации.

В качестве времени ожидания транспорта обычно используют половину среднего интервала движения транспорта – при регулярном движении транспорта

и неограниченной вместимости транспортного средства. При нерегулярном движении транспорта для расчета времени ожидания транспорта применяют формулу [106]:

$$t_{ож} = \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta^2}{2\alpha} \quad (4.3)$$

где  $\beta^2$  – дисперсия интервала движения транспорта;  
 $\alpha$  – средний интервал движения.

Ограниченность вместимости транспортного средства учитывается в формуле [45]:

$$t_{ож} = \frac{I}{2} + P_{отк} \cdot I \quad (4.4)$$

где  $I$  – интервал движения транспорта;

$P_{отк}$  – вероятность переполненности транспортного средства и отказа пассажиру в посадке.

Время, затрачиваемое на поездку в транспорте:

$$t_{mp} = \frac{60 \cdot l_{cp}}{V_c} \quad (4.5)$$

где  $l_{cp}$  – средняя дальность поездки на рассматриваемом маршруте, км;

$V_c$  – скорость сообщения, км/ч.

Время, затрачиваемое на пересадку в ТПУ, рассчитывают по формуле [107]:

$$t_{пер} = t_{neu} + t_{ож} \quad (4.6)$$

где  $t_{neu}$  – время на перемещение пассажира между пунктами пересадки взаимодействующих видов транспорта в узле, мин.;

$t_{ож}$  – время ожидания транспортного средства, включая посадку (высадку) в него (из него), мин.

В последние годы широкое применение получил способ оценки сэкономленного времени пассажира через стоимостную оценку 1 пасс.-ч. [79]:

$$\Delta t = \Delta t \cdot Q \cdot e_{пч} \quad (4.7)$$

где  $\Delta t$  – экономия затрат времени пассажиров на поездку, ч;

$Q$  – расчётный объём пассажирских перевозок, пасс./год;

$e_{пч}$  – стоимость одного пассажиро-часа, руб.

Стоимость одного пассажиро-часа может определяться различными способами, например, как частное от деления месячных доходов пассажира на годовой фонд рабочего времени.

Для практического расчета стоимости 1 пассажиро-часа также используют формулу приведенную в [24]:

$$e_{пч} = \frac{2 \sum_{i=1}^n S_i}{n(1+k)} \quad (4.8)$$

где  $2$  – коэффициент, учитывающий потери в прибыли;

$\sum_{i=1}^n S_i$  – общие потери в заработной плате за 1 ч. работы, руб.;

$n$  – число работающих, теряющих в заработной плате;

$k$  – доля в пассажиропотоке лиц, не занятых в производственной сфере (в условиях крупного города  $k$  составляет 0,2-0,5).

Стоимость пассажиро-часа определяют также через годовой валовой внутренний продукт (ВВП), приходящийся на 1 час труда населения, занятого на производстве. В таком случае оценить эффект от сокращения времени пребывания в пути пассажиров за год можно с помощью следующей формулы [108]:

$$\mathcal{E}_{пасс}^{год} = 288 \cdot П_{сут} \cdot ВВП_{1чел} \cdot \frac{\Delta t}{60} \quad (4.9)$$

где  $\mathcal{E}_{пасс}^{год}$  – эффект от сокращения времени пребывания в пути пассажиров за 1 год, руб.;

$П_{сут}$  – суточный пассажирооборот в системе ТПУ, пасс./сут.;

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

$\Delta t$  – экономия времени пребывания пассажиров в пути следования, мин.

Валовой внутренний продукт, приходящийся на одного человека, в свою очередь определяется по формуле [108]:

$$ВВП_{1чел} = \frac{ВВП}{365 \cdot 24 \cdot N_{чел}} \quad (4.10)$$

где ВВП – валовой внутренний продукт, создаваемый экономически активным населением города, руб.;

$N_{чел}$  – численность экономически активного населения города, чел.

Следует отметить, что при определении эффекта от формирования системы ТПУ в отдельном регионе страны необходимо вместо внутреннего валового продукта использовать внутренний региональный продукт, в котором не учитывается добавленная стоимость по нерыночным коллективным услугам (оборона, государственное управление и т.д.).

Однако стоимость одного пассажира-часа достаточно неопределённая величина и использовать её в современных условиях не целесообразно. Необходимо переходить к физическим величинам (например, потеря времени на пересадку), которые можно установить, используя маркетинговые исследования.

Коэффициент пересадочности зависит от размера территории города, конфигурации транспортной сети, размещения мест тяготения пассажиропотоков, построения маршрутной системы города, системы тарификации платы за проезд [45]:

$$K_n = \frac{\sum_{i=0}^n m_i (i+1)}{100} \quad (4.11)$$

где  $m_i$  – доля передвижений с  $i$ -ми пересадками, %;

$i$  – количество пересадок;

$n$  – максимальное число пересадок за одну поездку.

Для определения коэффициента пересадочности составляют матрицы поездок, в которых выделяют поездки без пересадок, с одной, двумя и более пересадками.

Оценить комфортабельность позволяют опросные обследования пассажиропотока с помощью анкет, в которых отражаются следующие данные: удаленность ТПУ от дома и места работы; число пересадок при поездке;

суммарное время поездки; время, затрачиваемое на пересадку; удовлетворенность попутным обслуживанием в ТПУ и т.д.

Доступность ТПУ оценивается следующими параметрами: длина пешеходного подхода (подъезда) к ТПУ; доступность инфраструктуры ТПУ для МГН, велосипедистов и т.д. Система ТПУ обладает удовлетворительной доступностью, если 75 % мест приложения труда можно достичь за 45 минут из любой точки города.

К показателям, учитывающим интересы компаний, осуществляющих перевозку, относят, прежде всего, капитальные вложения и эксплуатационные расходы, связанные с функционированием ТПУ, тогда эффект будет включать в себя две составляющие: разницу между капитальными затратами на формирование ТПУ и капитальными затратами на реконструкцию каждого элемента ТПУ в отдельности ( $\Delta K$ ); уменьшение эксплуатационных затрат на содержание ТПУ ( $\Delta Z$ ). Эффект от создания ТПУ:

$$\mathcal{E}^{\text{созд. ТПУ}} = \Delta K + \Delta Z, \text{ руб.} \quad (4.12)$$

Разница между капитальными затратами определяется по формуле [99]:

$$\Delta K = \sum_{t=0}^T \frac{\left( \sum_{l=1}^L K_{t_l}^{\text{рек}} + \sum_{m=1}^M K_{t_m}^{\text{смп}} - r_t \cdot d_t^{\text{ТПУ}} \cdot S_{\text{общ}} \right)}{(1 + E)^t} \quad (4.13)$$

где  $T$  – продолжительность эксплуатации объектов, входящих в состав ТПУ;

$L$  – количество объектов, планируемых к объединению в ТПУ, которые намечено реконструировать или отремонтировать в течение срока  $T$ ;

$M$  – количество объектов, планируемых к объединению в ТПУ, которые намечено построить в течение срока  $T$ ;

$K_{t_l}^{\text{рек}}$ ,  $K_{t_m}^{\text{смп}}$  – соответственно капиталовложения в реконструкцию 1-ого объекта или строительство  $m$ -ого объекта, намеченного к объединению в ТПУ в  $t$ -й год, рублей;

$d_t^{\text{ТПУ}}$  – доля освоенных капиталовложений в ТПУ в  $t$ -й год строительства;

$S_{\text{общ}}$  – общая площадь ТПУ,  $\text{м}^2$ ;

$E$  – коэффициент дисконтирования;

$r_t$  – удельные затраты на строительство ТПУ в  $t$ -ом году, руб./м<sup>2</sup>.

Уменьшение эксплуатационных затрат составит [99]:

$$\Delta Z = \sum_{t=0}^T \frac{\left( \sum_{n=1}^N Z_n^{\text{экспл}} - q_t \cdot S_{\text{общ}} \right)}{(1+E)^t}, \quad (4.14)$$

где  $N$  – количество объектов, планируемых к объединению;

$Z_{t_n}^{\text{экспл}}$  – затраты  $t$ -го года на содержание  $n$ -го объекта, планируемого к объединению, рублей;

$q_t$  – удельные затраты на эксплуатацию ТПУ в  $t$ -ом году, руб./м<sup>2</sup>.

Одной из целей формирования системы ТПУ является переориентация пассажиропотока с индивидуального транспорта на общественный. Это должно привести к разгрузке улично-дорожной сети городов, сокращению пробок и, соответственно, снижению себестоимости перевозок пассажиров. Эффект от снижения себестоимости перевозок пассажиров составит [108]:

$$\mathcal{E}_{\text{пер}}^{\text{год}} = 365 \cdot \Delta N_{\text{сут}}^{\text{легк}} \cdot S_{\text{легк}} \cdot l_{\text{ср}}^{\text{марш}} \quad (4.15)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{пер}}^{\text{год}}$  – эффект от снижения себестоимости перевозок пассажиров, млн. руб.;

$\Delta N_{\text{сут}}^{\text{легк}}$  – сокращение суточной интенсивности движения соответственно на въезде в город и на въезде в центр города, авт./сут.;

$S_{\text{легк}}$  – средняя себестоимость 1 авт.-км пробега легковых автомобилей, руб./км;

$l_{\text{ср}}^{\text{марш}}$  – средняя длина 1 маршрута, км.

К показателям, *отражающим интересы города (пригорода)*, на территории которого размещается ТПУ, относят показатели влияния процессов функционирования ТПУ на окружающую среду и стоимость отчужденных земель под транспортные устройства и сооружения.

Основными видами вредного воздействия транспорта, взаимодействующего в ТПУ, являются загрязнение воздуха газами и пылью, а также высокий уровень шума. Одним из показателей загрязненности воздуха является произведение средней плотности токсичных выделений на число жителей города, находящихся под их воздействием. В качестве показателя, оценивающего величину

транспортного шума, применяют уровень шума (дБ), измеряемый в «час-пик» на стандартизированном расстоянии от ТПУ.

Оценить стоимость отчужденных земель позволяют модели Уинго, в которых цена на землю связывается с обобщенным уровнем транспортных издержек на достижение центра города [45].

Для оценки стоимости земельных участков применяются также модель Алонсо [109] и эмпирические модели оценки стоимости земли, которые, однако, обладают меньшей точностью.

Для оценки проектных решений в области создания ТПУ целесообразно использовать комплексную градостроительную методику оценки территории, учитывающую инженерно-экономические и социально-экономические показатели, а именно: затраты на благоустройство территории ТПУ; затраты на снос или перенос существующих зданий, сооружений, коммуникаций, объектов транспортной инфраструктуры с целью создания ТПУ и т.д. Сокращение продолжительности поездки снижает транспортную усталость пассажира (населения), что способствует повышению производительности труда.

Коммерческий эффект от оказания на территории ТПУ дополнительных услуг пассажирам и посетителям на предпроектной стадии можно оценить через ставку доходности на 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ. Как правило, в качестве доходной применяется арендная ставка, отражающая минимальный уровень прибыли, получаемой арендатором, и привлекательность объекта.

Для определения коммерческого эффекта используется показатель чистого дисконтированного дохода и доходная часть проекта инвестирования [99]:

$$\mathcal{E}_{ком} = \sum_{t=0}^T \frac{S_{общ} \cdot (C \cdot d_{t_{комм}} - Q - R \cdot d_{t_{кан}})}{(1 + E)^t}, \quad (4.16)$$

где  $\mathcal{E}_{инт}^{девел}$  – эффект от сдачи в аренду помещений коммерческих помещений ТПУ, руб.;

$S_{общ}$  – общая площадь ТПУ, м<sup>2</sup>;

$C$  – ставка арендной платы за 1 м<sup>2</sup> коммерческой площади, руб./м<sup>2</sup>;

$d_{t_{\text{комм}}}$  – доля площадей, сдаваемых в аренду в t-ый год, %;

$Q$  – удельные затраты на эксплуатацию объекта, руб./м<sup>2</sup>;

$d_{t_{\text{кан}}}$  – доля освоенных капиталовложений в t-ый год строительства;

$R$  – удельные капиталовложения на строительство объекта, руб./м<sup>2</sup>.

Для расчета срока окупаемости капиталовложений используем равенство [110]:

$$\sum_{t=0}^T \frac{S_{\text{общ}} \cdot (C \cdot d_{t_{\text{комм}}} - Q - R \cdot d_{t_{\text{кан}}})}{(1 + E)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1 + E)^t} \quad (4.17)$$

где  $K_t$  – капиталовложения на t-ом шаге, руб.

Чистый дисконтированный доход на 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ и срок окупаемости капиталовложений для ТПУ «Тимирязевская» можно рассчитать имея следующие характеристики объекта: площадь ТПУ - 2500 м<sup>2</sup>; удельные капиталовложения ( $R$ ) – 90 000 рублей за 1 м<sup>2</sup>, капитальные затраты осваиваются в течение двух лет в следующем соотношении: в первый год – 50%; во второй год – 50%. Удельные затраты на эксплуатацию ТПУ ( $Q$ ) примем равными 10% от стоимости строительства, а ставка арендной платы ( $C$ ) будет изменяться в зависимости от удельной стоимости строительства 1 м<sup>2</sup> ТПУ в интервале от 30 до 60% с шагом 5%. Доля коммерческих площадей ( $d_{\text{комм}}$ ) изменяется в интервале от 45 до 70% с шагом в 5%. Горизонт планирования ( $T$ ) – 24 года; коэффициент дисконтирования ( $E$ ) – 0,12. Результаты расчетов представлены в таблицах 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1 – Дисконтированный доход на 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ, тыс. руб./м<sup>2</sup>

$d_{\text{комм}}$	Ставка арендной платы ( $C$ ) в % от $R$						
	30	35	40	45	50	55	60
45 %	-63,3	-49,2	-35,1	-21,1	-7	<b>7,1</b>	<b>21,2</b>
50 %	-53,9	-38,3	-22,6	-7	<b>8,7</b>	<b>24,3</b>	<b>39,9</b>
55 %	-44,5	-27,3	-10,1	<b>7,1</b>	<b>24,3</b>	<b>41,5</b>	<b>58,7</b>
60 %	-35,1	-16,4	<b>2,4</b>	<b>21,2</b>	<b>39,9</b>	<b>58,7</b>	<b>77,5</b>
65 %	-25,8	-5,4	<b>14,9</b>	<b>35,2</b>	<b>55,6</b>	<b>75,9</b>	<b>96,2</b>
70 %	-16,4	<b>5,5</b>	<b>27,4</b>	<b>49,3</b>	<b>71,2</b>	<b>93,1</b>	<b>115</b>

Таблица 4.2 – Срок окупаемости капиталовложений, лет

d <sub>комм</sub>	Ставка арендной платы (C), в % от R						
	30	35	40	45	50	55	60
45 %	-*	-	-	-	-	<b>17,5</b>	<b>12,2</b>
50 %	-	-	-	-	<b>16,7</b>	<b>11,5</b>	<b>8,9</b>
55 %	-	-	-	<b>17,5</b>	<b>11,5</b>	<b>8,8</b>	<b>7,1</b>
60 %	-	-	<b>21,1</b>	<b>12,2</b>	<b>9,0</b>	<b>7,2</b>	<b>6,0</b>
65 %	-	-	<b>14,0</b>	<b>9,6</b>	<b>7,4</b>	<b>6,1</b>	<b>5,1</b>
70 %	-	<b>18,5</b>	<b>10,9</b>	<b>8,0</b>	<b>6,3</b>	<b>5,3</b>	<b>4,6</b>

\* - капитальные вложения не окупаются

Предельное значение доли коммерческих площадей (70 %) в общей площади ТПУ обусловлено необходимостью технологических помещений для выполнения основных функций ТПУ. Годовая ставка арендной платы определяется для каждого региона, на неё влияют такие показатели, как транспортная доступность ТПУ, его расположение и т.д.

По результатам расчетов был построен график изменения чистого дисконтированного дохода на 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ от годовой ставки арендной платы, представленный на рисунке 4.2.

Приведенные выше результаты расчетов позволяют выявить зависимость: с увеличением доли коммерческих площадей в общей площади ТПУ при более низкой арендной плате быстрее достигается положительный эффект, и наоборот, чем меньше доля коммерческих площадей, тем вероятность достижения положительного эффекта даже при высоких арендных ставках ниже. Проведенные расчеты не учитывают возможные изменения условий во времени, но позволяют определиться с основными параметрами ТПУ и экономическими показателями. Выбрав ставку арендной платы для конкретного ТПУ можно найти экономически обоснованную величину коммерческих площадей.

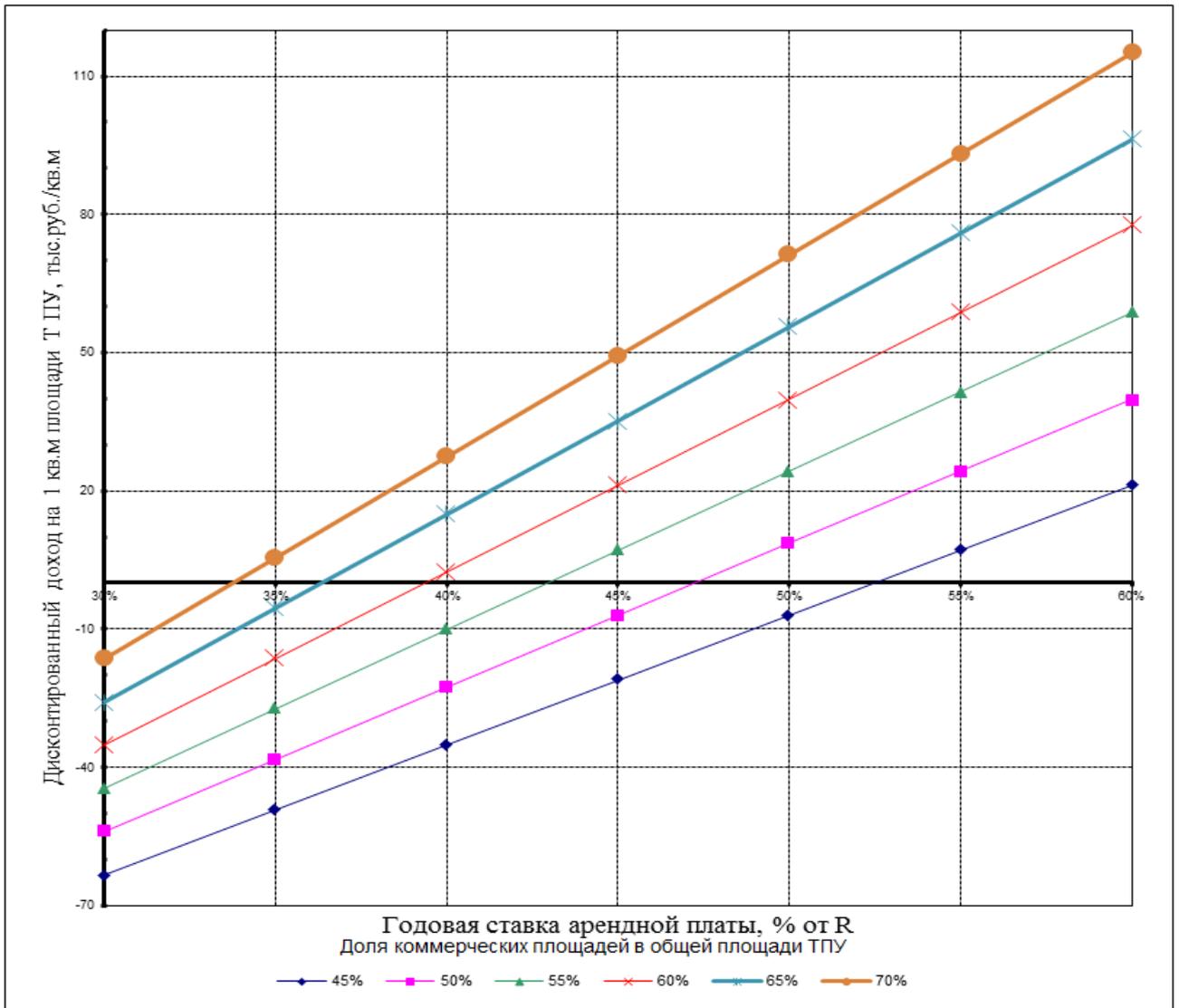
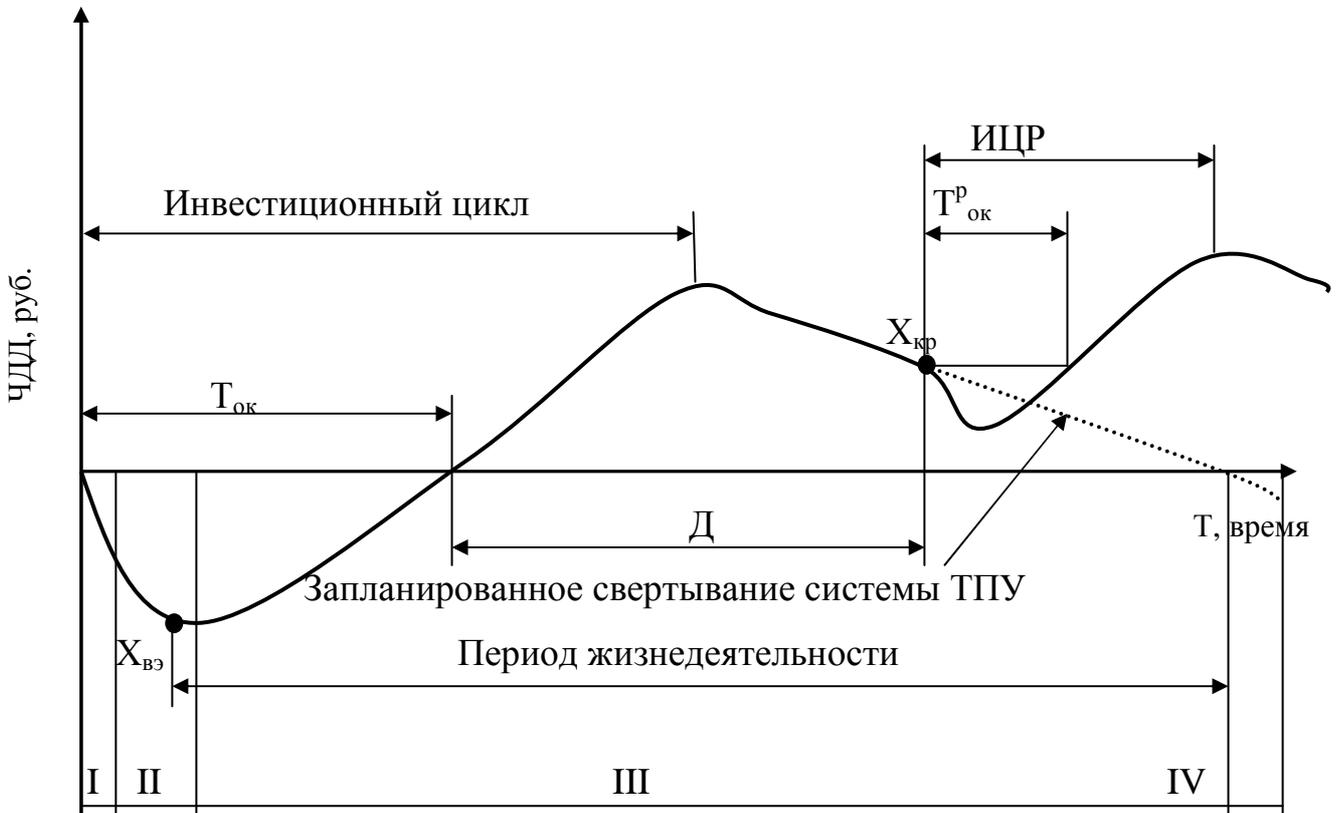


Рисунок 4.2 – Изменение чистого дисконтированного дохода на 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ от годовой ставки арендной платы

При выполнении расчета учитывался жизненный цикл системы «Транспортно-пересадочный узел» (рисунок 4.3).

При определении общей эффективности функционирования ТПУ необходимо учитывать не только так называемые прямые эффекты, но и косвенные. К косвенным эффектам относят: эффект от повышения качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ в связи с оказанием дополнительных услуг, что в конечном счете влияет на работоспособность и эмоциональный фон населения; эффект от увеличения свободного времени населения за счет сокращения общей продолжительности поездок; эффект от снижения нагрузки на пассажирский транспорт за счет сокращения поездок с

целью совершения покупок, которые теперь можно осуществить в ТПУ; эффект от создания новых рабочих мест (коммерческие площади) и т.д. Стоит отметить, что в большинстве случаев косвенные эффекты не поддаются количественной оценке.



Условные обозначения:

I – период разработки и реализации проекта по строительству ТПУ (ТЭО, конструирование, проектирование и т.д.);

II – строительство ТПУ;

III – период эксплуатации ТПУ;

IV – утилизация ТПУ;

$X_{кр}$  – критическая точка начала реконструкции ТПУ;

$X_{вз}$  – точка ввода ТПУ в эксплуатацию или «пилотного» запуска;

ИЦР – инвестиционный цикл реконструкции;

$T_{ок}$  – срок окупаемости;

$T_{ок}^p$  – срок окупаемости реконструкции;

Д – период получения стабильного дохода.

Рисунок 4.3 – Жизненный цикл системы «Транспортно-пересадочный узел»

Формирование системы ТПУ в России (с участием ж.-д. транспорта) имеет важное социально-экономическое значение. Проведенные ГУП «НИиПИ Генплана Москвы» исследования показали, что экономия времени 2 млн. пассажиров, затрачиваемого на пересадки всего на 4 минуты, в связи с развитием

системы ТПУ в Московской агломерации, привело бы к появлению экономического эффекта в 58 млрд. рублей (расчет произведен по формуле 4.9). Значение максимально возможного эффекта достигает отметки в 147,7 млрд. рублей. Результаты расчетов приведены в таблице 4.3<sup>1</sup>.

Важно отметить, что сформированные выше показатели оценивают различные не взаимосвязанные стороны функционирования ТПУ, а для оценки значимости каждого отдельного показателя необходим комплексный показатель. Однако его использование затруднено, так как невозможно выразить значение всех показателей в одних единицах измерения.

Указанные выше недостатки также могут быть устранены при использовании теории подобия для оценки эффективности функционирования ТПУ. В соответствии с этой теорией вначале выбирают параметры, определяющие эффективность системы ТПУ. Они должны выбираться с учетом имеющихся ограничений и отражать современное состояние системы и тенденции её развития.

Таблица 4.3 – Социально-экономический эффект реализации программы развития ТПУ в Московской агломерации

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	
		Минимальный эффект	Максимальный эффект
Общий пассажиропоток	Тыс.чел.	1697,68	1697,68
Экономия времени пассажиров, затрачиваемого на пересадку	Мин.	4	9
Сокращение интенсивности движения на въезде в Москву	Тыс.авт.	17	24
Сокращение интенсивности движения на въезде в центр Москвы	Тыс.авт.	13,2	20
Эффект от сокращения времени пребывания в пути пассажиров	Млн. руб.	57 922,13	130 324,78
Эффект от снижения себестоимости перевозок на въезде в Москву	Млн. руб.	6 716,29	9 481,82
Эффект от снижения себестоимости перевозок на въезде в центр Москвы	Млн. руб.	5 215,00	7 901,52
<b>Суммарный социально-экономический эффект</b>	<b>Млн. руб.</b>	<b>69 853,42</b>	<b>147 708,13</b>

<sup>1</sup> Информация получена с сайта Комитета по архитектуре и градостроительству города Москвы

Все факторы и параметры, определяющие эффективность функционирования ТПУ, делят на две группы: 1) факторы и параметры, повышающие общую эффективность ТПУ (производительность, надежность и др.); 2) факторы и параметры, снижающие ее (несовершенство технологии, отсутствие резервов развития и др.). Отсюда параметры и факторы, повышающие эффективность, включаются в интегральную функцию эффективности со знаком плюс, а понижающие ее, - со знаком минус.

Интегральную функцию эффективности  $j$ -го варианта развития и реконструкции ТПУ можно выразить равенством [79]:

$$E_j^* = \alpha_1 X_{1j}^* \pm \alpha_2 X_{2j}^* \pm \dots \pm \alpha_s X_{sj}^* \rightarrow \max \quad (4.18)$$

где  $j$  – номер рассматриваемого варианта.

При этом необходимо выполнение условий [79]:

$$\sum_{i=1}^s \alpha_i = 1, \quad X^* = \frac{X_i^{np}}{X_i^{\delta}} \quad (4.19)$$

где  $\alpha_i$  - коэффициент, определяющий относительную важность  $i$ -го параметра по отношению к остальным;

$X_i^{np}$ ,  $X_i^{\delta}$  - значения  $i$ -го параметра соответственно для предлагаемого и базисного вариантов. В качестве базисного варианта обычно используется существующий ТПУ, параметры которого известны и могут проверяться экспериментально (знак \* - признак безразмерности параметра) [79].

Коэффициенты, определяющие относительную важность  $i$ -го параметра, могут определяться методом экспертных оценок, основу которого составляет система индивидуальных опросов квалифицированных специалистов, методика проведения которых в настоящее время достаточно хорошо отработана [111].

#### 4.2 Управление качеством обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ

Эффективность функционирования ТПУ определяется качеством обслуживания его пассажиров и посетителей. Дополнительные услуги, оказываемые пассажирам и посетителям ТПУ, как важнейший инструмент

маркетинга, формируют образ видов транспорта, взаимодействующих в узле, их имидж на рынке транспортных услуг.

Как и всякая продукция, услуги (транспортные, сервисные и т.д.), предоставляемые пассажирам и посетителям, имеют качественную составляющую [112]. Запросы пассажиров удовлетворяются не только перевозкой, но и предоставлением дополнительных услуг в ТПУ, повышающих качество всей поездки, делающих её менее обременительной и более привлекательной.

Отличительная особенность качества любой продукции или услуги – способность удовлетворять определенным потребностям и видоизменяться в зависимости от изменения интересов потребителей (пользователей).

Качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ – это совокупность технологических, технических, экономических, эстетических, экологических показателей, обеспечивающих удовлетворение их потребностей в транспортном (перемещении) и сервисном (дополнительные услуги) обслуживании. Вопросы управления качеством рассматривал в своих трудах [113-114] Б.М. Лapidус.

К показателям качества относится набор и качество предоставленных услуг, оказываемых подразделениями ТПУ, по которым пассажиры и посетители оценивают преимущество тех или иных услуг. Наряду с ценой и надежностью перевозки в условиях рынка качество услуг станет определяющим фактором в борьбе за пассажира, а, следовательно, и за доходы.

Систему показателей оценки качества делят на 3 группы [115]:

- простые – характеризующиеся каким-то одним существенным натуральным свойством (скорость перемещения пассажиров в ТПУ; время на пересадку в ТПУ и т.д.);
- сложные (комплексные) – характеризующиеся несколькими простыми и обобщающими показателями (система показателей, включающих уровень освещения в залах ТПУ, температура, влажность воздуха);
- интегральные – включающие в себя и показатели затрат на производство услуги соответствующего качества и их использование, а также

совокупность эксплуатационно-технических, натуральных и стоимостных показателей.

В связи с ростом конкуренции на рынке транспортных услуг и повышением требований пассажиров, качество услуг, как основная группа показателей, способствующих их сбыту, займут особое место. В процессе оценки качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ выделяют следующие этапы:

- отбор критериев и формирование показателей, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ;
- определение значимости сформированных показателей качества;
- определение значения сформированных показателей качества;
- вычисление комплексного показателя качества.

При отборе критериев и формировании показателей, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ необходимо учитывать:

1. Технические показатели качества, т.е. то, что пассажиру предоставляется (прием заказов по телефону с доставкой билетов по адресу или последующим оформлением самим пассажиром в кассе, отдых в зале ожидания повышенной комфортности, наличие удобных и безопасных маршрутов следования в пределах ТПУ, услуги такси, паркинга и т.п.).

2. Функциональные показатели качества - каким образом предоставляется услуга (индивидуальный подход к пассажиру, внимание, вежливость, минимальное время оформление заказа, исчерпывающие ответы на вопросы пассажиров и посетителей ТПУ и т.п.).

При изучении потребностей пассажиров и посетителей ТПУ могут применяться: анкетирование, интервьюирование, наблюдение, анализ, но во всех случаях качественная оценка осуществляется путем сопоставления фактических и нормативных показателей качества, в связи с относительностью понятия качества.

В таблице 4.4 приведены отобранные критерии и сформированные показатели оценки качества обслуживания и предоставления сервиса пассажирам и посетителям ТПУ.

Таблица 4.4 – Критерии и показатели оценки качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ

№	Критерии качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ	Показатели	Рекомендуемые параметры оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса
1	ПАРКОВКА	Наличие бесплатной парковки для посадки/высадки пассажиров и посетителей ТПУ Время попадания пассажира, посетителя в ТПУ с зон парковки Наличие достаточного количества мест парковок в ТПУ	Норма времени для посадки/высадки пассажиров и посетителей ТПУ достаточна для бесплатного посещения. Доступ в ТПУ с места парковки автотранспорта не превышает 5 минут. Для предприятий торговли и общественного питания, торговых центров, универмагов, магазинов с площадью торговых залов более 1000 м <sup>2</sup> 1 м/м на 15-25 м <sup>2</sup> торговой площади; для ж.д. вокзалов – 1 м/м на 8-10 пассажиров.
2.	ОРИЕНТАЦИЯ ПАССАЖИРОВ И ПОСЕТИТЕЛЕЙ В ТПУ	Простота ориентации пассажиров и посетителей в ТПУ	Наличие требований к справочно-информационному обслуживанию в ТПУ и контроля за их выполнением.
3.	ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТАБЛО С РАСПИСАНИЕМ ДВИЖЕНИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА, ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ В ТПУ	Оперативность и полнота обновления расписаний движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ	Наличие требований к информационному табло с информацией о расписании движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ и контроля их выполнения.
4	ПЕШЕХОДНЫЕ КОММУНИКАЦИИ, БЫСТРОТА И УДОБСТВО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	Планировка всех помещений ТПУ, связанных с перемещением посетителей и пассажиров.	Пассажиры и посетители ТПУ имеют возможность добраться до любой точки за время не более 5 минут. Пешеходные расстояния не должны превышать 150 м. Наличие требований к организации движения пассажиров и посетителей ТПУ и контроль их выполнения.

5.	ПОМОЩЬ ПАССАЖИРАМ И ПОСЕТИТЕЛЯМ ТПУ, БЛАГОЖЕЛАТЕЛЬНОСТЬ ПЕРСОНАЛА	Внешний вид персонала и культура общения	Наличие требований к внешнему виду персонала и контроля их выполнения. Наличие требований к культуре общения и поведению персонала, программ подготовки персонала, контроля их выполнения.
6.	ПРЕДПРИЯТИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ И РОЗНИЧНАЯ ТОРГОВЛЯ	Наличие достаточного количества предприятий общественного питания и розничной торговли и их доступность для пассажиров и посетителей ТПУ	Наличие требований к поставщикам услуг общественного питания и розничной торговли, безопасности и качеству услуг, минимальному ассортименту и ценовому сегменту (доступности для пассажиров и посетителей ТПУ). Предприятия общественного питания и розничной торговли расположены во всех зонах ТПУ, при условии отсутствия помех движению пассажиров следующих на пересадку.
7.	БЕСПРОВОДНАЯ СВЯЗЬ И ПОДКЛЮЧЕНИЕ К ИНТЕРНЕТУ	Доступ пассажиров и посетителей ТПУ к беспроводной связи и сети Интернет во всех зонах ТПУ	Пассажиры и посетители имеют доступ к каналам беспроводной связи и Интернету во всех зонах ТПУ. Наличие требований по данному вопросу и контроля.
8.	ЗОНЫ ОЖИДАНИЯ	Наличие достаточного числа сидячих мест в зонах ожидания	Наличие требований к обеспечению сидячими местами в зонах ожидания в соответствии с максимальной пропускной способностью ТПУ и зоны. Не менее 20% сидячих мест для пиковой нагрузки.
9.	БЕЗОПАСНОСТЬ ТПУ	Обеспечение безопасности пассажиров и посетителей ТПУ	Наличие требований к безопасности пассажиров, посетителей ТПУ и обслуживающего персонала
10.	КОМФОРТНЫЕ УСЛОВИЯ ПРЕБЫВАНИЯ В ТПУ	Удовлетворенность пассажиров и посетителей комфортными условиями пребывания в ТПУ; среднее время нахождения пассажира в очереди в ТПУ	Наличие требований к освещенности помещений и температуре воздуха в ТПУ, контроль за показателями температуры воздуха и освещенности помещений в ТПУ. Наличие требований к чистоте содержания ТПУ, системы аудита и аккредитации поставщиков услуг уборки и их контроля. Наличие достаточного числа бесплатных туалетов во всех зонах ТПУ. Наличие требований к содержанию туалетов и контроля их выполнения. Наличие графика уборки туалетов

Продолжение таблицы 4.4

11.	ЗАЛЫ ПОВЫШЕННОЙ КОМФОРТНОСТИ	Предоставление пассажиру возможности доступа в залы повышенной комфортности	Наличие залов повышенной комфортности и требований, определяющих услуги и порядок обслуживания пассажиров в залах повышенной комфортности. Наличие требований к мониторингу и контроль за качеством обслуживания пассажиров в залах повышенной комфортности.
12.	СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ	Наличие условий для организации доступа к объектам ТПУ маломобильных групп населения	Наличие требований по организации обслуживания маломобильных групп населения и контроль за их исполнением. Наличие доступной для пассажиров и посетителей ТПУ информации по организации обслуживания маломобильных групп населения. Наличие в ТПУ необходимых условий для обслуживания, сервиса и передвижения маломобильных групп населения.

Коэффициент значимости ( $\alpha_i$ ), учитывающий вес (степень важности) в системе сформированных показателей качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ, можно определить путем опроса, методом экспертных оценок или статистическими методами. Для различных сегментов рынка транспортных услуг, разных категорий пассажиров и посетителей ТПУ значение  $\alpha_i$  неодинаково.

С целью разработки наиболее эффективных мероприятий направленных на повышение качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ требуется установить значение отдельных факторов, влияющих на качество. Для этого важно опираться на опыт и знания специалистов, которые учитываются в методе экспертных оценок.

Для опроса специалистов, используя сформированные в таблице 4.4 показатели и параметры оценки качества, была составлена анкета, в которой выделено 11 факторов. Бланк анкеты приведен в приложении 1. Для решения поставленной задачи были опрошены 30 специалистов по транспорту. В приложении 2 приведены расчетные таблицы, построенные на основании анализа полученных данных. По результатам экспертных оценок были выявлены коэффициенты относительной важности для двух групп факторов: первая группа – трудовые поездки; вторая группа – культурно-бытовые поездки. Распределение факторов по степени влияния на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ для двух групп факторов представлено на рисунках 4.4 и 4.5.

По результатам экспертных оценок наиболее важным фактором, влияющим на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ, для рабочих поездок является «Общее время пересадки в пределах ТПУ», а для культурно-развлекательных поездок – «Простота ориентации в ТПУ».

Зависимости времени пересадки в ТПУ от протяженности коммуникационных путей и вида пересадки, а также решения по организации перемещения пассажиропотоков с целью минимизации общего времени пересадки рассмотрены в главе 3 диссертации.

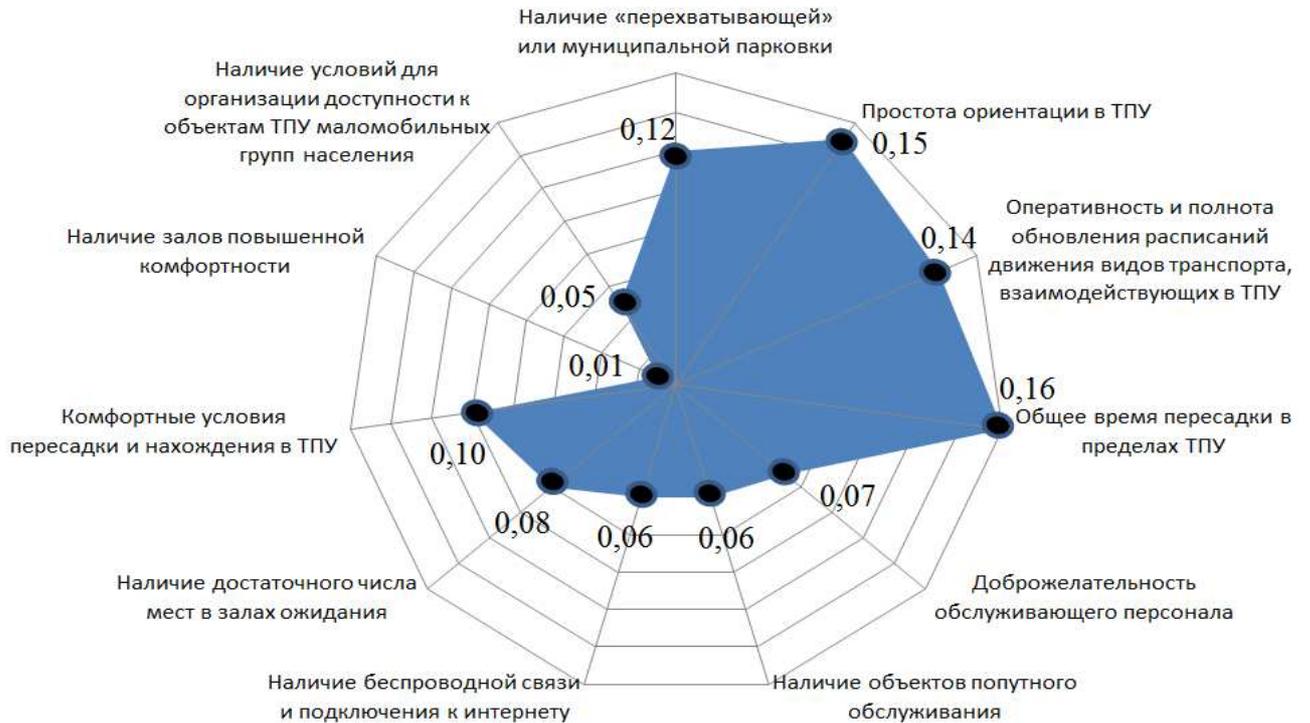


Рисунок 4.4 – Распределение факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ, для первой группы факторов (по степени их влияния)

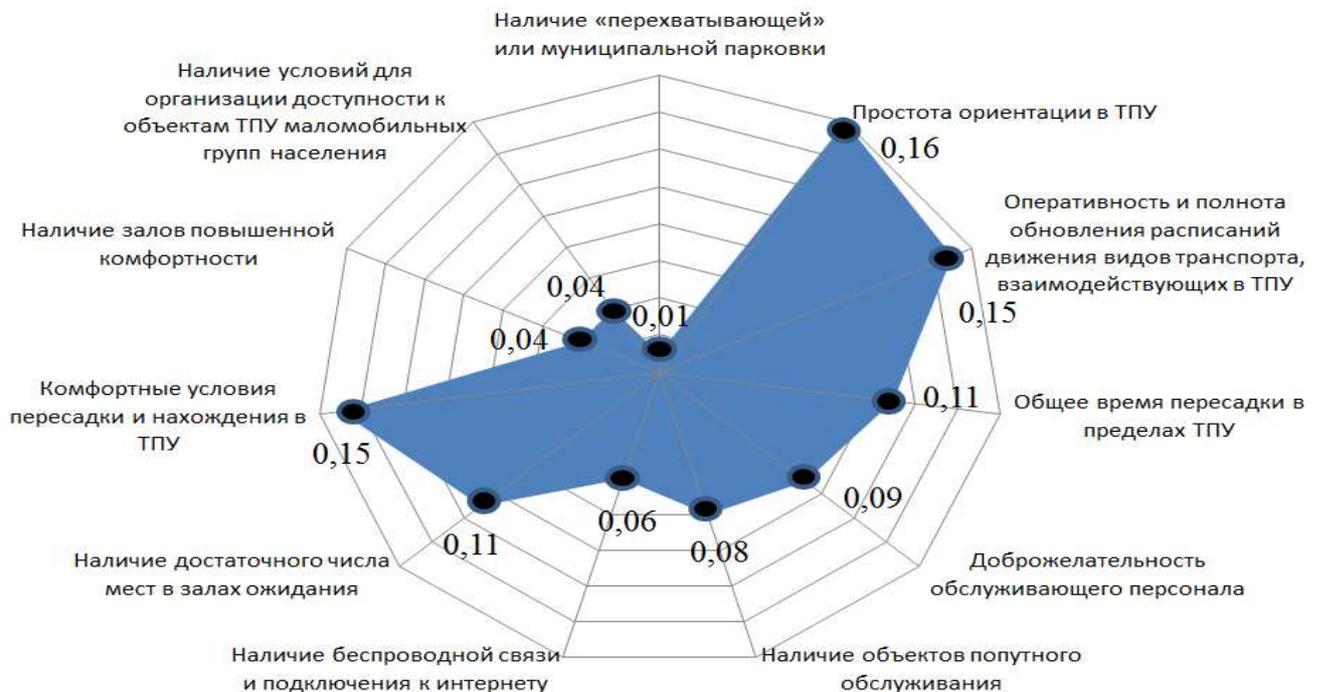


Рисунок 4.5 – Распределение факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ, для второй группы факторов (по степени их влияния)

Фактор «Простота ориентации в ТПУ» связан с уровнем информационно-справочного обслуживания в ТПУ. Требования к размещению объектов информационно-справочного обслуживания приведены в п. 2.3 диссертации.

Значения сформированных показателей качества ( $k_i$ ) определим через дифференциальную оценку показателей качества [96]:

$$K_i = \frac{y_{i\phi}}{y_{ic}} \quad (4.20)$$

где  $y_{i\phi}$  – фактический уровень  $i$ -го свойства (показателя качества);

$y_{ic}$  – нормативный уровень  $i$ -го свойства (показателя качества).

Перечень частных показателей оценки качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ и формулы расчета приведены в таблице 4.5. Как мы видим из таблицы 4.5, различные показатели качества имеют разную размерность. Они представляют собой абсолютные и относительные величины. Безразмерные показатели качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ ( $K_1, K_{3-11}, K_{14-15}$ ) характеризуют уровень качества для рассматриваемого показателя.

Показатель  $k_i$  можно также определить с помощью опроса пассажиров и посетителей ТПУ с использованием бальной оценки. Пассажир или посетитель ТПУ путем заполнения опросного листа (анкеты) оценивает каждый показатель качества  $k_i$  (шкала баллов 5, 10, 100 и т.д.) и его удельный вес  $\alpha_i$ :  $0 \leq \alpha_i \leq 1$ .

Следующим шагом в оценке качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ является определение комплексного показателя качества. Комплексный показатель качества определяется путем приведения совокупности показателей качества в сопоставимый вид и сведением их воедино. Сложность процесса заключается в определении способа сведения различных показателей качества в единый показатель.

При определении комплексного показателя качества возможна ситуация, когда отдельные низкие показатели «перекрываются» более высокими. Для того, что бы этого избежать необходимо для каждого  $i$ -го показателя ( $K_{1-15}$ ) установить допустимые интервалы:  $y_i^{\min} \leq y_i \leq y_i^{\max}$  и комплексную оценку проводить только в том случае, если показатель качества попадает в этот интервал.

Таблица 4.5 – Показатели качества обслуживания пассажиров и посетителей

№	Показатель	Формула расчета
1	Наличие достаточного времени бесплатной парковки для посадки/высадки пассажиров и посетителей ТПУ	$K_1 = \frac{\sum t_{\phi}^{пос/выс}}{\sum t_n^{бесп.пос/выс}}$
2	Время попадания в ТПУ с зон парковки	$K_2 = t^{парк} = \frac{\sum H_i \cdot t_{\phi}^{парк}}{\sum H}$
3	Наличие достаточного количества мест парковок в ТПУ	$K_3 = \frac{\sum m_{потр}}{\sum m_{\phi}}$
4	Простота ориентации пассажиров и посетителей в ТПУ	$K_4 = 1 - \frac{\sum H_{жалоб}}{\sum H}$
5	Оперативность и полнота обновления расписаний движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ	$K_5 = \frac{\sum H_{удовл\ расп}}{\sum H}$
6	Планировка всех помещений ТПУ, связанных с перемещением посетителей и пассажиров	$K_6 = \frac{\sum H_{удовл\ планир}}{\sum H}$
7	Внешний вид персонала и культура общения	$K_7 = \frac{\sum H_{удовл\ персон}}{\sum H}$
8	Наличие достаточного количества предприятий общественного питания и розничной торговли и их доступность для пассажиров и посетителей ТПУ	$K_8 = \frac{\sum H_{удовл\ ком}}{\sum H_{\phi}}$
9	Доступ пассажиров и посетителей ТПУ к беспроводной связи и сети Интернет во всех зонах ТПУ	$K_9 = \frac{\sum H_{удовл\ интернет}}{\sum H}$
10	Удовлетворенность пассажиров и посетителей комфортными условиями пребывания в ТПУ	$K_{10} = \frac{\sum H_{удовл\ комф}}{\sum H}$
11	Наличие достаточного числа сидячих мест в зонах ожидания	$K_{11} = \frac{\sum s_{потр}}{\sum s_{\phi}}$
12	Обеспечение безопасности пассажиров и посетителей ТПУ	$K_{12} = \frac{\sum \Pi_{ТПУ}}{\sum H}$
13	Среднее время нахождения пассажира в очереди в ТПУ	$K_{13} = t_{ср}^{оч} = \frac{\sum H_i \cdot t_i^{оч}}{\sum H}$
14	Предоставление пассажиру возможности доступа в залы обслуживания повышенной комфортности	$K_{14} = \frac{\sum H_{потр}^{vip}}{\sum H_{\phi}^{vip}}$

15	Наличие условий для организации доступа к объектам ТПУ маломобильных групп населения	$K_{15} = \frac{\sum Y_n}{\sum Y_\phi}$
<p>Условные обозначения к таблице 4.5:</p> <p><math>t_{\phi}^{пос/выс}</math> – фактическое время, затрачиваемое пассажиром или посетителем ТПУ на посадку/высадку на парковке ТПУ;</p> <p><math>t_n^{бес.пос/выс}</math> – норма времени бесплатной парковки автотранспорта у ТПУ для осуществления посадки/высадки;</p> <p><math>\sum H</math> – фактический (выполненный) поток пассажиров и посетителей ТПУ;</p> <p><math>t_{\phi}^{парк}</math> – фактическое время, затрачиваемое на попадание пассажира/посетителя с зон парковки в ТПУ;</p> <p><math>m_{потр}</math> – потребное число мест на парковке ТПУ;</p> <p><math>m_{\phi}</math> – имеющееся число мест на парковке ТПУ;</p> <p><math>H_{жалоб}</math> – неудовлетворенный уровнем обслуживания поток пассажиров и посетителей ТПУ;</p> <p><math>\sum H_{расп}^{удовл}</math> – пассажиропоток, удовлетворенный оперативностью и полнотой обновления расписаний движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ;</p> <p><math>\sum H_{планир}^{удовл}</math> – пассажиропоток, удовлетворенный планировкой ТПУ;</p> <p><math>\sum H_{персон}^{удовл}</math> – пассажиропоток, удовлетворенный обслуживанием персонала ТПУ;</p> <p><math>\sum H_{ком}^{удовл}</math> – пассажиропоток, удовлетворенный количеством предприятий общественного питания и розничной торговли и их месторасположением;</p> <p><math>\sum H_{интернет}^{удовл}</math> – пассажиропоток, удовлетворенный услугой доступа к беспроводной связи и сети интернет;</p> <p><math>S_{потр}</math> – потребное число сидячих мест в зонах ожидания ТПУ;</p> <p><math>S_{\phi}</math> – фактическое число сидячих мест в зонах ожидания ТПУ;</p> <p><math>\sum P_{ТПУ}</math> – число происшествий в ТПУ;</p> <p><math>\sum H_{комф}^{удовл}</math> – пассажиропоток, удовлетворенный комфортом обслуживания в ТПУ;</p> <p><math>t_i^{оч}</math> – время нахождения i-го пассажира ТПУ в очереди;</p> <p><math>\sum H_{потр}^{vip}</math> – потребное число пассажиров, пользующихся услугами зала повышенной комфортности;</p> <p><math>\sum H_{\phi}^{vip}</math> – фактическое число пассажиров, пользующихся услугами зала повышенной комфортности;</p> <p><math>\sum Y_n</math> – нормативные требования доступности инфраструктуры ТПУ МГН;</p> <p><math>\sum Y_{\phi}</math> – фактические условия доступности инфраструктуры ТПУ МГН.</p>		

Для определения комплексного показателя качества профессором В.Г. Галабурдой предложена следующая формула [96]:

$$K_O = \sum_{i=1}^n K_i \cdot \alpha_i \quad \text{при} \quad \sum \alpha_i = 1 \quad (4.21)$$

где  $K_i$  - показатель качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ;

$\alpha_i$  - доля каждого показателя качества, с учетом взаимного влияния, в общей оценке качества, определяемая пассажирами и посетителями ТПУ или по рейтинговым оценкам специалистов;

$n$  – число учитываемых показателей качества ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

При небольшом количестве частных показателей качества комплексный показатель можно определить как средневзвешенную сумму частных показателей [115]:

$$K_O = \frac{\sum K_i \cdot \alpha_i}{\sum \alpha_i} \quad (4.22)$$

При большом числе частных показателей качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ комплексный показатель может определяться как среднее геометрическое значение частных показателей [115]:

$$K_O = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n K_i} \quad (4.23)$$

или как модуль вектора, построенного в системе координат частных показателей [115]:

$$K_O = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i)^2} \quad (4.24)$$

Комплексный показатель качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ находится в пределах от 0 до 1 или в процентах от 0 до 100. Оценка качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ позволяет разрабатывать стратегию менеджмента качества для повышения конкурентоспособности общественного пассажирского транспорта над индивидуальным.

Разработка и реализация мероприятий по повышению качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ связана, как правило, со значительными расходами, поэтому необходимы предварительные маркетинговые исследования спроса и конъюнктуры рынка транспортных услуг, тщательные экономические расчеты эффективности.

## ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4

1. ТПУ характеризуются сложностью, разнообразием возможных технических решений и протекающих процессов взаимодействия, поэтому оценивать общую эффективность функционирования ТПУ необходимо комплексно. Предложенные рекомендации по оценке эффективности функционирования ТПУ включают в себя группу показателей, учитывающих интересы и пассажиров, и компаний, осуществляющих перевозку пассажиров, и городов (пригородов), на территории которых размещается ТПУ.

2. Для определения инвестиционной привлекательности проектов создания ТПУ важно определить коммерческий эффект от оказания на территории ТПУ дополнительных услуг пассажирам и посетителям. На предпроектной стадии коммерческий эффект можно оценить через арендную ставку 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ. Проведенные расчеты по определению величины чистого дисконтированного дохода на 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ и срока окупаемости капиталовложений для ТПУ «Тимирязевская» показали, что с увеличением доли коммерческих площадей при более низкой арендной плате быстрее достигается положительный эффект, и наоборот, чем меньше доля коммерческих площадей, тем вероятность достижения положительного эффекта даже при высоких арендных ставках ниже.

3. Для оценки значимости каждого отдельного показателя эффективности в сформированной группе предложен комплексный показатель, определяющийся через интегральную функцию эффективности варианта развития и реконструкции ТПУ.

4. Сформированы критерии и показатели оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса пассажирам и посетителям ТПУ, устанавливающие минимальный набор требований для управления качеством обслуживания и сервисом с целью удовлетворения ожиданий и потребностей пассажиров и посетителей ТПУ. Используя метод экспертных оценок, была определена значимость факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации приведены научно-обоснованные предложения по формированию, развитию и функционированию ТПУ, моделированию пассажиропотоков, выбору параметров ТПУ, формируемых с участием ж.-д. транспорта, полученные с использованием интеллектуальных имитационных систем, методов логического, математического анализа и экспертной оценки. На основе проведенных исследований выделим следующие ключевые итоги:

1. Предложены направления развития внутригородских и пригородно-городских пассажирских перевозок, реализация которых позволит повысить популярность общественного транспорта, в том числе за счёт формирования и развития ТПУ, сокращения использования личного автотранспорта, расширения провозной способности общественного транспорта, повышения уровня сервиса общественного транспорта.

2. Выполнен анализ зарубежного опыта формирования, функционирования и развития ТПУ, который позволил выявить новые мировые тенденции в их формировании и развитии: произошла концентрация и оптимизация числа ТПУ в крупных городах, наметился процесс формирования структуры и планировки ТПУ на основе многоуровневых решений (основной способ сокращения расстояния пешего прохода и общей продолжительности пересадки), создаются многопрофильные ТПУ с коммерческой составляющей.

3. Проведен анализ развития ТПУ России, который показал, что последовательность формирования отечественных ТПУ, их число и планировочная структура определяются культурно-историческим развитием, планировочной структурой городов, развитием их транспортной сети, экономического потенциала, географического положения и особенностями их транспортных систем.

4. Проанализированы существующая классификация ТПУ (транспортная и градостроительная), предложен классификатор ТПУ по группам и категориям, в котором наряду с существующими характеристиками вводятся дополнительные

критерии (планировочное решение ТПУ, размещение на плане города, наличие перехватывающей парковки).

5. Впервые поставлена и решена задача систематизации ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта, позволяющая выделить классификационные группы ТПУ схожие по особенностям сформированной инфраструктуры и условиям функционирования, что важно для выбора параметров ТПУ, оценки перспектив необходимости и этапности их развития с минимизацией затрат на реконструкцию и сооружение, а также при экспертизе проектных и предпроектных решений.

6. Разработаны требования к размещению основных зон ТПУ и этапность их выделения. Для выделенных классификационных групп ТПУ, сформированных с участием ж.-д. транспорта, предложены варианты структурных схем ТПУ в зависимости от величины корреспондирующих пассажиропотоков.

7. Предложена технология и выполнено формализованное описание поведения всех возможных пассажиропотоков, возникающих в моделируемом пространстве ТПУ, учитывающее логические зависимости в организации движения пассажиропотоков и перемещении пассажиров, которое позволяет оценить существующий, задать требуемый уровень устойчивости, безопасности, комфорта, эффективности функционирования ТПУ и получить планировочные решения с рациональными параметрами.

8. Разработана модель функционирования ТПУ и выполнена её компьютерная реализация в виде модельного примера ТПУ «Тимирязевская», которая позволяет моделировать и отображать моделируемый процесс с помощью анимации, отслеживать и контролировать плотность пассажиропотоков в различных зонах моделируемого пространства, выявлять возможные недостатки существующего или предлагаемого планировочного решения ТПУ, выбрать рациональные внутренние параметры ТПУ.

9. Используя результаты моделирования, определены зависимости между входными (внешними) параметрами ТПУ: плотности от скорости движения пассажиропотоков, плотности от интенсивности движения.

10. Разработаны методические рекомендации по оценке эффективности функционирования ТПУ, учитывающие интересы пассажиров и компаний, осуществляющих перевозку пассажиров, городов и пригородов, на территории которых размещаются ТПУ. Определен коммерческий эффект от оказания на территории ТПУ дополнительных услуг пассажирам и посетителям через арендную ставку 1 м<sup>2</sup> площади ТПУ. Установлено, что с увеличением доли коммерческих площадей в общей площади ТПУ при более низкой арендной плате быстрее достигается положительный эффект, и наоборот, чем меньше доля коммерческих площадей, тем вероятность достижения положительного эффекта даже при высоких арендных ставках ниже.

11. Сформированы критерии и показатели оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса пассажирам и посетителям ТПУ, устанавливающие минимальный набор требований для управления качеством обслуживания и сервисом с целью удовлетворения ожиданий и потребностей пассажиров и посетителей ТПУ, формирования благоприятного имиджа ТПУ как ключевого элемента системы пассажирского транспорта. Используя метод экспертных оценок, определена значимость факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Программа правительства города Москвы «Развитие транспортной системы г. Москвы 2012-2016 гг.». Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы, информационная брошюра «Движение и транспорт», М., 2011. – 33 с.
2. Артынов, А.П. Управление взаимодействием транспортных систем [Текст] / А.П. Артынов, Г.А. Кондратьев. - М.: Наука, 1986. – 198 с.
3. Каретников, А.Д. Координация работы различных видов транспорта [Текст] / А.Д. Каретников, А.В. Комаров. М., «Транспорт», 1964. – 200 с.
4. Кочнев, Ф.П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте [Текст] / Ф.П. Кочнев. – М.: Транспорт, 1980. – 496 с.
5. Пазойский, Ю.О. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения) [Текст] / Ю.О. Пазойский, В.Г. Шубко, С.П. Вакуленко. – М.: УМЦ ЖДТ, 2009. – 342 с.
6. Пазойский, Ю.О. Организация пригородных перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / Ю.О. Пазойский. – М.: МИИТ, 1999. – 193 с.
7. Резер, С.М. Логистика пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [Текст] / С.М. Резер. М.: ВИНТИ РАН, 2007. – 516 с.
8. Угрюмов, А.К. Оперативное управление движением на железнодорожном транспорте [Текст] / А.К. Угрюмов - М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
9. Чернюгов, А.Д. Организация эксплуатационной работы железнодорожных направлений [Текст] / А.Д. Чернюгов. Тр. ВНИИЖТа, 1975. вып. 547. – 125 с.
10. Шубко, В.Г. Совершенствование пассажирских перевозок [Текст] / В.Г. Шубко, В.С. Колпаков. – М.: Транспорт, 1983. – 191 с.
11. Архангельский, Е.В. Железнодорожные станции (устройство и организация работы) [Текст] / Е.В. Архангельский, Ю.Е. Лукьянова – М.: Интекст, 1996. – 351 с.

12. Бычкова, А.А. Методы повышения уровня сервисного обслуживания на железнодорожных вокзалах [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Бычкова Анна Алексеевна. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2013. – 144 с.

13. Вакуленко, С.П. Выбор рациональных схем и емкости путевого развития пассажирских технических станций [Текст]: автореф. дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Вакуленко Сергей Петрович. – Москва, 1989. – 24 с.

14. Голубев, П.В. Выбор параметров пассажирских устройств при организации пригородно-городских перевозок в узле [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Голубев Пётр Владимирович. – Москва, 2005. – 165 с.

15. Савченко, И.Е. Железнодорожные станции и узлы [Текст] / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страковский. Под ред. В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 479 с.

16. Земблинов, С.В. Основы построения транспортных узлов [Текст] / С.В. Земблинов, В.А. Бураков, А.М. Обермейстер, А.А. Поляков, В.А. Персианов и др. – М.: Трансжелдориздат, 1959. – 454 с.

17. Илюхина, И.А. Развитие станционных устройств малого кольца Московского железнодорожного узла для организации пассажирского движения [Текст]: дисс. канд. технических наук: 05.22.08 / Илюхина Ирина Александровна. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 1999. – 173 с.

18. Копылова, Е.В. Организация работы интермодальных транспортных систем для обслуживания пригородных пассажиропотоков в периоды предоставления «окон» [Текст]: Дис. канд. технич. наук: 05.22.08 / Копылова Екатерина Витальевна. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2007. – 128 с.

19. Добросельская, Т.М. Определение экономической эффективности систем городского пассажирского транспорта / Т.М. Добросельская, В.В. Инишева, Е.Е. Отдельнова, И.А. Молодых; Ред. И.А. Молодых // Институт комплексных транспортных проблем при Госплане СССР. – М.: Транспорт, 1977. – 64 с.

20. Молодых, И.А. Пассажирский транспорт в пригородной зоне крупного города / И.А. Молодых // Институт комплексных транспортных проблем при Госплане СССР. – М.: Транспорт, 1976. – 144 с.
21. Правдин, Н.В. Взаимодействие различных видов транспорта [Текст] / Н.В. Правдин, В.Я. Негрей, В.А. Подкопаев. Под ред. Н.В. Правдина. – М.: Транспорт, 1989. – 208 с.
22. Овчинникова, Е.А. Разработка алгоритмов кластеризации и рекомендаций по модернизации железнодорожных вокзальных комплексов городских транспортных систем [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.01 / Овчинникова Елена Александровна. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2014. – 234 с.
23. Персианов, В.А. Пассажирский транспорт большого города [Текст]: учебное пособие / В.А. Персианов - М., ГУУ 2006. – 80 с.
24. Персианов, В.А. Моделирование транспортных систем [Текст] / В.А. Персианов, К.Ю. Скалов, Н.С. Усков. – М.: Транспорт, 1972. – 208 с.
25. Галабурда, В.Г. Единая транспортная система [Текст]: учебник 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.
26. Персианов, В.А. Проект «Городские железные дороги России» [Текст] / В.А. Персианов, П.В. Куренков и др. // Вестник транспорта. – 2014. – № 5. – С. 2-10.
27. Персианов, В.А. Проект «Городские железные дороги России» [Текст] / В.А. Персианов, П.В. Куренков и др. // Вестник транспорта. – 2014. – № 6. – С. 6-11.
28. Правдин, Н.В. Пассажирские станции [Текст] / Н.В. Правдин – М.: Транспорт, 1973. – 272 с.
29. Правдин, Н.В. Технология работы вокзалов и пассажирских станций [Текст] / Н.В. Правдин, Л.С. Рябуха, В.И. Лукашев. – М.: Транспорт. 1990. – 319 с.
30. Повороженко, В.В. Основы взаимодействия железных дорог с другими видами транспорта [Текст]: учебник для вузов / В.В. Повороженко, Н.К.

Сологуб, А.А. Тимошин, В.Г. Галабурда; Под ред. В.В. Повороженко. – М.: Транспорт, 1986. – 215 с.

31. Скалов, К.Ю. Взаимодействие городского и пригородного железнодорожного транспорта [Текст] / К.Ю. Скалов, А.П. Михеев. – М.: Транспорт, 1972. – 216 с.

32. Скалов, К.Ю. Транспортные узлы [Текст] / К.Ю. Скалов. – М.: Транспорт, 1996. – 508 с.

33. Фишельсон, М.С. О повышении скорости передвижения пассажира / М.С. Фишельсон // 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. 24-27.

34. Фишельсон, М.С. Городские пути сообщения [Текст]: учебное пособие / М.С. Фишельсон. – М.: Высш. школа, 1980. – 296 с.

35. Азаренкова, З.В. Транспортно-пересадочные узлы в планировке городов [Текст]: монография / З.В. Азаренкова. – М.: ОАО Типография «Новости», 2011. – 96 с.

36. Азаренкова, З.В. Пересадочные узлы как ключевые элементы транспортной системы города [Текст]: обзорная информация. Промышленные и сельскохозяйственные комплексы, здания и сооружения / З.В. Азаренкова. – М.: ОАО «ВНИИТПИ». Строительство и архитектура, 2008. – 50 с.

37. Батырёв, В.М. Вокзалы [Текст]: научное издание / В.М. Батырёв. – М.: Стройиздат, 1988. – 216 с.

38. Боженко, И.А. Развитие полифункциональных общественных сооружений [Текст] / И.А. Боженко // Архитектон: известия вузов. – 2006. – № 14. – С. 3.

39. Власов, Д.Н. Транспортно-пересадочные узлы крупнейшего города (на примере Москвы) [Текст]: научное издание / Д.Н. Власов. – М.: Издательство АСВ, 2009. – 96 с.
40. Власов, Д.Н. Научно-методологические основы развития агломерационных систем транспортно-пересадочных узлов (на примере Московской агломерации) [Текст]: автореф. дисс. докт. технич. наук: 05.23.22 / Власов Денис Николаевич. – Москва, МГСУ, 2013. – 37 с.
41. Христюк, Н.М. Методические рекомендации по обследованию пассажирских и пешеходных потоков в транспортно-планировочных узлах города [Текст] / Н.М. Христюк, Е.П. Левковская, А.А. Шрейдер. – К.: 1989. – 70 с.
42. 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.
43. Савчук, Ю.А. Особенности проектирования интегрированных вокзальных комплексов [Текст] / Ю.А. Савчук // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2010. – № 2. – С. 81-84.
44. Щурова, В.А. Архитектурно-планировочная организация городской застройки в зоне влияния транспортно-пересадочных узлов [Текст]: автореф. дис. канд. архит.: 18.00.04 / Щурова Виктория Анатольевна. – Киев, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, 2005. – 20 с.
45. Кондратенко, В.В. Модернизация железнодорожных станций и узлов как фактор улучшения пассажирских перевозок в крупных городах России [Текст]: дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Кондратенко Владимир Васильевич. – Москва, Государственный университет управления, 2010. – 155 с.

46. Евреенова, Н.Ю. Современные тенденции формирования транспортно-пересадочных узлов за рубежом [Текст] / Н.Ю. Евреенова // Труды научно-практической конференции «Неделя науки - 2014», «Наука МИИТа – транспорту». В 2-х частях. – Часть 2. – М.: МИИТ, 2014. – С. IV-87-IV-88.

47. Абрамов, С.Б. Железнодорожные вокзалы как многопрофильные комплексы [Текст] / С.Б. Абрамов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 6. – С. 11-14.

48. Программа правительства города Москвы «Развитие транспортной системы г. Москвы 2012-2016 гг.», Департамент транспорта и развития дорожно-транспортной инфраструктуры города Москвы, информационная брошюра «Движение и транспорт», М., 2011. – 33 с.

49. Постановление Правительства Москвы от 06 сентября 2011 г. № 413-ПП «О формировании транспортно-пересадочных узлов в городе Москве» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.orgpmos.ru/docs/413-pp/](http://www.orgpmos.ru/docs/413-pp/)

50. Абрамов, С.Б. Реконструкция Московских вокзалов – повышение качество услуг и эффективности работы [Текст] / С.Б. Абрамов // Экономика железных дорог. – 2012. – № 5. – С. 10.

51. Свод правил: Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: СП 42.13330.2011: Введ. 20.05.2011: Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. М.: Министерство регионального развития РФ, 2011. – 110 с.

52. Вакуленко, С.П. О необходимости разработки концепции формирования и развития транспортно-пересадочных узлов как основы мультимодальных пассажирских перевозок [Текст] / 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.

53. Башкаев, Т.И. Архитектурная концепция станций Малого кольца Московской железной дороги / Т.И. Башкаев // Экономика железных дорог. – 2012. – № 4. – С. 54-57.

54. Вакуленко, С.П. Особенности формирования и размещения транспортно-пересадочных узлов в современных условиях [Текст] / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова // Труды двенадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» 20-21 октября 2011 г., М.: МИИТ, С. IX-5-IX-6.

55. Хайрулина, Ю.С. Общие положения функционально-пространственной организации современного транспортно-коммуникационного узла [Текст] / Ю.С. Хайрулина // Известия КГАСУ. – 2011. – №4. – С. 155-165.

56. Колесников, С.А. Принципы построения принципиальной теоретической модели функционально-пространственной организации высокоурбанизированного многофункционального узла городской структуры / С.А. Колесников // Архитектон: известия вузов. – 2008. – № 22. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://archvuz.ru/2008\\_2/1](http://archvuz.ru/2008_2/1).

57. Рекомендации по проектированию общественно-транспортных центров (узлов) в крупных городах [Текст]: ЦНИИП градостроительства. – М.: 2000. – 43 с.

58. Железнодорожный транспорт [Текст] : энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с.

59. Технический железнодорожный словарь [Текст] / Н.Н. Васильев, О.Н. Исаакян, Н.О. Рогинский, Я.Б. Смолянский, В.А. Сокович, Т.С. Хачатуров. – М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1941.

60. Вакуленко, С.П. Интермодальные перевозки в пассажирском сообщении с участием железнодорожного транспорта [Текст]: учебное пособие / С.П. Вакуленко, П.В. Голубев, Е.В. Копылова, Е.Б. Куликова. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 263 с.

61. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004г. N 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.base.garant.ru>.

62. Концепция строительства транспортно-пересадочных узлов в городе Москве: Распоряжение Правительства Москвы от 01.09.2005 г. № 1699-ПП. – 40 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moes.ru>.
63. Вакуленко, С.П. О классификации транспортно-пересадочных узлов [Текст] / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2011. – № 5. – С. 130-132.
64. Свод правил: Общественные здания и сооружения: СП 118.13330.2012: Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. Введ. 01.01.2013. М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. – 70 с.
65. Свод правил: Административные и бытовые здания: СП 44.13330.2011: Актуализированная редакция СНиП 2.09.04-87. Введ. 20.05.2011. М.: Министерство регионального развития РФ, 2011. – 110 с.
66. Вакуленко, С.П. Особенности зонирования площадей транспортно-пересадочных узлов [Текст] / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова // Материалы III международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные науки сегодня». В 3т. Т. 1. North Charleston, USA, 2014. С. 114-116.
67. Большой энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2002. – 1456 с.
68. Fruin, J. Pedestrian Planning and Design [Text] / J. Fruin // Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 1971.
69. Вакуленко, С.П. Планировочная структура транспортно-пересадочных узлов [Текст] / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2012. – № 5. – С. 100-104.
70. Свод правил: Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения: СП 59.13330.2012: Актуализированная редакция СНиП 35.01-2001. Введ. 01.01.2013. М.: Министерство регионального развития РФ, 2012.–58 с.
71. Вакуленко, С.П. Формирование транспортно-пересадочных узлов в зонах тяготения пассажиропотоков пригородных зон [Текст] / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова // Труды Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта». М.: МИИТ, 2012. С. 90-92.

72. Скалов, К.Ю. Методика технико-экономических расчетов при развитии транспортных узлов [Текст] / К.Ю. Скалов, Э.Е. Островский, Г.С. Молярчук. – М.: Транспорт, 1972. – 567 с.

73. Владимирова, Т.А. Использование статистических методов при оценке качества обслуживания пассажиров на железнодорожном транспорте [Текст] / Т.А. Владимирова // Статистическое моделирование экономических процессов. – Новосибирск, 1991. – С. 67-73.

74. Елизарьев, М.Ю. Оптимизация пассажирской логистики как инструмент комплексного повышения эффективности системы транспортного обслуживания населения в московской агломерации / М.Ю. Елизарьев // Экономика железных дорог. – 2012. – № 4. – С. 58-66.

75. Доенин, В.В. Моделирование транспортных процессов и систем [Текст] / В.В. Доенин // М.: Изд. «Компания Спутник +», 2012. – 288 с.

76. Доенин, В.В. Логико-разностные модели транспортных процессов [Текст] / В.В. Доенин // М.: Изд. «Компания Спутник +», 2008. – 276 с.

77. Константинова, Т.Ю. Методы и средства оптимизации режимов работы устройств станций и узлов метрополитена [Текст]: дисс. канд. технич. наук: 05.22.08 / Константинова Татьяна Юрьевна. – Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения, 2006. – 177 с.

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

79. Торопов, Б.И. Развитие пассажирских комплексов на основе закономерностей формирования пассажиропотоков [Текст]: дисс. канд. технических наук: 05.22.00 / Торопов Борис Иванович. – Киев, Киевский институт железнодорожного транспорта, 2000. – 154 с.

80. Helbing, D. Simulation of Pedestrian Crowds in Normal and Evacuation Situations, Pedestrian and Evacuation Dynamics Springer-Verlag [Text] / D. Helbing // New York, 2002. pp. 21-58.

81. Helbing, D. Social force model for pedestrian dynamics [Text] / D. Helbing // Physical review E, May 1995.
82. Холщевников, В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов [Текст]: дисс. д-ра. технических наук: 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич. Москва, Московский инженерно-строительный институт, 1983. – 486 с.
83. Евреенова, Н.Ю. Моделирование пассажиропотоков в транспортно-пересадочных узлах [Текст] / Н.Ю. Евреенова // Труды Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспорта». В 2т. Т. 2. М.: МИИТ, 2013. С. 95-102.
84. Моделирование пешеходных потоков [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.simulation.su>.
85. Введение в моделирование пешеходных потоков [Электронный ресурс], – Режим доступа: <http://www.anylogic.ru>.
86. Burks, Arthur W. Essays on Cellular Automata [Text] / Arthur W. Burks // University of Illinois Press, 1970.
87. Mehran, R. Abnormal Crowd Behavior Detection using Social Force Model [Text] / R. Mehran, A. Oyama, M. Shah // IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Miami, 2009.
88. Ху, Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях [Текст] / Т. Ху // М.: Изд. «Мир», 1974. – 520 с.
89. Was, J. Social Distances Model of Pedestrian Dynamics [Text] / J. Was, B. Gudowski, PJ. Matuszyk // In: El Yacoubi, Chopard B., Bandini S. (eds.) ACRI 2006 LNCS, vol.4173, pp. 492-501.
90. Вакуленко, С.П. Моделирование пассажиропотоков в ТПУ [Текст] / С.П. Вакуленко, В.В. Доенин, Н.Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2014. – № 4. – С. 124-131.
91. Материалы официального сайта AnyLogic [Электронный ресурс], - Режим доступа: <http://www.anylogic.ru>.

92. Евреенова, Н.Ю. Особенности моделирования функционирования транспортно-пересадочного узла [Текст] / Н.Ю. Евреенова // Мир транспорта. – 2014. – № 5. – С. 170-176.

93. Нормы и правила проектирования планировки и застройки Москвы: Постановление Правительства Москвы от 25.01.2000 г. № 49. – 111 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moes.ru>.

94. Андреев, А.В. Повышения эффективности работы пригородного комплекса железнодорожного транспорта [Текст]: автореф. дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Андреев Андрей Вениаминович. Москва, Самарский государственный университет путей сообщения, 2008. – 24 с.

95. Бранзия, Р.Л. Экономические аспекты организации интермодальных пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах (на примере Московского мегаполиса) [Текст]: Дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Бранзия Роланд Лаврентьевич. – Москва, Государственный университет управления, 2009. – 155 с.

96. Галабурда, В.Г. Транспортный маркетинг / В.Г. Галабурда // М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 452 с.

97. Голосков, В.Н. Инновационная логистика в реформировании и развитии сферы услуг пассажирского железнодорожного транспорта [Текст]: автореф. дисс. д-ра. эконом. наук: 08.00.05 / Голосков Владимир Николаевич. Ростов, Ростовский государственный строительный университет, 2008. – 43 с.

98. Гузенко, А.В. Государственное регулирование логистической системы городского пассажирского транспорта [Текст]: дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Гузенко Анна Владимировна. Ростов-на-Дону, Ростовский государственный университет путей сообщения, 2009. – 172 с.

99. Захаров, В.Р. Формирование многофункциональной системы обслуживания пассажиров в совмещенных вокзальных комплексах [Текст]: дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Захаров Василий Романович. Москва, Государственный университет управления, 2005. – 161 с.

100. Зюзина, Н.Н. Экономическая оценка эффективности управления вокзальным комплексом [Текст]: Дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Зюзина Наталья Николаевна. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2009. – 215 с.

101. Куренков, П.В. Железная дорога в городе: за и против [Текст] / П.В. Куренков, Ю.Н. Дранченко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. – № 1. – С. 26-34.

102. Оленина, О. А. Экономическая эффективность инвестиций в развитие железнодорожных вокзалов [Текст]: Дис. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Оленина Ольга Анатольевна. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2003. – 183 с.

103. Сенцова, К.А. Разработка системы маркетингового управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте [Текст]: Дис. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Сенцова Ксения Александровна. – Москва, 2003. – 234 с.

104. Шабанов, А.В. Методологические основы и модели формирования и управления региональных логистических систем общественного транспорта [Текст]: дисс. д-ра экономических наук: 08.00.05 / Шабанов Алексей Викторович. – Ростов-на-Дону, Ростовский государственный строительный университет, 2002. – 338 с.

105. Юркова, Е.А. Экономическая эффективность управления железнодорожными вокзалами [Текст]: автореф. дисс. канд. эконом. наук: 08.00.05 / Юркова Елена Александровна. – Москва, 2009. – 32 с.

106. Зильберталь, А.Х. Проблемы городского пассажирского транспорта [Текст]: учебник / А.Х. Зильберталь. - М.: Л. Гострансиздат, 1937. – 277 с.

107. Азаренкова, З.В. Планировочная организация транспортно-пересадочных узлов [Текст]/ З.В. Азаренкова // Градостроительство. – 2011. – № 1. – С. 76-80.

108. Отраслевая схема размещения транспортно-пересадочных узлов и перехватывающих стоянок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://stroi.mos.ru/uploads/user\\_files/files/Shemy/TPU.pdf](http://stroi.mos.ru/uploads/user_files/files/Shemy/TPU.pdf)

109. Alonso, W. Location and Land Use [Text] / W. Alonso // Cambridge (Mass), Harvard University Press, 1964.

110. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте: Утв. указ. МПС РФ от 31.08.1998 г. № В-1024У. – М.: МПС РФ, 1998. – 104 с.

111. Материалы сайта «Экономико-математические методы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.emm.ostu.ru/lect/lect7.html](http://www.emm.ostu.ru/lect/lect7.html).

112. Гринёв, А.А. Мультимодальные перевозки [Текст]: конспект лекций / А.А. Гринёв, Н.Ю. Евреенова. – М.: МИИТ, 2013. – 176 с.

113. Лapidус, Б.М. Концепция корпоративной системы управления качеством в ОАО «РЖД» [Текст] / Б.М. Лapidус // Экономика железных дорог. – 2006. - № 3. – С. 10.

114. Лapidус, Б.М. От менеджмента качества к качеству менеджмента [Текст] / Б.М. Лapidус // Экономика железных дорог. – 2006. - № 10. – С. 11-14.

115. Динь Тхи, Т.Б. Развитие маркетинга и повышение эффективности пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: дисс. канд. экономических наук: 08.00.05 / Динь Тхи Тхань Бинь. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2002. – 142 с.

116. Замышляев, А.М. Повышение безопасности движения на основе комплексной оценки состояния инфраструктуры железнодорожной станции [Текст]: дисс. канд. технических наук: 05.22.08 / Замышляев Алексей Михайлович. – Москва, Московский государственный университет путей сообщения, 2005. – 291 с.

117. Анненков, А.М. Экспертные исследования условий труда на транспорте: методические указания / А.М. Анненков, А.В. Волков, О.И. Грибков // М.: МИИТ, 2006. – 52 с.

118. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Обработка значений экспертных оценок качества продукции [Текст]: ГОСТ 23554.2-81: введ. 01.01.1983 г.

## Анкета оценки качества обслуживания пассажиров и посетителей ТПУ

### АНКЕТА №

Пол \_\_\_\_\_

Возраст \_\_\_\_\_

Являетесь ли Вы автовладельцем? \_\_\_\_\_

При совершении поездки общественным транспортом Ваша удовлетворенность качеством обслуживания в транспортно-пересадочном узле зависит от совокупности факторов. Расставьте указанные факторы от наиболее значимого фактора, по Вашему мнению, к наименее значимому. Соответственно ранг «1» будет присвоен самому важному фактору, а ранг «11» наименее важному.

Факторы	Цели поездки:	
	Трудовые (работа, учеба)	Культурно-бытовые (отдых, покупки)
1. Наличие «перехватывающей» или муниципальной парковки		
2. Простота ориентации в ТПУ		
3. Оперативность и полнота обновления расписаний движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ		
4. Общее время пересадки в пределах ТПУ		
5. Доброжелательность обслуживающего персонала		
6. Наличие объектов попутного обслуживания		
7. Наличие беспроводной связи и подключения к интернету		
8. Наличие достаточного числа мест в залах ожидания		
9. Комфортные условия пересадки и нахождения в ТПУ		
10. Наличие залов повышенной комфортности		
11. Наличие условий для организации доступности к объектам ТПУ маломобильных групп населения		

### Результаты анализа экспертных оценок

Обработка и анализ результатов ранжирования факторов, влияющих на качество обслуживания пассажиров и посетителей в ТПУ. Результаты ранжирования сгруппированы в двух таблицах, каждая из которых имеет следующую структуру: на пересечении  $i$ -ой строки и  $j$ -го столбца стоят ранги, присвоенные 30-ю экспертами  $j$ -му фактору при ранжировании факторов для одной из двух целей поездки (работа или отдых). Рассмотрено 11 факторов, влияющих на качество обслуживания в ТПУ. Отбор факторов производился с использованием сформированных в п. 4.2 диссертации показателей оценки качества обслуживания и предоставляемого сервиса пассажирам и посетителям ТПУ. Фактор «безопасность» в опросный лист не включался, так как он является основополагающим. Наиболее значимому фактору эксперт присваивает ранг «1», следующему по значимости – ранг «2», наименее важному фактору присваивается ранг «11». Результаты ранжирования экспертов первой и второй группы факторов представлены в таблице П.2.1 и П.2.2 соответственно.

Предварительная обработка анкет состоит в группировке результатов ранжирования, которые сведены в таблицы П.2.3 и П.2.4. Каждая такая таблица содержит  $m$  строк и  $n$  столбцов ( $m=30$ ,  $n=11$ ), где на пересечении  $i$ -ой строки и  $j$ -го столбца стоит  $X_{ij}$  ранг  $j$ -го фактора в ранжировке  $i$ -го эксперта. Ранги всех факторов различны и их сумма для  $i$ -го эксперта будет равна [116]:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 + 2 + \dots + n = 0,5 * n * (n + 1) \quad (\text{П.2.1})$$

Самым влиятельным фактором признаётся тот, у которого сумма рангов наименьшая. В качестве меры согласованности экспертов используется коэффициент конкордации. Коэффициент конкордации может принимать значения от 0 до 1. При значении  $W = 0$  не существует связи между оценками экспертов, т. е. нет согласованности их мнений.

Таблица П.2.1 – Результаты ранжирования экспертов первой группы факторов

Факторы	Ранги																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Наличие «перехватывающей» или муниципальной парковки	4	1	3	6	11	1	3	11	8	5	3	11	11	11	1	1	11	3	1	11	1	4	11	1	3	4	3	1	1	1
Простота ориентации в ТПУ	3	4	2	2	7	4	4	3	7	2	8	1	7	2	3	2	1	4	3	1	8	3	2	2	4	7	2	5	2	5
Оперативность и полнота обновления расписаний движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ	1	6	4	5	3	3	5	2	4	4	11	2	2	1	11	3	3	1	4	2	2	2	4	7	5	2	1	4	5	4
Общее время пересадки в пределах ТПУ	2	2	1	1	6	2	1	4	2	1	9	8	3	4	10	4	4	2	8	4	3	1	1	4	1	1	4	2	7	3
Доброжелательность обслуживающего персонала	8	10	7	9	5	7	10	8	3	10	6	3	10	5	7	5	9	5	2	6	9	8	7	6	11	5	5	7	6	7
Наличие объектов попутного обслуживания	5	8	11	8	10	8	6	6	9	3	5	6	8	7	5	6	10	7	7	7	4	9	6	8	10	6	9	6	8	6
Наличие беспроводной связи и подключения к интернету	11	3	10	4	2	9	7	7	5	6	10	10	5	9	4	10	8	11	5	9	6	6	10	9	9	8	11	3	3	11
Наличие достаточного числа мест в залах ожидания	7	7	5	7	9	6	8	10	10	7	2	5	6	6	2	7	5	6	10	3	5	10	5	5	6	3	7	9	4	9
Комфортные условия пересадки и нахождения в ТПУ	6	5	6	3	1	5	2	5	6	8	7	4	4	3	6	8	2	8	6	5	7	5	3	3	7	9	6	8	9	8
Наличие залов повышенной комфортности	9	11	9	11	4	10	11	9	11	11	1	7	9	10	8	11	7	10	11	8	10	11	9	10	8	10	10	11	11	10
Наличие условий для организации доступности к объектам ТПУ маломобильных групп населения	10	9	8	10	8	11	9	1	1	9	4	9	1	8	9	9	6	9	9	10	11	7	8	11	2	11	8	10	10	2

Таблица П.2.2 – Результаты ранжирования экспертов второй группы факторов

Факторы	Ранги																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Наличие «перехватывающей» или муниципальной парковки	11	8	3	5	10	7	8	2	7	11	2	11	11	11	11	6	9	10	7	11	10	6	11	9	11	10	4	9	1	2
Простота ориентации в ТПУ	2	1	2	4	6	1	2	3	8	9	9	1	7	2	7	5	2	5	10	2	5	2	3	8	7	7	2	2	2	3
Оперативность и полнота обновления расписаний движения видов транспорта, взаимодействующих в ТПУ	1	9	4	3	7	2	7	6	5	8	11	2	2	1	4	4	1	2	8	5	8	3	4	3	8	9	1	1	3	8
Общее время пересадки в пределах ТПУ	3	11	1	2	8	3	4	7	3	10	10	8	3	4	8	11	4	3	9	8	2	1	1	2	9	1	5	8	4	10
Доброжелательность обслуживающего персонала	9	3	7	8	9	9	6	4	2	5	7	3	10	5	9	3	10	4	5	4	6	9	7	5	10	5	6	3	6	4
Наличие объектов попутного обслуживания	5	5	11	9	5	10	1	11	6	6	6	6	8	9	6	7	8	6	6	3	4	10	6	4	6	4	9	4	5	5
Наличие беспроводной связи и подключения к интернету	10	2	10	6	1	8	5	5	4	4	8	10	5	6	2	10	5	11	3	10	7	11	10	6	3	11	8	5	7	7
Наличие достаточного числа мест в залах ожидания	8	4	5	7	4	4	10	8	10	3	4	5	6	7	1	9	6	1	4	6	3	4	5	11	5	2	3	7	8	9
Комфортные условия пересадки и нахождения в ТПУ	7	6	6	1	3	5	3	10	9	2	5	4	4	3	5	8	3	7	1	1	1	5	2	1	4	3	7	6	10	6
Наличие залов повышенной комфортности	6	7	9	11	2	6	11	9	11	1	1	7	9	10	3	2	7	8	2	7	9	8	9	7	1	8	10	11	11	11
Наличие условий для организации доступности к объектам ТПУ маломобильных групп населения	4	10	8	10	11	11	9	1	1	7	3	9	1	8	10	1	11	9	11	9	11	7	8	11	2	6	11	10	9	1

Таблица П.2.3 – Таблица рангов первой группы факторов

Номер эксперта	Ранги факторов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4	3	1	2	8	5	11	7	6	9	10
2	1	4	6	2	10	8	3	7	5	11	9
3	3	2	4	1	7	11	10	5	6	9	8
4	6	2	5	1	9	8	4	7	3	11	10
5	11	7	3	6	5	10	2	9	1	4	8
6	1	4	3	2	7	8	9	6	5	10	11
7	3	4	5	1	10	6	7	8	2	11	9
8	11	3	2	4	8	6	7	10	5	9	1
9	8	7	4	2	3	9	5	10	6	11	1
10	5	2	4	1	10	3	6	7	8	11	9
11	3	8	11	9	6	5	10	2	7	1	4
12	11	1	2	8	3	6	10	5	4	7	9
13	11	7	2	3	10	8	5	6	4	9	1
14	11	2	1	4	5	7	9	6	3	10	8
15	1	3	11	10	7	5	4	2	6	8	9
16	1	2	3	4	5	6	10	7	8	11	9
17	11	1	3	4	9	10	8	5	2	7	6
18	3	4	1	2	5	7	11	6	8	10	9
19	1	3	4	8	2	7	5	10	6	11	9
20	11	1	2	4	6	7	9	3	5	8	10
21	1	8	2	3	9	4	6	5	7	10	11
22	4	3	2	1	8	9	6	10	5	11	7
23	11	2	4	1	7	6	10	5	3	9	8
24	1	2	7	4	6	8	9	5	3	10	11
25	3	4	5	1	11	10	9	6	7	8	2
26	4	7	2	1	5	6	8	3	9	10	11
27	3	2	1	4	5	9	11	7	6	10	8
28	1	5	4	2	7	6	3	9	8	11	10
29	1	2	5	7	6	8	3	4	9	11	10
30	1	5	4	3	7	6	11	9	8	10	2
<b>Σ</b>	<b>147</b>	<b>110</b>	<b>113</b>	<b>105</b>	<b>206</b>	<b>214</b>	<b>221</b>	<b>191</b>	<b>165</b>	<b>278</b>	<b>230</b>

Таблица П.2.4 – Таблица рангов второй группы факторов

Номер эксперта	Ранги факторов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	11	2	1	3	9	5	10	8	7	6	4
2	8	1	9	11	3	5	2	4	6	7	10
3	3	2	4	1	7	11	10	5	6	9	8
4	5	4	3	2	8	9	6	7	1	11	10
5	10	6	7	8	9	5	1	4	3	2	11
6	7	1	2	3	9	10	8	4	5	6	11
7	8	2	7	4	6	1	5	10	3	11	9
8	2	3	6	7	4	11	5	8	10	9	1
9	7	8	5	3	2	6	4	10	9	11	1
10	11	9	8	10	5	6	4	3	2	1	7
11	2	9	11	10	7	6	8	4	5	1	3
12	11	1	2	8	3	6	10	5	4	7	9
13	11	7	2	3	10	8	5	6	4	9	1
14	11	2	1	4	5	9	6	7	3	10	8
15	11	7	4	8	9	6	2	1	5	3	10
16	6	5	4	11	3	7	10	9	8	2	1
17	9	2	1	4	10	8	5	6	3	7	11
18	10	5	2	3	4	6	11	1	7	8	9
19	7	10	8	9	5	6	3	4	1	2	11
20	11	2	5	8	4	3	10	6	1	7	9
21	10	5	8	2	6	4	7	3	1	9	11
22	6	2	3	1	9	10	11	4	5	8	7
23	11	3	4	1	7	6	10	5	2	9	8
24	9	8	3	2	5	4	6	11	1	7	10
25	11	7	8	9	10	6	3	5	4	1	2
26	10	7	9	1	5	4	11	2	3	8	6
27	4	2	1	5	6	9	8	3	7	10	11
28	9	2	1	8	3	4	5	7	6	11	10
29	1	2	3	4	6	5	7	8	10	11	9
30	2	3	8	10	4	5	7	9	6	11	1
<b>∑</b>	<b>234</b>	<b>129</b>	<b>140</b>	<b>163</b>	<b>183</b>	<b>191</b>	<b>200</b>	<b>169</b>	<b>138</b>	<b>214</b>	<b>219</b>

Значение  $W = 1$  свидетельствует о наличии полной согласованности между оценками экспертов. Изменение коэффициента конкордации от 0 до 1

соответствует повышению степени согласованности мнений экспертов. Чем больше  $m$  и  $n$ , тем коэффициент конкордации принимает значения ближе к 0, чем к 1. Коэффициент конкордации рассчитывается в следующем порядке:

1. Вычисление средней по всем факторам суммы рангов [117]:

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} = \frac{m \cdot (n+1)}{2} \quad (\text{П.2.2})$$

где  $R_{ij}$  - ранг, присвоенный  $i$ -ому фактору  $j$ -ым экспертом;

$m$  – число экспертов;

$n$  – число факторов.

$$\sum_{j=1}^n R_{ij} = \frac{30 \cdot (11+1)}{2} = 180$$

2. Нахождение отклонения суммы рангов фактора от средней суммы [117]:

$$d_i = \sum_{j=1}^n R_{ij} - \frac{m \cdot (n+1)}{2} \quad (\text{П.2.3})$$

3. Подсчёт по всем факторам суммы квадратов отклонений [117]:

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{m \cdot (n+1)}{2} \right)^2 \quad (\text{П.2.4})$$

4. Вычисляем коэффициент конкордации [117]:

$$W = \frac{12 \sum d_i^2}{m^2 \cdot (n^3 - n)} \quad (\text{П.2.5})$$

Для оценки значимости значений  $W$  используют критерий согласия  $\chi^2$ . Для случая, где  $7 \leq n \leq 19$ , а  $m \geq 13$   $\chi^2$  определяется по формуле [118]:

$$\chi^1 = m \cdot (n-1) \cdot K_0, \quad \chi^2 = \frac{(m-1) \cdot \chi^1}{m \cdot (n-1) - \chi^1} \quad (\text{П.2.6})$$

Вычисленный статистический критерий сравнивается с табличным. Так как  $7 \leq n \leq 19$ , а  $m \geq 13$ , то для обработки таблиц рангов используется статистика  $\chi^2$ , подчиняющаяся F-распределению Фишера с числами степеней свободы  $\nu_1 = n-1$ ;  $\nu_2 = (n-1) \cdot (m-1)$ . Результаты расчётов сводим в таблицы П.2.5 и П.2.6.

Таблица П.2.5 – Результаты расчёта коэффициента конкордации и критерия согласия первой группы факторов

Показатели	Факторы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d_i$	-33	-70	-67	-75	26	34	41	11	-15	98	50
$d_i^2$	1089	4900	4489	5625	676	1156	1681	121	225	9604	2500
$\Sigma d_i^2$	32066										
$W$	0,32										
$\chi^2$	9,40										

Таблица П.2.6 – Результаты расчёта коэффициента конкордации и критерия согласия второй группы факторов

Показатели	Факторы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d_i$	54	-51	-40	-17	3	11	20	-11	-42	34	39
$d_i^2$	2916	2601	1600	289	9	121	400	121	1764	1156	1521
$\Sigma d_i^2$	12498										
$W$	0,12										
$\chi^2$	4,18										

Согласно табличным данным [118] для  $v_1=10$ ;  $v_2=290$  имеем  $\chi_{10,290}^2=1,83$ .

Т.к.  $\chi^2 > \chi_{10,290}^2$ , то согласованность мнений экспертов является достаточной.

Далее для каждого фактора производится расчет коэффициентов важности  $\beta_j$  ( $0 < \beta_j < 1$ ;  $j=1,2,\dots,n$ ) по формуле [116]:

$$\beta_j = \frac{v_j}{\sum_{i=1}^n v_i}, \quad v_i = 1 + \frac{x_\lambda - x_j}{x_\lambda - x_w} (v_w - 1) \quad (\text{П.2.7})$$

где  $\lambda$  – номер наименее важного фактора;

$w$  – номер наиболее важного фактора;

$v_j$  – преобразованные суммы рангов.

При расчете наименее важному фактору присваивается ранг  $v_{\lambda}=1$ , а наиболее важному фактору –  $v_w=11$ . Преобразованные суммы рангов сводятся в таблицы П.2.7 и П.2.8, а коэффициенты относительной важности в таблицы П.2.9 и П.2.10.

Таблица П.2.7 – Преобразованные суммы рангов первой группы факторов  $v_j$

Факторы										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8,57	10,71	10,54	11	5,16	4,70	4,29	6,03	7,53	1	3,77

Таблица П.2.8 – Преобразованные суммы рангов второй группы факторов  $v_j$

Факторы										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	11	9,95	7,76	5,86	5,10	4,24	7,19	10,14	2,90	2,43

Таблица П.2.9 – Коэффициенты относительной важности первой группы факторов  $\beta_j$

Факторы										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,12	0,15	0,14	0,16	0,07	0,06	0,06	0,08	0,10	0,01	0,05

Таблица П.2.10 – Коэффициенты относительной важности второй группы факторов  $\beta_j$

Факторы										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,01	0,16	0,15	0,11	0,09	0,08	0,06	0,11	0,15	0,04	0,04

**Копии документов, подтверждающих практическое использование  
результатов исследований**

УТВЕРЖДАЮ:  
Первый проректор –  
проректор МГУПС (МИИТ)  
по учебной работе,  
д.т.н., профессор



В.В. Виноградов

Акт

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационного исследования Еврееновой Надежды Юрьевны на тему: «Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок»

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационной работы Еврееновой Н.Ю.:

- Состояние и тенденции развития внутригородских и пригородно-городских перевозок в крупных городах и мегаполисах;
- Анализ современных мировых тенденций формирования и развития транспортно-пересадочных узлов;
- История и перспективы формирования и развития транспортно-пересадочных узлов в России;
- Классификация транспортно-пересадочных узлов, сформированных с участием железнодорожного транспорта

используются в учебном процессе Института управления и информационных технологий при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплинам:

- «Взаимодействие видов транспорта»;

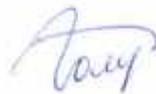
- «Мультимодальные перевозки» для студентов специальности 190401 «Эксплуатация железных дорог»;
- «Единая транспортная сеть»;
- «Логистика в грузовых и пассажирских сообщениях» для студентов направления подготовки 080200 «Менеджмент» на профилях: «Транспортная логистика» и «Управление коммерческой деятельностью на транспорте».

Заместитель Директора ИУИТ  
по учебной работе МГУПС (МИИТ)  
д.э.н., профессор



О.В. Ефимова

Учёный секретарь Учебно-методической  
комиссии ИУИТ,  
к.т.н., доцент



П.В. Голубев



ОАО «РОСЖЕЛДОРПРОЕКТ»

Щенкина ул., 42 стр.2А,  
Москва, 129110  
тел: (495) 663-00-60  
факс: (499) 262-71-08  
e-mail: info@rzdpr.ru,  
www.rzdpr.ru

*д/ч Оксана Сергеевна № 02/201*

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

[ Акт о внедрении ]

Результаты диссертационного исследования Еврееновой Надежды Юрьевны на тему: «Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок», а именно:

- научно-методические положения по моделированию сложных динамических систем с использованием логико-разностных подходов;
- принципы и предложения по формированию, развитию транспортно-пересадочных узлов, зонированию внутренних помещений транспортно-пересадочных комплексов, формируемых с участием железнодорожного транспорта,

использованы ОАО «Росжелдорпроект» при реализации программы проектирования реконструкции, строительства новых вокзальных комплексов, транспортно-пересадочных узлов, транспортно-логистических центров в Московской агломерации и получили положительную оценку.

Предложенные методы, алгоритмы, а также инструментарий рассмотрены в компании и приняты к внедрению.

Генеральный директор



*А.Н. Волков*

А.Н. Волков