Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Транспортные системы и технологии»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Институт проблем региональной экономики
Российской академии наук

Д.В. Капский
Л.А. Лосин

ТРАНСПОРТ В ПЛАНИРОВКЕ ГОРОДОВ:

Часть 2. Транспортное планирование: проектирование сети городского пассажирского транспорта

Учебно-методическое пособие

Минск
БНТУ
2021

Министерство образования Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Транспортные системы и технологии»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Институт проблем региональной экономики Российской академии наук

Д.В. Капский
Л.А. Лосин

ТРАНСПОРТ В ПЛАНИРОВКЕ ГОРОДОВ:

Часть 2. Транспортное планирование: проектирование сети городского пассажирского транспорта

Пособие
для студентов специальности
1-44 01 02 «Организация дорожного движения»
1-44 01 06 «Эксплуатация интеллектуальных транспортных систем на автомобильном и городском транспорте»

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области транспорта и транспортной деятельности

Минск
БНТУ
2021

УДК 711.7(075.8)
ББК 85.118я7
К20

Рецензенты:

директор УП «БелНИИПградостроительства» А.Н. Хижняк;

кафедра градостроительства ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет», канд. техн. наук, доцент Е.Е. Шестеров;

кафедра «Строительство дорог транспортного комплекса» ФГБОУ «Петербургский Государственный университет путей сообщения Императора Александра I», заведующий кафедрой, канд. техн. наук, доцент А.Ф. Колос

Утверждено к печати Ученым советом ИПРЭ РАН
Протокол №2 от 01 марта 2021 года.

Капский, Д. В., Лосин, Л.А.
К20 Транспорт в планировке городов. Часть 2. Транспортное планирование: проектирование сети городского пассажирского транспорта: пособие / Д.В. Капский, Л.А. Лосин. – Минск: БНТУ, 2021. – 76 с.

ISBN 978-985-550-650-9.

Пособие рассматривает вопросы проектирование сети городского пассажирского транспорта при решении задач транспортного планирования городов. Пособие будет полезно для студентов транспортных, градостроительных (урбанистических) и дорожных специальностей (направлений обучения).

УДК 711.7(075.8)
ББК 85.118я7

ISBN 978-985-550-650-9

© Капский Д. В., Лосин Л.А., 2021
© БНТУ, 2021
© Институт проблем
региональной экономики РАН, 2021

ВВЕДЕНИЕ

Непрерывный рост автомобильного парка страны, неудовлетворительное состояние дорожной сети, а также существенные недостатки в организации движения и обеспечении профессионального уровня и дисциплины водителей и пешеходов служат основными причинами дорожно-транспортных происшествий.

Качество планировочных решений, реализованных в населенных пунктах, в большой степени определяет безопасность дорожного движения в целом.

Дисциплина «Транспорт в планировке городов» является одной из профилирующих для специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». Она базируется на знании общенаучных и специальных дисциплин, в частности дисциплины «Автомобильные дороги. Дорожные условия и безопасность движения».

Цель преподавания дисциплины – формирование у студента знаний и навыков принятия решений в области городских транспортных систем, изучение принципов формирования улично-дорожной сети города и особенностей проектирования городских улиц, а также формирование четкого представления о роли планировки городских поселений и вариантах планировочных решений, путях повышения удобства и безопасности движения транспорта и пешеходов (пассажиров) за счет совершенствования планировочных решений.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен знать:

– классификацию городских поселений (и основные планировочные каркасы, их составляющие), городских улиц и проездов, их элементов, а также пешеходных путей;

– особенности проектирования транспортной сети городов, расположенных вдоль водных бассейнов и в других специфических условиях;

– этапы разработки проектной документации по разделу «Генплан и транспорт»;

уметь:

– определять транспортную подвижность населения, транспортную и пешеходную доступность объектов тяготения;

– определять перспективные направления транспортного развития городов и населенных пунктов, организовывать эксплуатацию транспортных сооружений, объектов и систем;

– принимать участие в разработке градостроительных решений и составлять комплексные схемы транспортного развития городов;

– проектировать объекты транспортного назначения, стоянки транспорта, линии трамвая и троллейбуса;

– проводить экспертизу документации, разрабатывать технические задания на проектируемый объект и осуществлять авторский надзор, проводить оценку решений;

– контролировать и проверять состояние транспортных объектов на соответствие эксплуатационных параметров требуемым нормативам, размещение технических средств организации дорожного движения в соответствии с правилами и нормами;

владеть:

– основными методами проектирования транспортных систем городов и населенных пунктов сельского типа, а также методами транспортного математического моделирования;

– методиками исследования транспортной подвижности населения, пешеходной доступности, условий пешеходного и велосипедного движения, транспортного обслуживания различных объектов тяготения и генерации транспортных и пешеходных потоков;

– методами определения потребности в местах для парковки транспортных средств, а также методами обследования работы существующих парковок;

– методами обоснования проектных решений при реконструкции, модернизации, капитальном и текущем ремонте объектов транспортного назначения.

Авторы выражают признательность кандидату физико-математических наук Федорову Владимиру Павловичу и старшему научному сотруднику Института проблем региональной экономики РАН Булычевой Неле Васильевне за помощь в подготовке пособия.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

«Внешний» транспортный район («кордон») – фиктивный транспортный район, расположенный на границе области моделирования.

Городская агломерация – обладающая отчетливыми признаками территориальной и функциональной целостности, относительно компактная в пространственном отношении совокупность, группа городских и сельских населенных пунктов (поселений) с прилегающими к ним межселенными территориями, объединенных в сравнительно обширную и сложную территориальную систему с многообразными, достаточно устойчивыми и интенсивными взаимосвязями.

Дендрит – древовидная (незамкнутая) структурная компонента транспортной сети.

Корреспонденции – устойчивые транспортные связи между двумя пунктами, для которых характерны встречное и (или) возвратное передвижения.

Матрица корреспонденций – матрица, элементами которой являются значения количества передвижений между каждой парой транспортных районов.

Передвижение – перемещение людей от пункта отправления до пункта назначения.

Подвижность населения города – показатель, характеризующий среднюю частоту передвижений населения города в течение года.

Районирование – процесс таксонирования, при котором идентифицируемые таксоны должны отвечать по меньшей мере двум критериям: критерию специфики данного таксона и критерию единства, целостности районируемых (идентифицируемых) элементов.

Самодеятельное население – население, участвующее в ежедневных трудовых передвижениях.

Субурбанизация – процесс развития пригородов больших городов и переселения населения в пригороды.

Территориальное планирование – планирование развития территорий, в том числе для установления функциональных зон, определения планируемого размещения объектов. Генеральный план – один из видов документации территориального планирования.

Транспортная сеть: совокупность транспортных связей, по которым осуществляются пассажирские и грузовые перевозки.

Транспортное районирование – способ агрегирования индивидуальных потребностей пользователей при использовании транспортной сети в некую общность по определенным параметрам для целей моделирования.

Транспортный спрос – количественно определенные потребности в перевозках и дополнительных транспортных услугах.

Функциональная зона – зона, для которой документами территориального планирования определены границы и функциональное назначение.

Целевая подвижность населения – показатель, характеризующий среднюю частоту целевых передвижений населения города в течение года.

Циклический остов – совокупность циклов транспортной сети, в которой у каждого цикла есть хотя бы одно общее ребро с другим циклом.

Элементарная подвижность населения – показатель, характеризующий среднюю частоту элементарных передвижений населения города в течение года.

Центроид (характеристический центр) – условный центр транспортного района.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Темы лекционных занятий и их содержание

1.1.1. Введение

Социально-экономические условия развития городов. Классификация городов. Город как единство трех функций – труда, быта и отдыха. Особенности городского образа жизни и присущая ему мобильность населения. Транспортные проблемы городов. Роль маршрутного пассажирского транспорта в решении транспортных проблем города.

1.1.2. Основные принципы планировки городов

Структура города и его функциональное зонирование. Промышленные районы, общественные центры, жилые районы, места отдыха, свободные и озелененные пространства. Их планировочные характеристики. Улично-дорожная сеть как элемент планировочной структуры города. Инновационное проектирование транспортной сети города как способ управления его развитием.

Классификация населенных пунктов, учет категории населенного пункта при проектировании дорожной сети. Классификация городских улиц и проездов. Типовые планировочные схемы уличной сети города: их достоинства и недостатки. Планировочный каркас и планировочная структура населенного пункта: понятие. Основные структурно-планировочные элементы жилых территорий.

Планировочные схемы уличной сети города. Влияние на планировочное решение природных условий, существующих транспортных узлов, исторически сложившихся частей города, размещения промышленных и жилых районов. Особенности транспортной сети городов, расположенных вдоль водных бассейнов и в других специфических условиях.

Уличная сеть старых городов как следствие их стихийного развития. Принципы рациональной планировки уличных сетей в городах-новостройках. Основные требования современного городского движения к дорогам уличной сети городов.

Методы сдерживания скорости и методы управления доступом на УДС.

Задачи экологической защиты городов. Роль планировочных мероприятий и зеленых насаждений в охране чистоты воздушного бассейна города. Методы снижения транспортного шума. Планировочные мероприятия.

Классификация городских улиц и дорог. Городские скоростные дороги, магистральные улицы общегородского и районного значения, улицы промышленных районов и дороги местного значения, улицы – набережные, парковые дороги, улицы грузового движения. Пересечения улиц. Площади. Транспортные развязки. Нормативы и проектирование элементов городских улиц. Понятие о подземном хозяйстве города и его увязка с улично-дорожной сетью.

1.1.3. Закономерности формирования транспортных и пешеходных потоков на улично-дорожной сети города

Транспортная подвижность населения. Понятие о транзитных, внутригородских и местных транспортных потоках. Методы расчета ожидаемой интенсивности движения по сезонам года, по дням недели, по часам суток. Структура городских транспортных потоков. Транспортные потоки высокой плотности. Пропускная способность полосы движения, улицы, системы улиц. Методы расчета. Характеристика передвижения городского населения и распределение между различными видами транспорта. Грузовые автомобильные перевозки в городах.

Приспособление уличной сети города для транспортного обслуживания. Принципы прогнозирования интенсивности городского движения. Расчет пробега автомобиля. Расчет пропускной способности улично-дорожной сети города.

Методы математического моделирования в транспортном планировании. Применение математического моделирования для решения транспортно-градостроительных задач. Принципы построения транспортной модели и ее информационно-аналитическое обеспечение. Методика математического моделирования в градостроительстве и транспортном планировании: цели, задачи, оценка вариантов, обработка и интерпретация результатов моделирования.

Технико-экономические обоснования начертания улично-дорожной сети в городах. Размеры транспортных потерь при перевозках по уличной сети. Оценка мероприятий по повышению безопасности движения. Реконструкция улично-дорожной сети города. Методы обоснования реконструкции улицы. Оценка пропускной и провозной способности улицы. Оценка безопасности движения. Приведенные затраты. Транспортная составляющая приведенных затрат. Затраты на реконструкцию и развитие уличной сети. Аудит безопасности. Методы «сдерживания» скорости движения транспортных потоков.

1.1.4. Сооружения по обслуживанию городского транспорта

Основные принципы размещения в городах транспортных предприятий, автовокзалов, станций технического обслуживания, АЗС. Транспортная доступность территории города. Уличные стоянки и парковки. Способы постановки транспортных средств на парковку и параметры машино-места. Методы обследования и основные требования при проектировании стоянок и парковок. Организация и планировочные характеристики уличных и внеуличных стоянок. Организация стоянок в городах. Автомобильные стоянки в деловой, торговой, промышленной частях города. Стоянки у административных и культурных центров города. Стоянки у спортивных сооружений. Расчет потребной емкости стоянок. Инженерное оборудование стоянок. Расчет потребных площадей. Стоянки для длительного хранения автомобилей. Гаражи и стоянки. Паркинги. Планировка площадей перед гаражами. Перспективные предложения по удовлетворению спроса на стояночные места.

1.1.5. Проектирование элементов улично-дорожной сети города

Расчет геометрических элементов плана, продольного и поперечного профиля улиц с учетом требований пассажирского транспорта. Методы обоснования размеров элементов поперечного профиля улиц. Городские грузовые дороги. Выбор трассы и расчет элементов продольного и поперечного профиля грузовых дорог. Планировка пересечений на грузовых городских дорогах. Пересе-

чения (перекрестки) в одном уровне. Островки безопасности. Обеспечение безостановочного движения транзитных потоков с помощью планировочных решений. Схемы организации движения на пересечениях городских улиц. Пропускная способность нерегулируемых пересечений. Методы оценки безопасности движения. Канализированное движение. Реконструкция и модернизация перекрестков. Планировочные решения. Типы транспортных развязок в разных уровнях. Сложность узловых пунктов на дорогах, методы ее оценки и способы снижения. Типовые принципы планировки транспортных узлов в одном уровне. Элементы поперечного профиля городской улицы, их характеристики.

Кольцевые развязки в городах. Кольцевые пересечения в одном уровне: виды и основные требования при проектировании. Виды и типы кольцевых перекрестков. Преимущества кольцевых перекрестков. Применение кольцевых перекрестков различных типов и видов на УДС городов и населенных пунктов. Расчет элементов планировки развязки. Расчет пропускной способности кольцевых развязок. Оценка транспортных потерь, методы их сокращения. Планировочные мероприятия по организации движения пассажирского транспорта пешеходного движения.

Городские транспортные развязки. Классификация транспортных развязок. Неполные городские транспортные развязки. Пропускная способность съездов неполных транспортных развязок. Полные транспортные развязки. Схемы развязок. Особенности проектирования развязок в городах, в условиях сложившейся застройки, при реконструкции уличной сети. Расчет элементов плана, продольного профиля городской полной развязки. Оценка безопасности движения. Расчет транспортной составляющей приведенных затрат. Инженерное оборудование городских транспортных развязок. Обеспечение движения городского пассажирского транспорта. Обеспечение пешеходного движения.

Размещение и основные планировочные характеристики остановочных пунктов маршрутных транспортных средств. Размещение остановочных пунктов безрельсовых и рельсовых МПТ. Заездные карманы.

Размещение и планировка контактной сети троллейбусов и трамваев. Размещение трамвайного полотна.

Пешеходное движение в городах. Особенности пешеходного движения в городах. Закономерности пешеходного движения. Интенсивность пешеходного движения, методы расчета. Скорость пешеходных потоков. Пропускная способность путей движения пешеходных потоков. Тротуары: расчет их ширины, выбор и обоснование продольных и поперечных уклонов, радиусов закругления. Пешеходные пути и пешеходные переходы. Требования по размещению пешеходных переходов на улицах населенных пунктов. Закономерности формирования пешеходных потоков в населенных пунктах. Уличные пешеходные переходы, их планировка. Расчет пропускной способности. Внеуличные пешеходные переходы. Расчет и выбор параметров лестничных сходов, пандусов, ширины тоннеля. Схемы пешеходных переходов. Оценка безопасности движения. Инженерные мероприятия по повышению безопасности движения. Городские скоростные дороги. Поперечные профили. Расчет элементов плана и продольного профиля скоростных дорог.

Мероприятия по обеспечению высокой скорости движения. Пропускная способность скоростных дорог. Местное движение на скоростных дорогах, движение пассажирского транспорта. Особенности трассирования скоростных дорог в городах. Пересечения с магистральными улицами. Транспортные развязки на скоростных городских дорогах. Глубокий ввод в город. Кольцевые магистрали.

Видимость на дорогах и улицах и способы ее улучшения. Треугольник боковой видимости: виды, параметры, прозрачность. Организация дорожного движения в зоне железнодорожных переездов.

Применение искусственных неровностей и иных мер физического сдерживания скорости движения транспортных средств. Основные мероприятия градостроительного характера для охраны окружающей среды от транспортного воздействия. Классификация требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и улиц.

Уличное освещение. Основные требования к размещению опор освещения. Нормированная освещенность.

1.1.6. Вертикальная планировка городских улиц

Методы вертикальной планировки. Исходные данные для вертикальной планировки. Метод проектных горизонталей. Обеспечение поверхностного водоотвода. Вертикальная планировка улиц с ма-

лыми продольными уклонами. Вертикальная планировка магистральных улиц, транспортных развязок. Вертикальная планировка площадей. Подсчет объема земляных работ. Картограмма земляных работ, правила ее построения.

1.1.7. Состав и содержание транспортных разделов проектных документов

Основные стадии градостроительного проектирования – генеральный план города, комплексная транспортная схема, проекты детальной планировки, рабочие чертежи. Цели и задачи проектирования транспортных систем города на каждой стадии проектирования. Решения задач организации дорожного движения на разных стадиях проектирования.

1.2. Примерный перечень тем лабораторно-практических занятий

1. Функциональное зонирование городской территории.
2. Оценка улично-дорожной сети городского района с классификацией улиц.
3. Анализ схемы планировки магистральных улиц в городе.
4. Экспериментальные исследования транспортных и пешеходных потоков.
5. Определение перспективной интенсивности движения транспорта в городе.
6. Обследование обеспеченности городского района стоянками транспорта.
7. Оценка внутриквартальной транспортной планировки.
8. Оценка условий видимости на конфликтном объекте.
9. Оценка условий работы остановочного пункта маршрутного пассажирского транспорта.
10. Формирование графа улично-дорожной сети и городского общественного транспорта и системы транспортного районирования территории.
11. Оценка и прогнозирование численности населения и количества рабочих мест города (агломерации). Формирование исходного информационного массива транспортной модели.

12. Расчет параметров генерации поездок с учетом подвижности населения, структуры городских передвижений, суточной неравномерности).

13. Расчет матрицы межрайонных корреспонденций методом балансировки (без применения модели).

14. Моделирование матрицы межрайонных корреспонденций на основе энтропийной модели.

15. Моделирование выбора способа передвижения.

16. Моделирование потокораспределения на улично-дорожной сети и в сети городского общественного транспорта.

17. Определение параметров объектов транспортной инфраструктуры на основе анализа спроса на передвижения.

1.3. Примерный перечень вопросов к Государственному экзамену

1. Классификации путей сообщения дорожного транспорта в Республике Беларусь.

2. Классификация требований к эксплуатационному состоянию автомобильных дорог и улиц.

3. Искусственные сооружения на автодорожных путях сообщения.

4. Типовые поперечные профили автомобильных дорог.

5. План трассы автомобильной дороги, основные элементы и характеристики.

6. Видимость на автомобильных дорогах и улицах и способы ее улучшения.

7. Продольный профиль автодорожных путей сообщения, основные элементы и способы проектирования.

8. Дорожные одежды, их классификация, виды покрытий.

9. Транспортно-эксплуатационные показатели дорожных одежд и покрытий.

10. Показатели транспортной работы автодорожных путей сообщения.

11. Влияние геометрических характеристик автодорожных путей сообщения на безопасность движения.

12. Транспортные развязки в разных уровнях.

13. Сложность транспортных узлов, методы ее оценки и способы снижения.

14. Пересечения автомобильных дорог и городских улиц с коммуникациями.

15. Элементы поперечного профиля городской улицы, их характеристики.

16. Кольцевые пересечения в одном уровне: виды и основные требования при проектировании.

17. Пересечения автомобильных дорог и городских улиц с железными дорогами

18. Основные принципы вертикальной планировки автомобильных дорог и улиц.

19. Освещение автомобильных дорог и улиц. Основные требования к размещению опор освещения. Нормированная освещенность.

20. Архитектурный проект. Строительный проект. Строительный проект с утверждаемой архитектурной частью.

21. Психологические принципы устройства дорожной инфраструктуры.

22. Классификация населенных пунктов, учет категории населенного пункта при проектировании дорожной сети.

23. Классификация городских улиц и проездов.

24. Функциональное зонирование городских территорий.

25. Типовые планировочные схемы уличной сети города: их достоинства и недостатки.

26. Планировочный каркас и планировочная структура населенного пункта: понятия. Основные структурно-планировочные элементы жилых территорий.

27. Пешеходные пути и пешеходные переходы. Требования по размещению пешеходных переходов на улицах населенных пунктов.

28. Основные мероприятия градостроительного характера для охраны окружающей среды от транспортного воздействия.

29. Правила размещения СТО и АЗС в населенных пунктах.

30. Требования к путям сообщений для организации автобусного движения.

31. Требования к путям сообщений для организации движения электротранспорта.

32. Классификация узловых пунктов автодорожных путей сообщения, типы узлов в одном уровне. Типовые принципы планировки транспортных узлов в одном уровне.

33. Треугольник боковой видимости: виды, параметры, прозрачность.

34. Остановочные пункты нерельсовых транспортных средств: характеристики и правила размещения.

35. Остановочные пункты рельсовых транспортных средств: характеристики и правила размещения.

36. Уличные стоянки и парковки. Способы постановки транспортных средств на парковку и параметры машино-места.

37. Методы обследования стоянок и парковок, основные требования при их проектировании. Нормативные требования для определения числа парковочных мест.

38. Организация и планировочные характеристики внеуличных стояночных площадок. Многоуровневые стоянки (паркинги), преимущества и недостатки.

39. «Перехватывающие» стоянки: назначение, общие принципы размещения, планировки, организации работы.

40. Велосипедные дорожки, полосы, велопарковки.

2. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Предлагаемое описание практических занятий основано на теории, изложенной в методическом пособии «Транспорт в планировке городов. Транспортное планирование: математическое моделирование». Методические подходы к построению сети городского общественного транспорта (ГОТ) без применения специального программного обеспечения, представленные в настоящем издании, аналогичны подходам, используемым в информационно-программных комплексах математического моделирования. Изучение и апробирование на фактическом материале таких методик «ручным» методом способствует изучению алгоритмов, лежащих в основе математических моделей, и, соответственно, приобретению навыков по подготовке исходных данных и использованию моделей на практике. Следующая часть серии «Транспорт в планировке городов» будет посвящена проектированию сети общественного транспорта методом математического моделирования, что позволит сравнить «ручной» и «автоматизированный» методы решения задач транспортного планирования.

Конечно, возможности «ручной» обработки информации при построении матриц транспортного спроса и картограмм интенсивности потоков сильно ограничены ввиду больших объемов вычислений, особенно в случае рассмотрения крупных и крупнейших городов и агломераций. Поэтому в качестве примера расчетной схемы в данном издании рассматривается небольшой город (проектная численность населения по Генеральному плану – около 50 тыс. жителей), при этом представленные в издании пояснения позволяют распространить методические подходы и на более крупные города. Структура предлагаемой расчетной схемы также рассматривается в упрощенном составе. В частности, приводится расчетная схема только для системы ГОТ, хотя данный подход может с некоторыми изменениями использоваться и для расчета интенсивности движения автомобильного транспорта на улично-дорожной сети. Главное, предлагаемый подход учитывает, по возможности, все основные этапы транспортного планирования городов и агломераций.

В практическом плане, несмотря на упрощенные положения, лежащие в основе предлагаемого подхода, такая схема может применяться для анализа существующей транспортной системы и разработки проектных решений по развитию ГОТ в тех случаях, когда применение программных средств транспортного моделирования неоправданно в силу их дороговизны и значительных трудозатрат. Иногда простые методики численной оценки оказываются востребованными для получения быстрых результатов, которые могут быть положены в основу предложений, разрабатываемых в составе документации территориального и транспортного планирования, а также при проведении научных исследований пространственного развития.

В разделе 2.1 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»* представлен следующий порядок классической схемы расчета интенсивности потокораспределения, ставшей своеобразным стандартом для всех специалистов, занимающихся данной темой:

- генерация поездок;
- распределение поездок по транспортным районам (построение матрицы межрайонных корреспонденций);
- выбор способа передвижения;
- распределение поездок по сети (расчет потокораспределения в сети).

Данная последовательность вычислительных процедур применима как для оценки современного состояния транспортных систем городов, так и для получения расчетных показателей функционирования транспортных систем на некоторую перспективу. В практической деятельности по градостроительству и транспортному планированию горизонт такой перспективы соответствует, как правило, расчетному сроку, на который разрабатывается документация. Именно такой подход и рассмотрен в настоящем издании: расчеты параметров функционирования системы ГОТ осуществляются на базе оценки спроса на передвижения, который соответствует перспективной ситуации, определенной генеральным планом города.

Существует достаточно много аналогичных методик расчета транспортных систем городов, различающихся подробностью рассмотрения и набором учитываемых факторов. Многие их таких ме-

тодик предлагаются для курсовых работ в различных высших учебных заведениях, направления обучения в которых связано с градостроительством и транспортным планированием. В основе описываемой в настоящем издании расчетной схемы лежат подходы, базовые положения которых разработаны М.С. Фишельсоном [1] – основателем ленинградской (петербургской) научной школы транспортно-градостроительного планирования. Разработанные им методические подходы адаптированы к современным условиям на основе практического опыта авторов данного издания. Основа методики – оценка (прогнозирование) транспортного спроса, определяющего проектные и организационные решения в части ГОТ. При этом важно понимать, что параметры транспортного спроса сами могут являться объектом управления, но данный аспект находится вне зоны рассмотрения рассматриваемой методики.

Существенным допущением многих разработанных методик проектирования систем общественного транспорта является то, что они ориентированы на создание систем ГОТ в новых городах, планировочная структура которых задается в рамках разработки таких проектов. С точки зрения обучения навыкам транспортного планирования такой подход оправдан, но на практике появление новых городов – крайне редкое событие в современном градостроительстве. Поэтому в практической работе полученная в результате расчетов «идеализированная» транспортная система должна быть откорректирована с учетом особенностей сложившейся структуры ГОТ и маршрутной сети, а также возможностей по реализации разработанных предложений.

Предлагаемая в издании расчетная схема состоит из следующих этапов:

1. Анализ системы расселения, планировочной структуры и транспортной системы города.
2. Определение границы рассмотрения.
3. Построение системы транспортного районирования территории.
4. Прогноз уровня подвижности населения на общественном транспорте.
5. Предварительное проектирование сети ГОТ.
6. Прогноз численности населения по транспортным районам.

7. Прогноз количества мест приложения труда по транспортным районам.

8. Расчет параметров генерации поездок на общественном транспорте.

9. Расчет матрицы межрайонных корреспонденций.

10. Построение картограммы (эпюры) пассажиропотоков.

11. Корректировка сети ГОТ.

12. Расчет парка подвижного состава ГОТ.

Результатом предлагаемой методики является определение базовых параметров функционирования системы городского общественного транспорта: средней дальности поездок, объема парка подвижного состава, а также построение перспективной картограммы пассажиропотоков на транспортной сети, которая является основой для принятия проектных решений в части развития ГОТ. Дополнительно представлены подходы по распределению перевозок по видам общественного транспорта, расчету маршрутной сети, оценке эффективности транспортной системы.

В качестве исходной информации выступают документация территориального планирования (генеральный план), определяющая направления развития городской территории, а также документация социально-экономического развития, содержащая, в частности, экономические прогнозные показатели и прогнозную структуру занятости населения. Также в качестве исходной информации следует упомянуть параметры существующей системы ГОТ и показатели транспортной подвижности. Указанные параметры образуют комплекс факторов, определяющих количество совершаемых передвижений и их распределение по транспортной сети города: потокообразующие, транспортные и поведенческие факторы (см. раздел 2.1 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*).

3. ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ГОРОДА (АГЛОМЕРАЦИИ)

3.1. Анализ системы расселения. Оценка границ замкнутой системы расселения (агломерации)

Методы оценки транспортного спроса как основы проектирования системы ГОТ базируются на исследовании замкнутой системы передвижений в городах. Границы такой системы, как правило, строятся на основе изучения структуры расселения в пределах агломераций (подробно данный подход изложен в разделе 3.3.2 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*). Выделение территорий городских агломераций можно производить на основе следующих критериев [2, 17]:

- высокая территориальная концентрация населения, производственной деятельности и объектов сферы услуг при значительной неоднородности территории по функциям и их плотности;
- достаточно высокая плотность городского населения и отсутствие значительных разрывов застройки;
- благоприятная временная транспортная доступность от окраин до центра агломерации (не более 1,5 часов для крупнейшего города; 1 час для областных центров; 45 минут – для районных центров), наличие транспортных коридоров, обеспечивающих успешное взаимодействие разных видов транспорта;
- значительная доля населения городских населенных пунктов пригородной зоны от общей численности городского населения агломерации (не менее 10 %);
- наличие массовых маятниковых трудовых, учебных, культурно-бытовых, деловых и рекреационных миграций;
- значительная доля трудоспособного населения, проживающего в пригородной зоне, но работающего в центре (ядре) агломерации (не менее 15 %);
- достаточно тесные связи по социально-бытовой и инженерно-технической инфраструктуре;

• преобладающая взаимодополняемость видов деятельности и территориальных единиц в городской агломерации (что предопределяет развитие тесных связей внутри агломерации);

• относительная целостность рынков труда, недвижимости, земли в пределах агломерации.

Существуют также методики численных расчетов границ зон влияния на основе средневзвешенных показателей интенсивности связей. На рис. 3.1 представлено схематичное представление границ зоны влияния (агломерации) города-центра [3, 17].

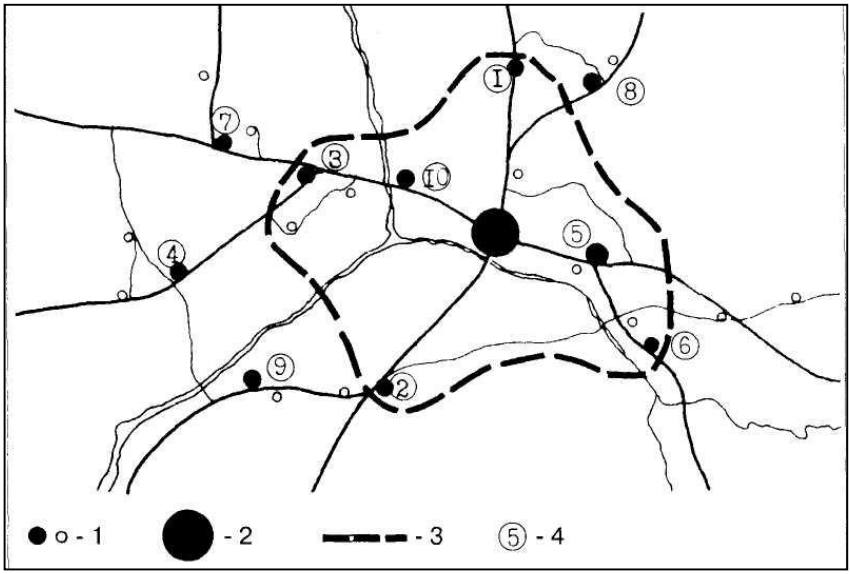


Рис. 3.1. Определение границ зоны влияния города-центра (по [3]):
1 – населенные пункты; *2* – город-центр; *3* – границы зоны влияния города-центра; *4* – номер населенного пункта

На практике сбор информации о территории и транспортной системе в границах агломерации (зоны влияния) может вызывать определенные затруднения, так как статистические данные и данные иных информационных источников группируются по административно-территориальным единицам, границы которых, как правило, не совпадают с границами агломераций. Кроме того, при расчете системы

общественного транспорта на перспективу используемые в качестве источника исходной информации документы территориального планирования также разрабатываются в пределах административных или перспективных границ. Таким образом, процедура сбора исходной информации может потребовать изучения документации на смежные административно-территориальные единицы, находящиеся в границах агломерации. Отдельно следует обратить внимание на ситуации, при которых рассматриваемый город входит в состав агломерации более крупного города-центра. В этих случаях расчет спроса на передвижения должен учитывать внешние по отношению рассматриваемого города передвижения.

В целом, оценка городской территории с точки зрения потребности в транспорте может производиться на основе ряда показателей. В Приложении 1 приведен перечень таких показателей оценки.

3.2. Построение схемы транспортного районирования территории

Для оценки (прогнозирования) спроса на передвижения рассматриваемая территория разбивается на расчетные транспортные районы (общие принципы транспортного районирования представлены в разделе 3.3.1 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*). Суммарное количество транспортных районов в первом приближении можно определить исходя из расчета: один транспортный район на 10 тысяч жителей (хотя при транспортном районировании не нужно стремиться к равенству районов по численности населения). Кроме того, существуют рекомендации, определяющие максимальное количество транспортных районов для городов разной величины; в частности, такие рекомендации представлены в Руководстве по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах (2003), приложение 2. Важно отметить, что указанный норматив относится, в первую очередь, к методике районирования для решения расчетных задач в сфере индивидуального транспорта.

Поскольку мы рассматриваем расчетную схему, сразу ориентированную на перспективную ситуацию, в качестве основы для построения системы транспортного районирования должна выступать схема функционального зонирования генерального плана (рис. 3.2).

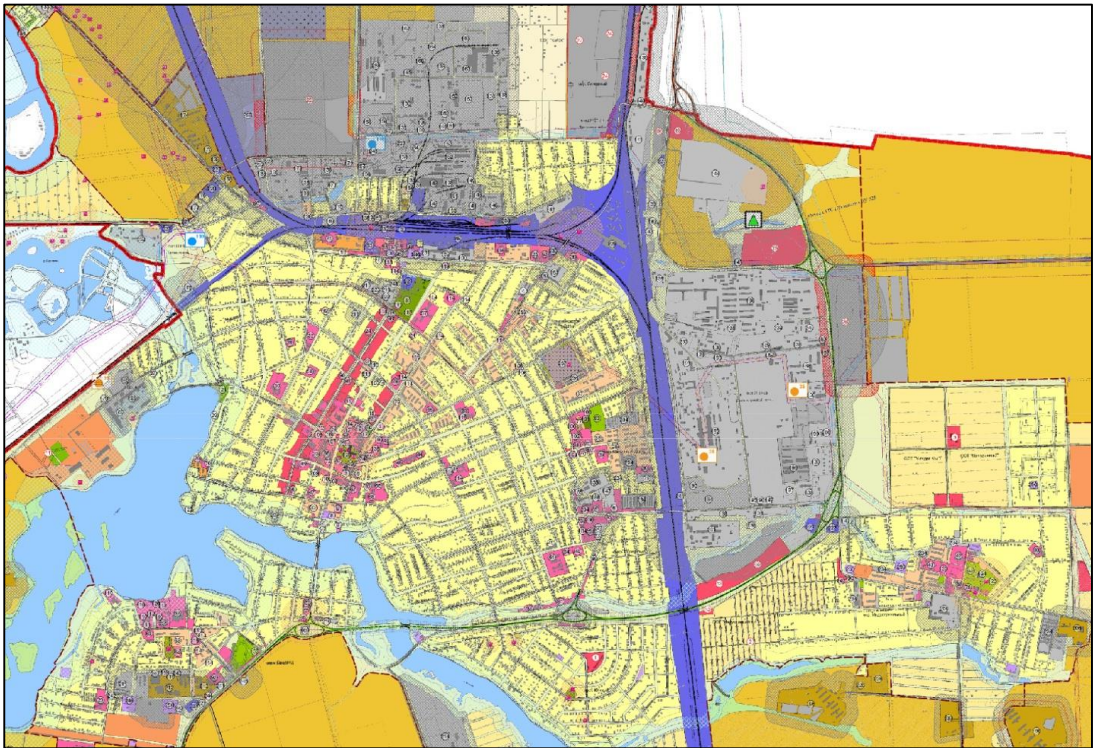


Рис. 3.2. Схема функционального зонирования Генерального плана города

Рекомендуется следующая последовательность в определении границ транспортных районов [17–19]:

1. Выделить внешнюю границу системы транспортного районирования.

2. Выделить основные линейные гидрографические объекты (крупные реки, цепочки озер и т.д.).

3. Выделить элементы рельефа, разделяющие территорию на изолированные участки (горы, цепочки холмов и т.д.).

4. Выделить линии железных дорог (железнодорожные линии общего пользования).

5. Выделить крупные разрывы между застроенными и предполагаемыми к застройке территориями.

Данный подход позволит получить укрупненную систему районирования. Исходя из общего количества транспортных районов оставшуюся территорию следует разделить путем определения зон тяготения «центров тяжести» (центроидов) районов, которые размещаются на основных элементах улично-дорожной сети и в ее узлах. В некоторых случаях целесообразно также придерживаться принципа функциональной однородности района (рис. 3.3).

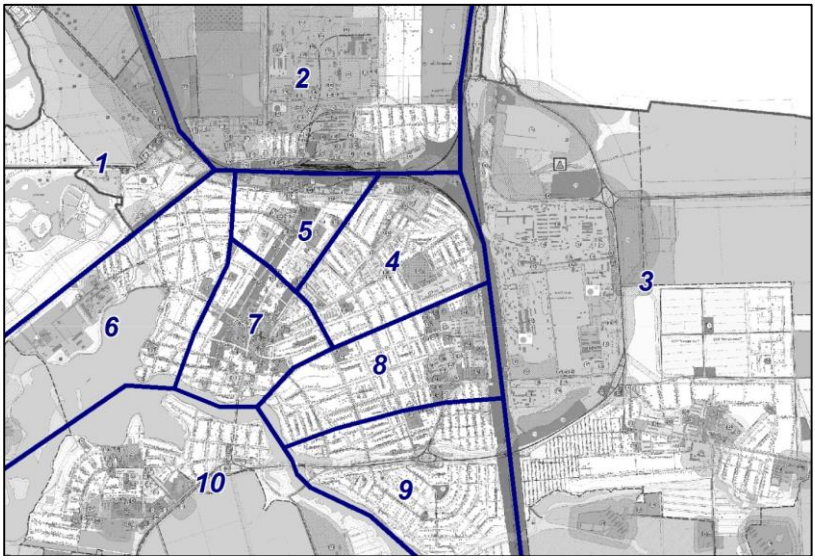


Рис. 3.3. Система транспортного районирования

Все транспортные районы должны иметь идентификационные номера, последовательность нумерации районов обычно осуществляется по правилу меандра или спирали. После разбивки территории на районы в каждом из них должен быть определен центроид (характеристический центр). В качестве такого «центра тяжести» может быть принят геометрический центр площади района или, в случае значительной неравномерности функционального зонирования, центр ареала жилой или производственной застройки. Внешние районы (кордоны) в рассматриваемой расчетной схеме не учитываются.

3.3. Прогноз уровня подвижности населения на городском общественном транспорте

Переход от численности населения и количества мест приложения труда к показателям «отправлений» и «прибытий» в единицу времени может осуществляться через величину подвижности на общественном транспорте. Подробно о подвижности населения изложено в разделе 2.2.1 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*.

В целом, объем отправлений и прибытий для трудовых передвижений в утренний максимальный час определяется по формулам:

$$P = N\, k_{\text{сам}} B_{\text{гот}}\, k_{\text{час}}/365, \tag{3.1}$$

$$Q = M\, B_{\text{гот}}\, k_{\text{час}}/365, \tag{3.2}$$

где N – объем отправлений в утренний максимальный час, пасс. в ч;

M – объем прибытий в утренний максимальный час, пасс. в ч;

$k_{\text{сам}}$ – доля самодеятельного населения;

$B_{\text{гот}}$ – уровень подвижности населения на ГОТ, поездок на жителя в год;

$k_{\text{час}}$ – доля утреннего максимального часа в сутках.

Сама величина подвижности на общественном транспорте зависит от ряда факторов, таких как уровень автомобилизации, плотность населения, средний годовой доход на душу населения (см. раздел 2.2.1 части 1 *«Транспортное планирование: математиче-*

ское моделирование»). На практике для оценки величины подвижности можно использовать эмпирические зависимости, например:

$$\mathrm{B_{гот}} = 391 + 231 \cdot \ln \delta_{\mathrm{н}} - 34{,}9 \cdot \left(0{,}705 \cdot e^{0{,}0057\mathrm{A}}\right) +$$

$$+ 0{,}982 \cdot \left(0{,}705 \cdot e^{0{,}0057\mathrm{A}}\right)^2, \qquad (3.3)$$

где $\delta_{\mathrm{н}}$ – плотность населения, тыс. жит./кв.км;

А – уровень автомобилизации населения, авт. на 1000 жит.

Показатели подвижности в городах меняются со временем; ниже приведены некоторые методы прогнозирования этих показателей [4]:

1. Моделирование рядов динамики транспортной подвижности. Данный метод предполагает экстраполяцию с учетом основных факторов, таких как динамика коэффициента пересадочности, влияние временного населения, изменение транспортного поведения и т.д.

2. Моделирование на основе теории минимизации транзакционных издержек в перемещениях. Транзакционные потери, связанные с осуществлением внутригородской подвижности, имеют временную и стоимостную составляющие, причем стоимость перемещения является платой за экономию его времени, что позволяет говорить о единой сущности данных составляющих. Данный метод основан на положениях институциональной экономической теории, которая трактует транзакционные издержки как эквивалент стоимости дополнительной услуги, позволяющей сократить время транзакции.

3. Метод сравнительных аналогий.

3.4. Общие принципы формирования транспортной сети города

Транспортные сети городов теснейшим образом связаны с его территориальной структурой. Поскольку жизнедеятельность человека в современном городе связана с постоянными перемещениями по различным целям, любой город можно рассматривать как совокупность объектов притяжения, связанных сетью городских путей сообщения, на которой работают различные виды транспорта [5]. Транспортные сети городов можно классифицировать по типам геометризированных планировочных схем, основные из которых:

радиальная, радиально-кольцевая, прямоугольная, треугольная и прямоугольно-диагональная, а также свободная (рис. 3.4). Кроме того, в городах часто встречается комбинированная планировочная схема, объединяющая элементы основных схем. Например, комбинированная схема часто встречается в крупных городах, в которых исторические районы имеют радиально-кольцевую схему, а новые районы – прямоугольную.

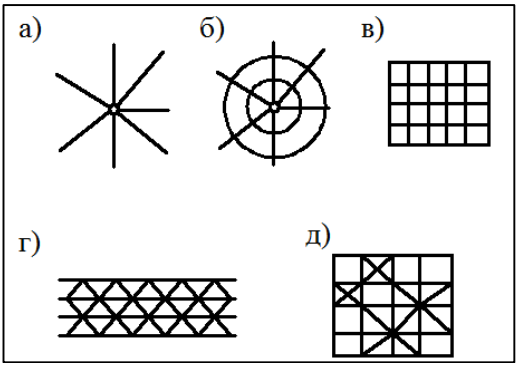


Рис. 3.4. Типы схем транспортных сетей:
а – радиальная; *б* – радиально-кольцевая; *в* – прямоугольная;
г – треугольная; *д* – прямоугольно-диагональная

Основная характеристика типов схем транспортных сетей приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Характеристика типов схема транспортных сетей (по [6])

Тип схемы	**Основная характеристика**
1	*2*
Радиальная	Наиболее часто встречается в старых городах. Затруднена связь между периферийными районами города, неизбежна перегрузка центра. Достоинство схемы – наикратчайшая связь районов города с центром

Окончание таблицы 3.1

1	*2*
Радиально-кольцевая	Кольцевые магистрали снимают значительную транспортную нагрузку с центра и создают удобные связи районов города между собой. В крупнейших городах движение по кольцевым направлениям, расположенным ближе к центру, приводит к их перегрузке, в то время как периферийные кольцевые направления оказываются недогруженными
Прямоугольная	Встречается преимущественно в сравнительно молодых городах. Достоинства схемы – в простоте, возможности рассредоточения транспорта. Недостаток схемы – в большой протяженности маршрутов между диагонально противоположными районами
Треугольная	Встречается в отдельных исторически сложившихся районах старых городов. Образуются в большом количестве узлы с пересечением многих магистралей под острыми углами, что затрудняет организацию движения транспорта и размещение застройки
Прямоугольно-диагональная	Сохраняются достоинства прямоугольной схемы и улучшаются связи между диагонально расположенными периферийными районами. Появление узлов со многими входящими улицам, в том числе под углом, затрудняет организацию движения транспорта и размещение застройки

Как было указано выше, транспортные сети городов характеризует неразрывная связь с окружающей городской территорией, географией распределения районов проживания населения, мест приложения труда, иных пунктов тяготения. Несмотря на имеющуюся типологию транспортных сетей, каждый город индивидуален и требует изучения его территориальной структуры, оказывающей непосредственное влияние на их формирование.

Помимо классификации транспортных сетей к их важным свойствам следует отнести морфологические характеристики, т.е. характеристики формы и строения [7]. Если представить транспортную сеть в виде графа (данный подход применяется, в том числе, в транспортном моделировании), можно выделить его структурные элементы, включающие замкнутые контуры – циклы – и линейные участки – ветки. В свою очередь, структурные элементы могут быть объединены в структурные компоненты, делящиеся на три типа:

- древовидные, состоящие только из веток;
- циклические, включающие и циклы, и ветки;
- ячеистые, состоящие только из циклов.

Для анализа транспортных сетей выделяется ряд типологических структур. Например, под циклическим остовом понимают совокупность циклов, в которой у каждого цикла есть хотя бы одно общее ребро с другим циклом. Дендритом называется древовидная структурная компонента сети; в зависимости от своего положения относительно циклических компонентов дендриты подразделяются на соединительные, внутренние и внешние. Сложность сети, в свою очередь, характеризуется числом топологических ярусов – замкнутых колец циклов.

Уровень развития транспортной сети города может быть оценен на основе ряда показателей ее функционирования. Перечень таких показателей приведен в Приложении 2.

3.5. Предварительное формирование топологической структуры сети ГОТ

Одной из процедур расчетной схемы является построение предварительной сети ГОТ (в предлагаемом примере рассматриваются только автобусы). На данной предварительной сети будет производиться построение картограммы пассажиропотоков.

Принципы построения предварительной сети следующие:

1. Все основные пункты тяготения пассажиров (вокзалы, аэропорты, крупные торговые комплексы, административные здания, зоны отдыха и т.д.), жилые микрорайоны и производственные зоны связываются транспортными линиями, по возможности, по кратчайшим расстояниям.

2. Линии транспорта по возможности трассируются по магистральным и основным жилым улицам.

3. Основные линии транспорта проектируются по магистральным улицам и улицам, допускающим пропуск ГОТ.

4. Необходимо обеспечить минимизацию длины сети ГОТ при условии максимального обслуживания территории города.

Кроме того, расстояние между линиями ГОТ нужно принимать таким, чтобы величина пешеходного подхода к ним не превышала, как правило, 350–800 метров (см. табл. 1.1 ТКП 116). Необходимо также избегать сложных транспортных узлов, ограничивающих пропускную способность в узлах пересечения.

На рис. 3.5 представлена предварительная сеть ГОТ, а также территория, удовлетворяющая требованиям по обеспечению 500-метровой пешеходной доступности линий ГОТ.

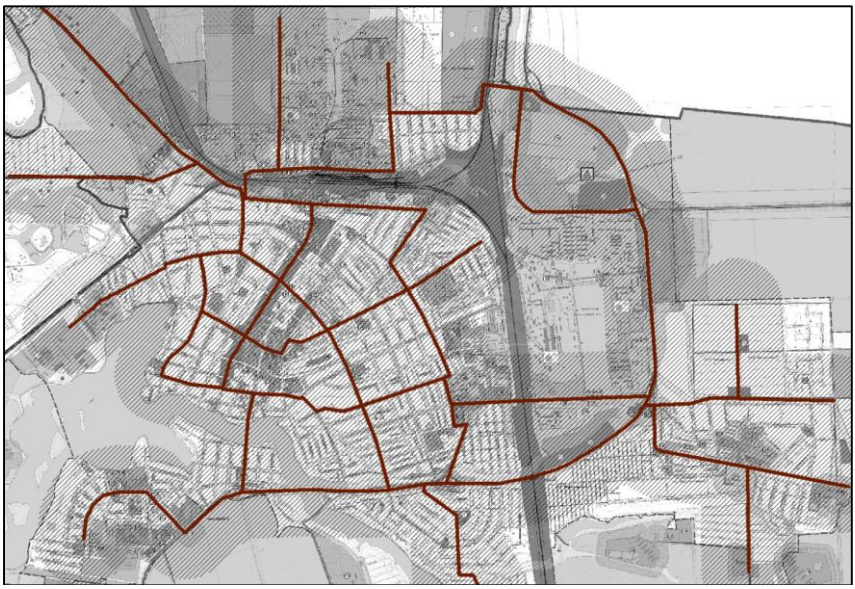


Рис. 3.5. Схема предварительной сети городского общественного транспорта (штриховкой показаны зоны 500-метровой пешеходной доступности)

Для проверки целесообразно вычислить плотность сети ГОТ, которая должна находиться в пределах норматива:

$$\delta_л = L_{застр}/S_{застр} = 1{,}5 – 2{,}5 \text{ км/кв.км}, \quad (3.4)$$

где $L_{застр}$ – суммарная длина сети в пределах застроенных или предполагаемых к застройке территорий, км;

$S_{застр}$ – площадь застроенных или предполагаемых к застройке территорий, кв.км.

В рассматриваемом примере плотность сети ГОТ – 58,5/17,1 = 3,4 км/кв.км, что превышает рекомендуемые значения. Но поскольку в городе преобладает усадебная застройка, то такое превышение может быть оправдано с учетом необходимости соблюдения нормативной пешеходной доступности (см. рис. 3.5). Практически все территории жилой и производственной застройки находятся в зоне нормативной пешеходной доступности.

4. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ ГЕНЕРАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ

4.1. Общие подходы к формированию исходных информационных массивов

После разбиения рассматриваемой территории на транспортные районы необходимо поставить им в соответствие данные, определяющие потокообразование и потокопоглощение в сети ГОТ, т.е. рассчитать параметры генерации поездок. Эта процедура, первая в четырехступенчатой схеме транспортной модели, предполагает переход от численности населения, количества мест приложения труда, другой информации, характеризующей потокообразование и потокопоглощение, к «отправлениям» и «прибытиям» пассажиров в единицу времени.

При построении транспортных моделей учитывается, как правило, несколько видов передвижений (подробнее о структуре городских передвижений – см. раздел 2.2.2 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*). Часто при расчетах ограничиваются тремя видами – трудовые (включая учебные), деловые и культурно-бытовые (рекреационные передвижения характеризуются совершенно другим распределением интенсивности в течение дня и по дням недели, сильно зависят от сезонности, поэтому при расчете на будний день ими часто пренебрегают). Для учета структуры передвижений всех жителей города подразделяют на группы, каждой из которых соответствуют свои особенности (табл. 4.1). В данной таблице число передвижений принято из расчета пятидневной работы трудящихся основной градообразующей группы, шестидневной недели градообслуживающей группы и с учетом населения, приезжающего из пригорода.

Предлагаемая далее упрощенная расчетная схема на данном этапе ограничивается только трудовыми передвижениями, т.е. передвижениями «дом – работа», являющимися наиболее значимыми в утренний максимальный час. Кроме того, именно трудовые передвижения являются наиболее критичными с точки зрения организации транспортных систем городов, так как значения затрат времени на их осуществление являются нормируемой величиной в градостроительстве.

Таблица 4.1

Число передвижений различных групп населения

Группы населения	**Среднее число передвижений в год на одного жителя**		
	трудовые (включая учебные)	деловые	культурно-бытовые
Градообразующие и градообслуживающие кадры	550	40	300
Учащиеся высших, средних специальных учебных заведений и технических училищ	480	–	500
Несамодеятельное население	–	–	350

Таким образом, на первом этапе необходимо определить численность населения и количество мест приложения труда по каждому транспортному району на перспективу, соответствующую расчетному сроку генерального плана рассматриваемого города.

4.2. Поиск и систематизация информации о проектной численности населения и количестве мест приложения труда на основе документации территориального планирования

Прогнозирование численности населения по транспортным районам логично производить на основе информации о современном распределении населения по территории методом экстраполяции. Исходная информация по современному состоянию может быть получена на основе данных государственной статистики, наличия жилья (объёмов жилищного фонда с учетом коэффициента семейности) данных избирательных комиссий, другой доступной официальной информации. Анализ государственных ресурсов, характеризующих распределение населения в соответствии с регистрацией по месту жительства, несмотря на кажущуюся очевидность их использования в расчетах, может привести к большой погрешности полученных результатов, особенно для районов массового жилищного строительства, где высок процент жителей, не регистрирующихся по месту

фактического проживания. К большой погрешности также приводит отсутствие адекватного учета проживания в арендованной недвижимости, наличие в ряде городов большого числа временного населения и т.д. В связи с этими особенностями, а также возможными затруднениями в получении таких данных, дополнительным источником информации о проживающих могут стать результаты анализа структуры жилищного фонда. Такой подход позволяет оценить плотность проживающего населения в зависимости от этажности и типологии застройки.

После распределения современного населения по транспортным районам в соответствии с изложенными выше подходами можно спрогнозировать его будущее состояние на основе имеющихся трендов. Для учета тенденций, характерных для различных районов, поясов или планировочных направлений города, целесообразно провести зонирование территории по типу среды и характеру возможных изменений этой среды в перспективе. Так, разные пояса городских агломераций, характеризуются, как правило, различными тенденциями в динамике численности населения, что характерно для процесса субурбанизации, который наблюдается во многих городах, особенно крупных и крупнейших. В качестве исходной информационной базы для такого анализа, помимо информации о современном распределении населения, выступают данные о площади и структуре жилищного фонда, сведения о выданных разрешениях на строительство жилых домов, материалы проектов планировки территории, данные об инвестиционных намерениях и т.д.

Процедура прогнозирования количества мест приложения труда во многом аналогична процедуре прогнозирования численности населения. Но если поиск информации о распределении населения по территории, как было указано выше, сопряжен с определенными сложностями, то поиск информации о размещении рабочих мест еще более затруднен в силу особенностей регистрации предприятий и организаций по юридическим адресам. Кроме того, дополнительные сложности связаны со значительным числом работающих по временным трудовым договорам или по совместительству, с различным графиком работы и т.д. Поэтому даже при наличии информации о юридических и фактических адресах и численности работников по организациям, уровень погрешности результатов будет очень велик.

На практике для оценки распределения мест приложения труда (мест работы и учебы), так же как для оценки численности населения, можно воспользоваться методом экстраполяции относительно современного состояния. Поскольку рабочие места привязаны, как правило, к производственным и общественно-деловым зонам, для такой оценки необходима информация о площадях, структуре и динамике нежилого фонда, располагающегося в этих зонах. Далее, исходя из площади нежилого фонда различного функционального назначения по транспортным районам и на основании сведений о величине площади нежилого фонда, приходящейся на одного работника, можно оценить количество рабочих мест. Отдельно при такой оценке следует рассмотреть распределение по транспортным районам мест учебы в высших и средних специальных учебных заведениях, что, как правило, не вызывает больших затруднений.

Особенности формирования описываемых информационных массивов представлены в разделе 3.3.3 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*).

4.3. Прогноз численности населения по транспортным районам

Рассмотрим упрощенную схему прогнозирования численности населения по транспортным районам, основанную на анализе функциональной структуры города, задаваемой генеральным планом; преимуществом такого подхода является отсутствие необходимости в предварительном определении современных показателей территориального размещения населения. Численность населения зависит, в первую очередь, от плотности, которая, в свою очередь, определяется типом жилой застройки, определяемой схемой функционального зонирования в составе генерального плана города. Рассмотрим три типа жилой застройки (под жилой застройкой подразумевается как существующая, так и предполагаемая к размещению в соответствии с генеральным планом, то есть допускается, что проектные решения генерального плана будут полностью реализованы к расчетному сроку), каждый из которых характеризуется своим значением средней плотности населения. Значения средней плотности могут присутствовать в материалах генерального плана города, но в первом приближении их можно принять по данным табл. 4.2.

Таблица 4.2

Рекомендуемые значения плотности населения
по функциональным зонам

Функциональная зона	**Средняя плотность населения, чел./га**
Зона средне- и многоэтажной жилой застройки (5-9 этажей)	250
Зона малоэтажной жилой застройки (2-4 этажа)	150
Зона усадебной застройки	25
Зона застройки повышенной этажности (более 10 этажей)	300

На следующем этапе необходимо выделить зоны жилой застройки в соответствии с принятой типологией (рис. 4.1) во взаимосвязи с системой транспортного районирования. Важно, чтобы границы выделяемых зон не пересекали границы транспортных районов; в таких случаях территории зон необходимо разбивать по этим границам.

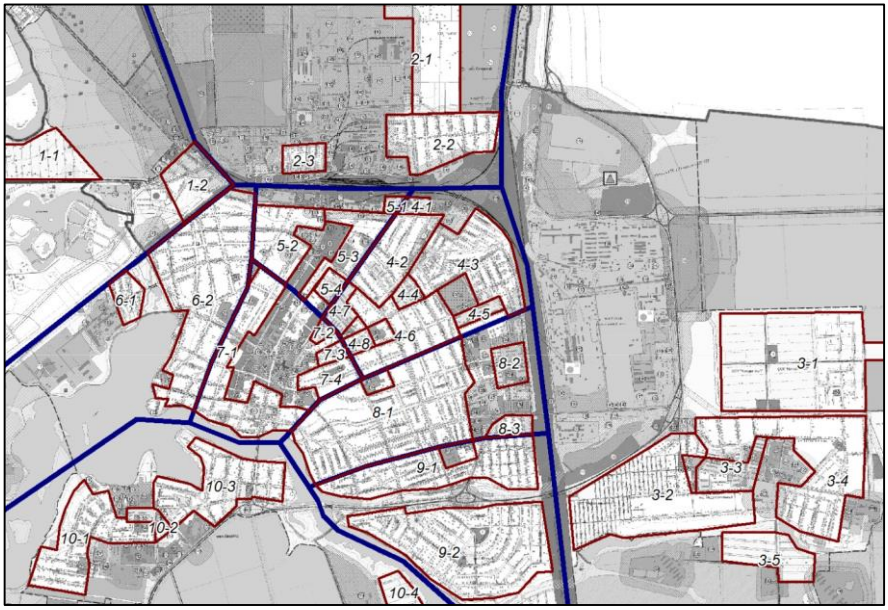


Рис. 4.1. Размещение жилых зон

Численность населения может быть получена по следующей формуле:

$$N_i = \delta_{\text{н}}' S_i, \quad (4.1)$$

где N_i – численность населения в районе (зоне) i, тыс. жит.;

$\delta_{\text{н}}$ – плотность населения, тыс. жит./кв.км;

S_i – площадь района (зоны) i, кв.км.

Площадь каждой зоны рассчитывается по материалам генерального плана с учетом масштаба чертежа. Полученные результаты расчета представлены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Расчет численности населения по транспортным районам

Транспортный район	**Номер зоны жилой застройки**	**Тип застройки**	**Площадь, га**	**Плотность, чел./га**	**Население, чел.**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1	1-2	усадебная	37,90	20	758
1	1-1	усадебная	31,79	20	636
2	2-1	усадебная	60,70	20	1214
2	2-2	усадебная	54,92	20	1098
2	2-3	усадебная	12,91	20	258
3	3-1	усадебная	153,39	20	3068
3	3-2	усадебная	121,97	20	2439
3	3-3	малоэтажная	22,91	100	2291
3	3-4	усадебная	114,32	20	2286
3	3-5	усадебная	33,06	20	661
4	4-1	малоэтажная	4,97	100	497
4	4-2	усадебная	44,37	20	887
4	4-3	усадебная	71,08	20	1422
4	4-4	малоэтажная	6,71	100	671
4	4-5	малоэтажная	7,03	100	703
4	4-6	усадебная	53,78	20	1076
4	4-7	малоэтажная	9,77	100	977
4	4-8	малоэтажная	5,58	100	558

Окончание таблицы 4.3

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
5	5-1	малоэтажная	2,98	100	298
5	5-2	усадебная	39,26	20	785
5	5-3	усадебная	30,04	20	601
5	5-4	малоэтажная	6,99	100	699
6	6-1	усадебная	12,62	20	252
6	6-2	усадебная	139,23	20	2785
7	7-1	усадебная	71,16	20	1423
7	7-2	малоэтажная	3,59	100	359
7	7-3	малоэтажная	5,16	100	516
7	7-4	усадебная	16,34	20	327
8	8-1	усадебная	154,82	20	3096
8	8-2	малоэтажная	13,68	100	1368
8	8-3	усадебная	8,43	20	169
9	9-1	усадебная	76,53	20	1531
9	9-2	усадебная	135,52	20	2710
10	10-1	усадебная	62,29	20	1246
10	10-2	малоэтажная	7,58	100	758
10	10-3	усадебная	64,46	20	1289
10	10-4	усадебная	12,83	20	257
				Итого	**41969**
				По генеральному плану	**49200**

Просуммировав значения численности населения по всем транспортным районам, можно сравнить полученное значение с проектным показателем численности населения, определенным генеральным планом города (эти сведения приведены в технико-экономических показателях текстовой части генерального плана). В большинстве случаев расчетная сумма численности населения не совпадет с данными генерального плана, поэтому на следующем этапе необходимо путем корректировки значений плотности достичь совпадения расчетных значений с показателями генерального плана (табл. 4.4).

По результатам расчетов значения численности населения по транспортным районам сведены в табл. 4.5.

Таблица 4.4

Корректировка численности населения по транспортным районам

Транс-портный район	**Номер зоны жилой застройки**	**Тип застройки**	**Площадь, га**	**Плотность, чел./га**	**Население, чел.**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1	1-2	усадебная	37,90	23	872
1	1-1	усадебная	31,79	23	731
				Итого по району	**1603**
2	2-1	усадебная	60,70	23	1396
2	2-2	усадебная	54,92	23	1263
2	2-3	усадебная	12,91	23	297
				Итого по району	**2956**
3	3-1	усадебная	153,39	23	3528
3	3-2	усадебная	121,97	23	2805
3	3-3	малоэтажная	22,91	124	2841
3	3-4	усадебная	114,32	23	2629
3	3-5	усадебная	33,06	23	760
				Итого по району	**12564**
4	4-1	малоэтажная	4,97	124	616
4	4-2	усадебная	44,37	23	1021
4	4-3	усадебная	71,08	23	1635
4	4-4	малоэтажная	6,71	124	832
4	4-5	малоэтажная	7,03	124	872
4	4-6	усадебная	53,78	23	1237
4	4-7	малоэтажная	9,77	124	1211
4	4-8	малоэтажная	5,58	124	692
				Итого по району	**8116**
5	5-1	малоэтажная	2,98	124	370
5	5-2	усадебная	39,26	23	903
5	5-3	усадебная	30,04	23	691
5	5-4	малоэтажная	6,99	124	867
				Итого по району	**2830**
6	6-1	усадебная	12,62	23	290
6	6-2	усадебная	139,23	23	3202
				Итого по району	**3493**
7	7-1	усадебная	71,16	23	1637
7	7-2	малоэтажная	3,59	124	445

Окончание таблицы 4.4

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
7	7-3	малоэтажная	5,16	124	639
7	7-4	усадебная	16,34	23	376
				Итого по району	**3097**
8	8-1	усадебная	154,82	23	3561
8	8-2	малоэтажная	13,68	124	1696
8	8-3	усадебная	8,43	23	194
				Итого по району	**5451**
9	9-1	усадебная	76,53	23	1760
9	9-2	усадебная	135,52	23	3117
				Итого по району	**4877**
10	10-1	усадебная	62,29	23	1433
10	10-2	малоэтажная	7,58	124	940
10	10-3	усадебная	64,46	23	1482
10	10-4	усадебная	12,83	23	295
				Итого по району	**4150**
				Итого	**49137**
				По генеральному плану	**49200**

Таблица 4.5

Прогнозные значения численности населения
по транспортным районам

Транспортный район	**Население, чел.**
1	1603
2	2956
3	12564
4	8116
5	2830
6	3493
7	3097
8	5451
9	4877
10	4150
Итого	**49137**

4.4. Прогноз количества мест приложения труда по транспортным районам

В предлагаемой упрощенной схеме расчета количества мест приложения труда все рабочие места подразделяются на две большие группы – рабочие места в производственной и непроизводственной сферах. Суммарная проектная численность занятых по каждой из этих групп приведена либо в генеральном плане, либо в документах, определяющих социально-экономическое развитие города – в этих источниках можно найти сведения об отраслевой структуре занятости с указанием численности рабочих мест. Характер распределения по территории каждой из этих групп разный. Так, рабочие места в производственной сфере можно распределить пропорционально площади производственных зон, заданных генеральным планом, то есть задача этого распределения во многом аналогична распределению населения по жилым зонам. Рабочие места в непроизводственной сфере (торговля, сфера услуг, общественное питание, образование, здравоохранение, научная сфера, социальная сфера, жилищно-коммунальное хозяйство и т.д.) можно распределить пропорционально размещению самого населения. Схема расчета распределения рабочих мест в соответствии с изложенными подходами приведена в табл. 4.6, 4.7, схема расчета площадей, занятых производственными зонами, определенными генеральным планом, представлена на рис. 4.2 (предлагаемый расчет мест приложения труда ограничен только рабочими местами; учебные места в высших и средних специальных заведениях не учитываются).

Таблица 4.6

Расчет мест приложения труда в непроизводственной сфере по транспортным районам

Транспортный район	**Население, чел.**	**Рабочие места в непроизводственной сфере, ед.**
1	*2*	*3*
1	1603	633
2	2956	1167
3	12564	4960

Окончание таблицы 4.6

1	*2*	*3*
4	8116	3204
5	2830	1117
6	3493	1379
7	3097	1223
8	5451	2152
9	4877	1926
10	4150	1638
Итого	**49137**	**19400**

Таблица 4.7

Расчет мест приложения труда в производственной сфере
по транспортным районам

Транспортный район	**Площадь производственных зон, га**	**Рабочие места в производственной сфере, ед.**
1	0	0
2	207,83	3463
3	300,48	5006
4	0	0
5	16,07	268
6	11,9	198
7	0	0
8	7,33	122
9	0	0
10	8,56	143
Итого	**552,17**	**9200**

По результатам расчетов полученные значения количества мест приложения труда по транспортным районам сведены в табл. 4.8.

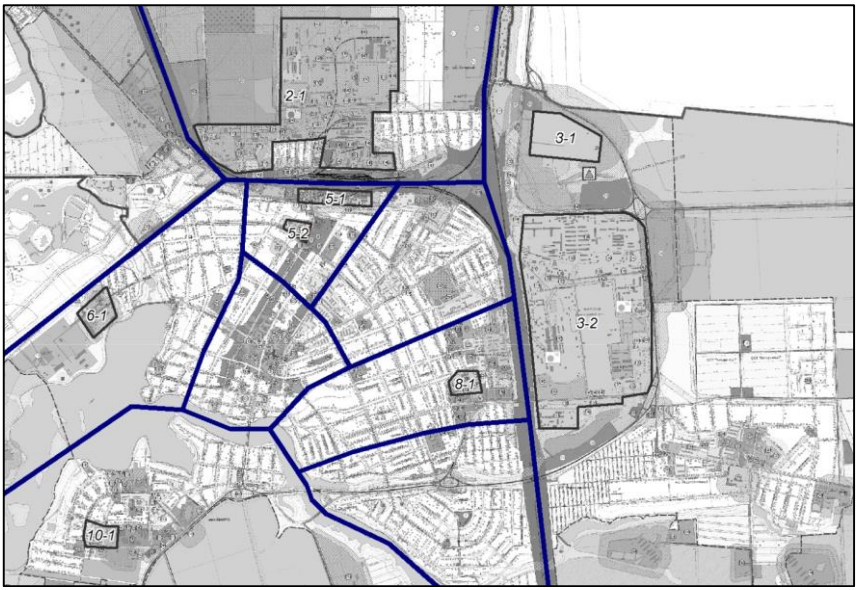


Рис. 4.2. Размещение производственных зон

Таблица 4.8

Прогнозные значения количества мест приложения труда
по транспортным районам

Транспортный район	**Рабочие места в непроизводственной сфере, ед.**	**Рабочие места в производственной сфере, ед.**	**Итого рабочих мест, ед.**
1	633	0	633
2	1167	3463	4630
3	4960	5006	9967
4	3204	0	3204
5	1117	268	1385
6	1379	198	1577
7	1223	0	1223
8	2152	122	2274
9	1926	0	1926
10	1638	143	1781
Итого	**19400**	**9200**	**28600**

4.5 Расчет параметров генерации поездок по транспортным районам

Как указано в разделе 2.3, параметры генерации поездок могут быть рассчитаны исходя из прогнозных показателей уровня подвижности населения. Но для избежания сложных расчетов по прогнозированию подвижности можно воспользоваться расчетной схемой, основанной на разделении всех участников передвижения на две группы – передвигающихся на индивидуальном и общественном транспорте. При таком подходе, зная прогнозный уровень автомобилизации населения и другие параметры, характеризующие транспортное поведение, можно отделить из всего населения часть пользующихся индивидуальным транспортом при трудовых передвижениях. Затем необходимо привести показатели «отправлений» и «прибытий» к выбранному временному диапазону – в данном случае к утреннему максимальному часу (подробно вопрос выбора расчетного периода изложен в разделе 2.2.3 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*) – табл. 4.9.

Таблица 4.9

Расчет параметров генерации поездок по транспортным районам

Транспортный район	**Население, чел.**	**Самодеятельное население, чел.**	**Количество мест приложения труда, ед.**	**Уровень автомобилизации, авт./ 1000 жит.**	**Коэффициент использования автотранспорта**	**Коэффициент средней наполняемости**	**Отправления в утренний период, чел.**	**Прибытия в утренний период, чел.**	**Отправления в утренний максимальный час, чел.**	**Прибытия в утренний максимальный час, чел.**
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
1	1603	933	633	400	0,80	1,35	530	359	159	108
2	2956	1720	4630	400	0,80	1,35	977	2630	293	789
3	12564	7312	9967	400	0,80	1,35	4153	5661	1246	1698
4	8116	4724	3204	400	0,80	1,35	2683	1820	805	546

Окончание таблицы 4.9

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*
5	2830	1647	1385	400	0,80	1,35	936	787	281	236
6	3493	2033	1577	400	0,80	1,35	1155	896	346	269
7	3097	1802	1223	400	0,80	1,35	1024	695	307	208
8	5451	3172	2274	400	0,80	1,35	1802	1292	541	388
9	4877	2838	1926	400	0,80	1,35	1612	1094	484	328
10	4150	2415	1781	400	0,80	1,35	1372	1012	412	303
Итого	**49137**	**28598**	**28600**						**4873**	**4873**

В данной таблице:

1. Численность населения и количество мест приложения труда получены из табл. 4.5 и 4.8.

2. Самодеятельное население – население, участвующее в ежедневных трудовых передвижениях. Доля самодеятельного населения в целом по городу определяется по формуле:

$$k_{\text{сам}} = M/N, \tag{4.2}$$

где M – суммарное количество мест приложения труда, тыс. мест;

N – суммарная численность населения, тыс. жит.

Численность самодеятельного населения по транспортным районам определяется по формуле

$$N_{i\,\text{сам}} = N_i\, k_{\text{сам}}, \tag{4.3}$$

где $N_{i\,\text{сам}}$ – численность самодеятельного населения в транспортном районе i, тыс. жит.;

N_i – численность населения в транспортном районе i, тыс. жит.

3. Количество отправлений и прибытий по трудовым целям в утренний период (полусутки) рассчитывается по формулам:

$$P_{i\,\text{утр}} = N_{i\,\text{сам}} \left(1 - \frac{A}{1000}\, k_{\text{исп}}\, k_{\text{нап}}\right), \tag{4.4}$$

$$Q_{i\,\text{утр}} = M_i \left(1 - \frac{A}{1000}\, k_{\text{исп}}\, k_{\text{нап}}\right), \tag{4.5}$$

где $P_{i\,\text{утр}}$ – объем отправлений из транспортного района i в утренний период, тыс.чел.;

$Q_{i\,\text{утр}}$ – объем прибытий в транспортный район i утренний период, тыс.чел.;

A – уровень автомобилизации населения, авт. на 1000 жит.;

$k_{\text{исп}}$ – коэффициент использования автотранспорта;

$k_{\text{нап}}$ – коэффициент средней наполняемости автотранспорта.

4. Прогнозное значение уровня автомобилизации населения может быть принято на основе информации генерального плана либо, при отсутствии таких данных, на основе прогноза динамики этого показателя или нормативных значений.

5. Коэффициент использования автотранспорта и коэффициент средней наполняемости могут быть приняты на основе средних показателей, соответствующих ситуации в рассматриваемом городе. Основываясь на имеющихся данных исследований, эти значения можно принять:

$$k_{\text{исп}}= 0{,}8,\ k_{\text{нап}}= 1{,}35.$$

6. Количество отправлений и прибытий в утренний максимальный час рассчитывается исходя из данных о неравномерности пассажиропотоков по часам суток:

$$P_i = P_{i\,\text{утр}}\, k_{\text{утр}}, \tag{4.6}$$

$$Q_i = Q_{i\,\text{утр}}\, k_{\text{утр}}, \tag{4.7}$$

где P_i – объем отправлений из транспортного района i в утренний максимальный час, тыс.чел.;

Q_i – объем прибытий в транспортный район i утренний максимальный час, тыс.чел.;

$k_{\text{утр}}$ – доля часа в утреннем периоде (полусутках).

Основываясь на имеющихся данных исследований, значение коэффициента $k_{\text{утр}}$ можно принять равным 0,3.

Для дальнейших расчетов полученные значения «отправлений» и «прибытий» по транспортным районам сведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Значения «отправлений» и «прибытий» по транспортным районам

Транспорт-ный район	**Отправления в утренний максимальный час, чел.**	**Прибытия в утренний максимальный час, чел.**
1	159	108
2	293	789
3	1246	1698
4	805	546
5	281	236
6	346	269
7	307	208
8	541	388
9	484	328
10	412	303
Итого	**4873**	**4873**

5. РАСЧЕТ МАТРИЦ МЕЖРАЙОННЫХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ

5.1. Расчет и балансировка часовой матрицы межрайонных корреспонденций на основе гравитационного подхода

На основе результатов расчета параметров генерации поездок («отправления» и «прибытия» в утренний максимальный час) можно рассчитать матрицу межрайонных корреспонденций. Данная задача не имеет однозначного решения (см. рис. 2.4 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*), поэтому необходимо воспользоваться одним из известных методов расчета матриц, например, гравитационным или энтропийным (подробно подходы к таким расчетам изложены в разделах 2.3.3, 2.3.4 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*). Воспользуемся для построения матрицы наиболее простым методом – гравитационным, в основе которого лежит следующая формула (формула 2.1 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*):

$$x_{ij} = k_{\text{гр}} P_i Q_j / c_{ij}^2, \qquad (5.1)$$

где x_{ij} – объем корреспонденций между районами i и j, тыс. чел. в ч;

P_i – объем отправлений из района i, тыс. чел. в ч;

Q_j – объем прибытий в район j, тыс. чел. в ч;

c_{ij} – обобщенная стоимость передвижения между районами i и j (аналог расстояния);

$k_{\text{гр}}$ – некоторая константа гравитационной модели.

На x_{ij} накладываются естественные ограничения:

$$\sum_i x_{ij} = P_i, \sum_j x_{ij} = Q_j.$$

Примем допущение:

$$c_{ij} = l_{ij\,\text{пр}}, \qquad (5.2)$$

где $l_{ij\,\text{пр}}$ – расстояние по прямой (по воздуху) между центроидами транспортных районов, м.

Измерив расстояния по карте (рис. 5.1), сформируем матрицу расстояний (табл. 5.1); данная матрица будет являться симметричной относительно диагонали.

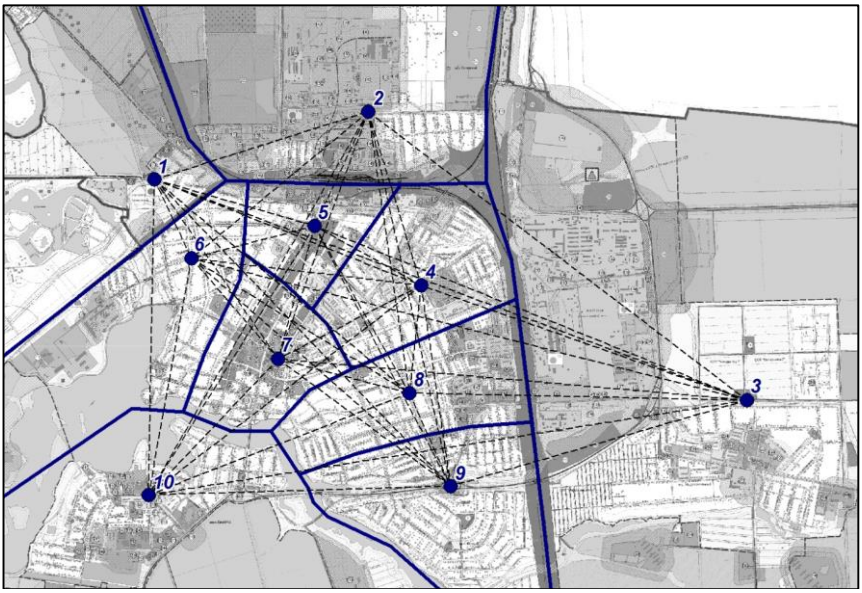


Рис. 5.1. «Воздушные» прямые между центроидами транспортных районов

Рассчитаем элементы матрицы корреспонденций по формуле (5.1) на первом шаге (первой итерации). При этом пренебрегаем значениями диагональных элементов, которые соответствуют передвижениям внутри транспортных районов – табл. 5.2 и 5.3.

Расчет константы $k_{\text{гр}}$ производится по формуле:

$$k_{\text{гр}} = \sum_i P_i / \sum_{ij} x_{ij}, \qquad (5.3)$$

Таблица 5.1

Матрица расстояний между транспортными районами, м

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		2350	6670	3030	1760	930	2310	3520	4520	3350
2	2350		5040	1930	1330	2420	2780	3010	4070	4660
3	6670	5040		3640	4920	6040	4960	3560	3240	6370
4	3030	1930	3640		1290	2440	1690	1140	2150	3620
5	1760	1330	4920	1290		1340	1460	2040	3120	3330
6	930	2420	6040	2440	1340		1410	2710	3660	2550
7	2310	2780	4960	1690	1460	1410		1430	2270	1970
8	3520	3010	3560	1140	2040	2710	1430		1090	2940
9	4520	4070	3240	2150	3120	3660	2270	1090		3180
10	3350	4660	6370	3620	3330	2550	1970	2940	3180	

Таблица 5.2

Матрица значений $P_i\ Q_j / c_{ij}^2$, чел.^{2}/м^2 для определения значения $k_{\text{гр}}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Σ отпр.	$k_{\text{гр}}$
1		0,023	0,006	0,009	0,012	0,049	0,006	0,005	0,003	0,004	0,118	172	
2	0,006		0,020	0,043	0,039	0,013	0,008	0,013	0,006	0,004	0,151	221	
3	0,003	0,039		0,051	0,012	0,009	0,011	0,038	0,039	0,009	0,211	309	
4	0,009	0,170	0,103		0,114	0,036	0,059	0,240	0,057	0,019	0,808	1180	
5	0,010	0,125	0,020	0,092		0,042	0,027	0,026	0,009	0,008	0,359	525	
6	0,043	0,047	0,016	0,032	0,046		0,036	0,018	0,008	0,016	0,263	383	
7	0,006	0,031	0,021	0,059	0,034	0,042		0,058	0,020	0,024	0,295	430	
8	0,005	0,047	0,072	0,227	0,031	0,020	0,055		0,149	0,019	0,625	912	
9	0,003	0,023	0,078	0,057	0,012	0,010	0,020	0,158		0,014	0,374	547	
10	0,004	0,015	0,017	0,017	0,009	0,017	0,022	0,018	0,013		0,133	194	
	0,089	0,520	0,354	0,588	0,308	0,239	0,243	0,575	0,304	0,118	3,338	4873	1460,0

По итогам первой итерации необходимо рассчитать невязки и откорректировать значения матрицы:

а) расчет невязок:

$$\Delta_i = P_i - \sum_i x_{ij}, \qquad (5.4)$$

где Δ_i – невязка по отправлениям, тыс. чел. в ч;

б) корректировка значений матрицы:

$$x'_{ij} = x_{ij} + \frac{\Delta_i}{\sum_i x_{ij}} x_{ij}, \qquad (5.5)$$

где x'_{ij} – объем корреспонденций между районами (откорректированный), тыс. чел.

Таблица 5.3

Матрица межрайонных корреспонденций (первая итерация), чел. в ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ отпр.	Отпр.	Δ	|Δ|
1		33	9	14	18	72	9	7	4	6	172	159	–13	13
2	8		29	63	57	20	12	18	8	6	221	293	72	72
3	4	57		75	18	13	15	56	57	14	309	1246	937	937
4	14	249	151		167	53	86	351	83	27	1180	805	–375	375
5	14	183	29	134		61	40	38	14	11	525	281	–244	244
6	63	68	24	46	66		53	27	12	24	383	346	–37	37
7	9	46	31	86	50	61		85	29	35	430	307	–123	123
8	7	69	106	332	45	29	80		218	28	912	541	–372	372
9	4	34	114	83	17	14	29	231		21	547	484	–63	63
10	6	22	25	25	13	25	32	27	19		194	412	217	217
Σ приб.	130	759	516	858	450	348	355	840	445	172	4873			2455

Итог расчета на второй итерации представлен в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Матрица межрайонных корреспонденций (вторая итерация), чел. в ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ отпр.	Отпр.	Δ
1		31	8	13	16	67	8	7	3	6	159	159	0
2	11		38	83	76	26	15	24	11	8	293	293	0
3	18	228		303	72	54	62	225	230	55	1246	1246	0
4	9	170	103		114	36	58	239	57	19	805	805	0
5	8	98	15	72		33	21	20	7	6	281	281	0
6	57	62	21	42	60		48	24	11	21	346	346	0
7	6	33	22	61	35	43		61	20	25	307	307	0
8	4	41	63	196	27	17	48		129	16	541	541	0
9	3	30	101	74	15	13	25	204		19	484	484	0
10	12	46	53	53	27	53	68	57	41		412	412	0
Σ приб.	129	737	425	897	442	342	354	862	510	174	4873		
Приб.	108	789	1698	546	236	269	208	388	328	303			
Δ	–21	52	1274	–351	–206	–73	–146	–474	–182	129			

По итогам второй итерации производится корректировка значений матрицы по прибытиям:
а) расчет невязок:

$$\Delta_j = Q_j - \sum_i x_{ij}, \tag{5.6}$$

где Δ_j – невязка по прибытиям, тыс. чел. в ч;
б) корректировка значений матрицы:

$$x'_{ij} = x_{ij} + \frac{\Delta_j}{\sum_j x_{ij}} x_{ij}. \tag{5.7}$$

Итог расчета на третьей итерации представлен в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Матрица межрайонных корреспонденций (третья итерация), чел.в ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ отпр.	Отпр.	Δ	|Δ|
1		33	33	8	9	52	5	3	2	10	155	159	4	4
2	9		152	51	41	21	9	11	7	14	314	293	–21	21
3	15	244		184	38	43	37	101	148	95	905	1246	341	341
4	8	182	411		61	28	34	108	37	32	900	805	–95	95
5	6	105	61	44		26	13	9	5	10	279	281	2	2
6	48	66	85	26	32		28	11	7	37	339	346	7	7
7	5	35	88	37	19	34		27	13	43	303	307	4	4
8	3	44	251	120	14	13	28		83	29	584	541	–44	44
9	3	32	404	45	8	10	15	92		33	641	484	–157	157
10	10	50	213	32	14	41	40	26	27		454	412	–42	42
Σ приб.	108	789	1698	546	236	269	208	388	328	303	4873			718
Приб.	108	789	1698	546	236	269	208	388	328	303				
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Таким образом, невязки последовательно рассчитываются по строкам и столбцам. Эта процедура продолжается до тех пор, пока сумма невязок по модулю не будет меньше некоего минимального допуска:

$$\Sigma|\Delta| < \varepsilon.$$

В результате такой последовательности действий получена сбалансированная с учетом принятых допущений матрица межрайонных корреспонденций, каждый элемент которой соответствует объему передвижений пассажиров между парой транспортных районов в утренний максимальный час – табл. 5.6. В рассматриваемом примере понадобилось семь итераций для достижения значения суммы невязок, равной 46.

Таблица 5.6

Сбалансированная матрица межрайонных корреспонденций с указанием невязок, чел. в ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ отпр.	Отпр.	Δ	|Δ|
1		31	39	7	9	53	5	3	2	10	159	159	0	0
2	8		158	41	36	18	8	10	6	11	296	293	–3	3
3	21	327		245	56	61	53	148	186	128	1225	1246	21	21
4	7	143	411		52	24	30	92	27	25	812	805	–7	7
5	6	98	73	41		26	13	9	4	10	279	281	1	1
6	47	61	101	24	33		29	11	6	35	346	346	0	0
7	5	32	104	34	19	34		27	11	40	307	307	0	0
8	3	36	265	99	13	12	25		65	24	543	541	–2	2
9	2	21	331	29	6	7	10	65		21	491	484	–8	8
10	9	40	216	26	13	35	35	22	20		415	412	–4	4
Σ приб.	108	789	1698	546	236	269	208	388	328	303	4873			46
Приб.	108	789	1698	546	236	269	208	388	328	303				
Δ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Таким образом, матрица часовых межрайонных корреспонденций имеет вид (табл. 5.7).

Графическое представление полученной матрицы корреспонденций приведено на рис. 5.2.

Представленный в разделе 2.3.4 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»* энтропийный подход также может применяться при расчете матриц корреспонденций, в том числе, без использования математических моделей. Данный метод несколько сложнее, так как при его использовании учитывается вероятность совершения передвижений между районами в соответствии с

принятой гипотезой трудового тяготения. Метод же балансировки матриц при энтропийном подходе идентичен рассмотренному выше.

Таблица 5.7

Сбалансированная матрица межрайонных корреспонденций, чел. в ч

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ отпр.
1		31	39	7	9	53	5	3	2	10	159
2	8		158	41	36	18	8	10	6	11	296
3	21	327		245	56	61	53	148	186	128	1225
4	7	143	411		52	24	30	92	27	25	812
5	6	98	73	41		26	13	9	4	10	279
6	47	61	101	24	33		29	11	6	35	346
7	5	32	104	34	19	34		27	11	40	307
8	3	36	265	99	13	12	25		65	24	543
9	2	21	331	29	6	7	10	65		21	491
10	9	40	216	26	13	35	35	22	20		415
Σ приб.	108	789	1698	546	236	269	208	388	328	303	4873

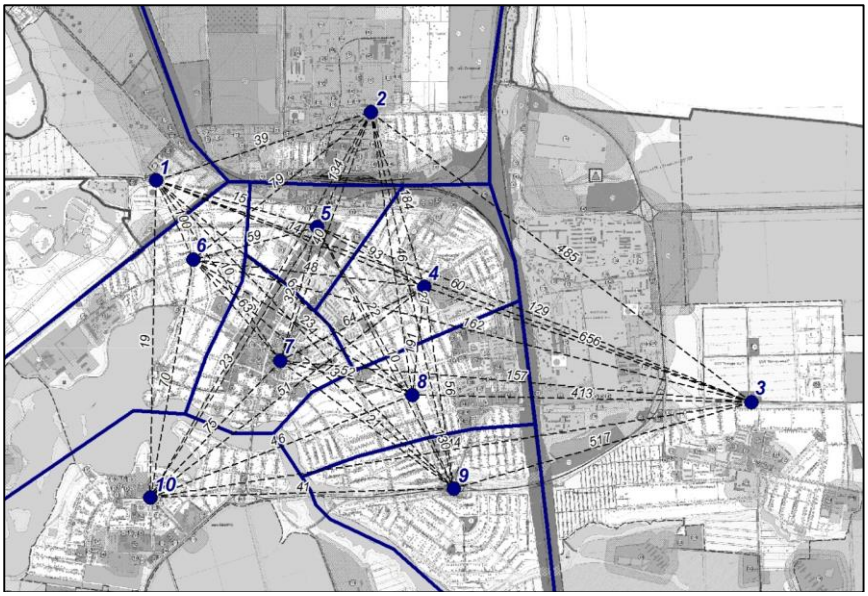


Рис. 5.2. Диаграмма для построения матрицы межрайонных корреспонденций, пасс. в утренний максимальный час в двух направлениях

5.2. Переход к среднесуточным значениям элементов матрицы межрайонных корреспонденций

Для расчета требуемого количества подвижного состава и построения картограмм интенсивности пассажиропотоков, как правило, учитываются среднесуточные показатели, позволяющие учесть все имеющиеся передвижения с учетом неравномерности по часам суток. Для перехода к среднесуточной матрице межрайонных корреспонденций, учитывающей все основные виды целевых передвижений на ГОТ, обратимся к следующей последовательности действий:

1. Переход к суточной матрице:

$$x'_{ij} = \left(x_{ij} + x_{ji}\right)/k_{\text{час}}, \qquad (4.8)$$

где x'_{ij} – объем корреспонденций между районами (откорректированный), тыс. чел.

Поскольку суточная матрица является симметричной, в отличие от часовой (предполагается, что все участники передвижений «дом – работа» во второй половине дня возвращаются домой), для простоты можно рассмотреть только половину матрицы, умножив ее значения на два (табл. 5.8):

$$x''_{ij} = 2\,x'_{ij}.$$

Таблица 5.8

Суточная матрица межрайонных корреспонденций, чел. в сутки в двух направлениях

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
1		260	402	92	102	665	69	41	26	121	
2			3233	1230	892	529	269	307	174	339	
3				4377	858	1078	1047	2750	3451	2294	
4					619	317	425	1276	373	341	
5						389	213	148	66	149	
6							415	153	87	466	
7								353	146	501	

Окончание таблицы 5.8

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
8									865	308	
9										274	
10											
											32490

2. Определение доли и объема передвижений с помощью ГОТ. Поскольку использование ГОТ оправдано только для передвижений на расстояния более 1,5–2 км, необходимо учесть этот фактор при расчете матрицы, элементы которой будут учитывать лишь тех участников передвижений, которые пользуются ГОТ (транспортные передвижения). Определение матрицы транспортных передвижений (корреспонденций) производится по следующей формуле:

$$X_{ij\,\text{тр}} = \varphi\, X_{ij}, \tag{5.9}$$

где $X_{ij\,\text{тр}}$ – матрица передвижений на ГОТ;

φ – коэффициент использования ГОТ.

Значения коэффициентов пользования ГОТ могут быть определены в зависимости от дальности передвижений по таблице 5.9 или по графикам, представленным на рисунке 5.3. Дальность передвижений может определяться исходя из значений матрицы расстояний по прямой (по воздуху) между центроидами транспортных районов $l_{ij\,\text{пр}}$ (см. табл. 5.1).

Таблица 5.9

Коэффициенты пользования городским общественным транспортом

Дальность передвижений, км	до 1	1–1,5	1,5–2	2–2,5	более 2,5
Коэффициент пользования транспортом	0,2	0,5	0,75	0,95	1

Результаты определения коэффициентов пользования транспортом приведены в табл. 5.10.

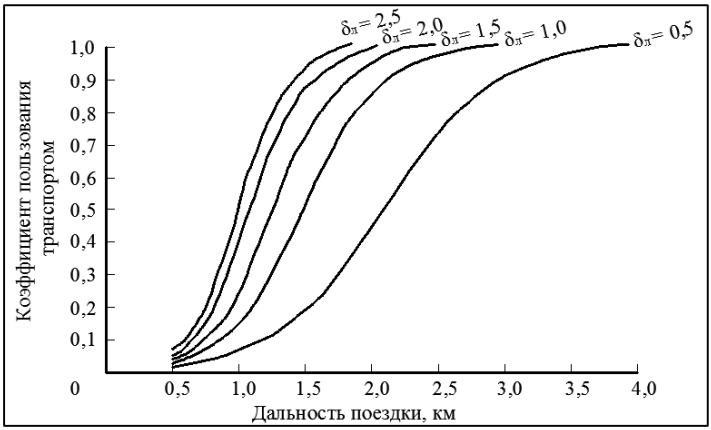


Рис. 5.3. График зависимости коэффициента пользования транспортом от плотности сети и дальности поездки

Таблица 5.10

Матрица коэффициентов пользования транспортом

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0,95	1	1	0,75	0,2	0,95	1	1	1
2			1	0,75	0,5	0,95	1	1	1	1
3				1	1	1	1	1	1	1
4					0,5	0,95	0,75	0,5	0,95	1
5						0,5	0,5	0,95	1	1
6							0,5	1	1	1
7								0,5	0,95	0,75
8									0,5	1
9										1
10										

Результаты расчета матрицы суточных транспортных передвижений представлены в табл. 5.11.

3. Учет различных видов целевых передвижений. Если для расчета матрицы трудовых корреспонденций можно было пренебречь иными видами передвижений, то в суточном цикле необходимо с помощью поправочных коэффициентов учесть и другие виды передвижений, таких как деловые или культурно-бытовые. В упрощенном виде:

$$X_{ij\ \text{сумм}} = 2\ X_{ij\ \text{тр}}. \qquad (4.10)$$

где $X_{ij\ \text{сумм}}$ – матрица передвижений на ГОТ (с учетом всех видов целевых передвижений).

Результаты расчета представлены в табл. 5.12.

Таблица 5.11

Суточная матрица межрайонных транспортных передвижений, чел. в сутки в двух направлениях

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		247	402	92	76	133	66	41	26	121	
2			3233	922	446	503	269	307	174	339	
3				4377	858	1078	1047	2750	3451	2294	
4					309	302	319	638	355	341	
5						195	106	141	66	149	
6							207	153	87	466	
7								176	138	376	
8									432	308	
9										274	
10											
											28790

Таблица 5.12

Суточная откорректированная матрица межрайонных транспортных передвижений, чел. в сутки в двух направлениях

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		493	804	185	153	266	131	81	51	242	
2			6466	1845	892	1006	538	614	349	678	
3				8754	1717	2155	2094	5501	6902	4587	
4					619	603	638	1276	709	681	
5						389	213	281	132	298	
6							415	307	175	932	
7								353	277	752	
8									865	615	
9										547	
10											
											57580

6. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

6.1. Построение картограммы (эпюры) пассажиропотоков

Построение картограмм интенсивности пассажиропотоков – завершающий этап четырехступенчатой схемы транспортного моделирования. Подробно порядок и закономерности построения картограмм с использованием методов математического моделирования изложены в разделе 2.5 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*.

В общем случае картограмма интенсивности по участкам улично-дорожной сети может характеризоваться максимальным, средним или эквивалентным пассажиропотоком. Максимальным называют пассажиропоток наиболее загруженного участка сети. Средним является пассажиропоток, определяемый как средневзвешенная величина пассажиропотоков на отдельных участках. Эквивалентный пассажиропоток определяется по условиям нормального проезда для большинства пассажиров.

Рассмотрим упрощенный порядок построения суточных картограмм интенсивности движения пассажиров на предварительной сети ГОТ (см. раздел 2.4) без использования методов моделирования. Интенсивность пассажиропотоков определяется на базе показателей транспортного спроса – матрицы межрайонных суточных корреспонденций (см. табл. 5.12). На основе этих данных на каждом участке предварительной сети, соединяющем центроиды (характеристические центры) транспортных районов, откладываются значения пассажиропотоков. Так как участки сети связывают, как правило, корреспонденции нескольких пар районов, то значения пассажиропотоков на них суммируется. Для крупных транспортных районов начало или окончание цепочки передвижений по сети может не совпадать с центроидом, а привязываться к центрам планировочной структуры жилых или производственных зон. Если транспортные районы связаны не одним, а несколькими маршрутами, то пассажиропоток распределяется в пропорции, обратной их протяженности (рис. 6.1).

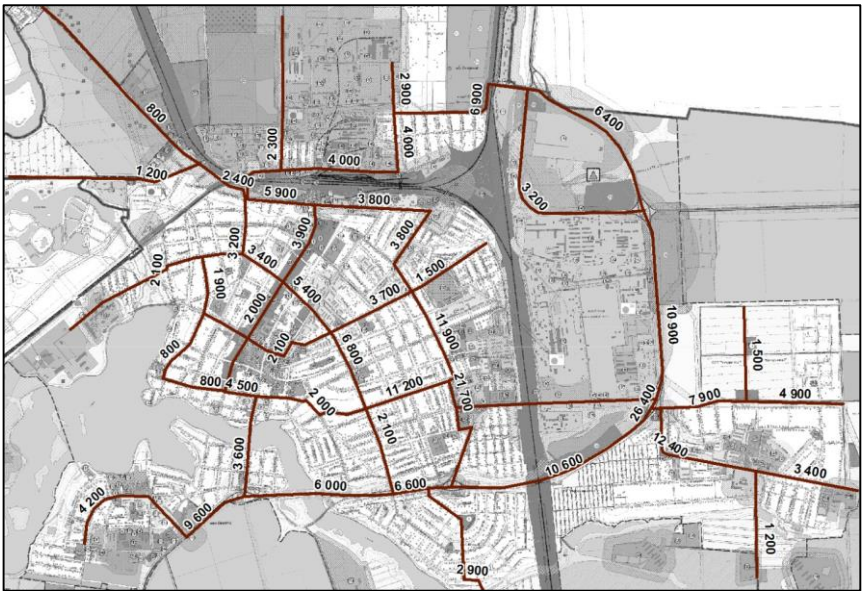


Рис. 6.1. Распределение пассажиропотока по предварительной сети ГОТ
(цифрами показаны значения пассажиропотоков,
пасс. в сутки в двух направлениях)

На основе полученных численных значений (картограммы) может быть откорректирована предварительная сеть ГОТ путем исключения слабо загруженных участков или дублирования транспортных линий в местах избыточной концентрации пассажиропотоков (рис. 6.2).

Одним из критериев корректности полученной сети является показатель ее плотности (см. раздел 2.4). Вычислим значение этого показателя по формуле (2.4). По итогам корректировки плотность сети ГОТ составила: 43,5/17,1 = 2,5 км / кв.км, что соответствует рекомендуемому нормативу (2.4). При этом в результате сокращения линий ГОТ уменьшилась площадь территории, удовлетворяющей требованиям по обеспечению нормативной пешеходной доступности линий ГОТ.

Полученные значения интенсивности пассажиропотоков на участках сети ГОТ служат основанием для определения экономической целесообразности использования общественного транспорта, выбора

того или иного набора видов ГОТ, построения маршрутной сети, назначения проектных параметров улично-дорожной сети и т.д.

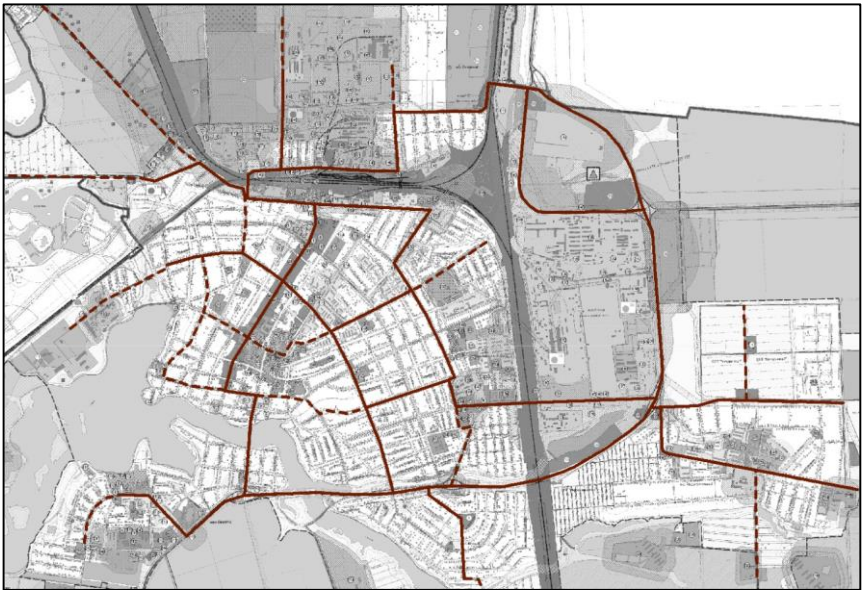


Рис. 6.2. Откорректированная сеть городского общественного транспорта (пунктиром показаны исключаемые элементы предварительной сети)

6.2. Расчет требуемого парка подвижного состава

Расчет требуемого парка подвижного состава производится на основе параметров транспортного спроса. В данном разделе рассмотрена простая ситуация, при которой транспортное обслуживание пассажиров обеспечивается только одним видом наземного ГОТ – автобусами. На первом этапе необходимо определить средневзвешенную дальность поездки $L_{\text{ср}}$:

$$L_{\text{ср}} = \sum\left(x_{ij\ \text{сумм}}\, l_{ij\ \text{пр}}\right) / \sum x_{ij\ \text{сумм}}, \qquad (6.1)$$

где $x_{ij\ \text{сумм}}$ – элементы матрицы передвижений на ГОТ (с учетом всех видов передвижений).

При этом:

$$Q_{\text{пасс}} = \sum\left(x_{ij\ \text{сумм}}\, l_{ij\ \text{пр}}\right), \qquad (6.2)$$

где $Q_{\text{пасс}}$ – объем пассажирской работы, пасс.-км в сут.

Сумма объемов передвижения определена в таблице 4.12. Умножив значения матрицы расстояний (таблица 4.1) на объемы передвижений, получим матрицу произведений данных параметров (таблица 6.1), что позволит определить средневзвешенную дальность поездки.

Средняя дальность поездки равна

$$L_{\text{ср}} = 214943169 / 57580 = 3733 \text{ м}.$$

Расчет требуемого количества подвижного состава производится по формуле

$$W_{\text{инв}} = \left(\sum x_{ij\ \text{сумм}}\ L_{\text{ср}}\ \lambda\right)/(1000\ v_{\text{э}}\ h\ \Omega\ \alpha\ \eta), \qquad (6.3)$$

где λ – коэффициент сезонной неравномерности;

$v_{\text{э}}$ – эксплуатационная скорость, км/час;

h – число часов работы транспорта в сутки, час;

Ω – нормативное максимальное наполнение единицы подвижного состава, пасс.;

α – коэффициент выпуска подвижного состава;

η – среднесуточный коэффициент наполнения подвижного состава.

Переменные в формуле (5.3) можно определить следующим образом:

1. Суточное количество перевезенных пассажиров и средневзвешенная дальность поездки определяются на основе таблицы 4.12 и формулы (6.1).

Таблица 6.1

Матрица произведений объемов передвижений на расстояния,
чел. в сутки * м

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма отпр./приб.
1		1159387	5360940	559227	268775	247448	302716	286300	232073	810690	9227555
2			32588580	3560792	1186624	2434295	1495650	1848673	1418845	3159620	47693078
3				31864925	8445655	13017783	10386465	19583013	22362736	29221521	134882097
4					798206	1471678	1077499	1455049	1525404	2465780	8793617
5						521285	310346	573874	410757	991934	2808196
6							584728	831206	640430	2376365	4432730
7								504518	628621	1481378	2614517
8									942554	1808694	2751248
9										1740130	1740130
10											0
											214943169

2. Значения остальных переменных при отсутствии точной информации можно принять по средним значениям:

$$\lambda = 1,\ v_э = 20 \text{ км/ч},\ h = 12 \text{ ч},\ \Omega = 75 \text{ пасс.},\ \alpha = 0{,}85,\ \eta = 0{,}35.$$

Таким образом, $W_{инв} = (57580 \times 3733 \times 1) / (1000 \times 20 \times 12 \times 75 \times \times 0{,}85 \times 0{,}35) = 40$ ед.

6.3. Распределение перевозок по видам городского общественного транспорта

При проектировании сети ГОТ важна правильная расстановка акцентов в развитии отдельных видов транспорта, что особенно актуально в связи с появлением интереса к новым видам ГОТ. Вопрос распределения перевозок пассажиров (оптимизации структуры перевозок) находится за пределами рассмотрения практических примеров, так как упрощенная схема на базе рассмотрения среднего города не предполагает решения данной задачи. Далее представлены только общие подходы к распределению перевозок.

Во вновь проектируемом городе основными факторами, определяющими выбор вида транспорта, являются:

- размер максимальных и минимальных часовых пассажиропотоков;
- средняя дальность поездки;
- объем единовременных капиталовложений.

В реальности, как правило, речь о совершенствовании современной структуры перевозок по видам транспорта с учетом имеющихся мощностей, доступности и дешевизны электроэнергии, климатических особенностей и т.д. Большую роль играют и традиционные предпочтения жителей конкретного города. Тем не менее, каждый вид общественного транспорта обладает своими достоинствами и недостатками (табл. 6.2).

Помимо указанных видов, в городах могут использоваться и другие виды транспорта (монорельсовый транспорт, канатные дороги и т.д.), рассмотрение которых также может использоваться при решении задачи распределения пассажироперевозок.

Таблица 6.2

Характеристика основных видов
городского общественного транспорта

Вид ГОТ	**Достоинства**	**Недостатки**	**Максимальная провозная способность, тыс. пасс. в ч, в одном направлении**
Автобус	Низкие капитальные затраты Возможность оперативного изменения маршрутов	Низкая провозная способность Высокий уровень загрязнения воздуха Высокий уровень шума Зависимость от основного автомобильного потока	5–8
Троллейбус	Экологичность	Необходимость контактной сети Низкая маневренность	5–8
Трамвай	Возможности регулирования провозной способности и скоростного режима Экологичность	Необходимость выделения пространства для сети	7–9
Скоростной трамвай на изолированном полотне	Высокая скорость Относительная дешевизна (по сравнению с метрополитеном) Экологичность	Трудность организации сети в сложившейся застройке	9–14
Метрополитен	Высокая скорость Высокая провозная способность Экологичность Экономичность с точки зрения использования городской территории Безопасность	Высокие капитальные и эксплуатационные затраты Длительные сроки строительства Необходимость организации подвозочного транспорта	30–40
Городская железная дорога	Высокая скорость Высокая провозная способность Возможность развития на пригородные территории	Высокие эксплуатационные затраты Высокий уровень шума Необходимость организации подвозочного транспорта	40–55

*по нормативным параметрам, применяемым в Республике Беларусь

На практике для решения задачи оптимизации структуры пассажироперевозок можно воспользоваться рекомендуемым распределением перевозок или ориентироваться на разработанные методики, предполагающие проведение ряда расчетов. Так, М.Я. Сницарем [8] была предложена следующая структура определения основного вида скоростного транспорта, применение которого целесообразно в городах с различной планировочной структурой (таблица 6.3).

Таблица 6.3

Структура видов скоростного транспорта в городах (по [8])

Планировочная структура	**Размещение фокусов тяготения**	**Население, млн чел.**		
		0,25–0,5	0,5–0,75	0,75–1,3
Центричная	Дисперсное	Экспресс-автобус	Скоростной автобус	Скоростной трамвай
	Вдоль линий скоростного транспорта	Экспресс-автобус	Скоростной автобус или скоростной трамвай	Скоростной трамвай или метрополитен
Линейная	То же	Скоростной автобус	Скоростной трамвай	Метрополитен

МДС 30-2.2008 «Рекомендации по модернизации транспортной системы городов» предлагает следующее ориентировочное распределение объемов пассажироперевозок между видами ГОТ (табл. 6.4).

Как указано в МДС 30-2.2008 «Рекомендации по модернизации транспортной системы городов», в городах с населением до 500 тысяч человек при развитии улично-дорожной сети до 2,2–2,5 км/км^2 могут использоваться традиционные виды городского пассажирского транспорта: автобус, троллейбус, трамвай. В крупных и крупнейших городах, где дальность поездок для 25–30 % населения, как правило, превышает 5 км, кроме обычных видов транспорта потребуется организация скоростного сообщения с использованием экспресс-автобуса, скоростного автобуса или трамвая, метрополитена и пригородно-городских линий железных дорог.

Таблица 6.4

Ориентировочное распределение объемов пассажироперевозок между видами городского пассажирского транспорта, %

Город, тыс. чел.	Уровень автомобилизации, авт./тыс. чел.								
	150	300	450	150	300	450	150	300	450
	Уличный ГОТ			Скоростной (внеуличный) ГОТ			Индивидуальный транспорт		
100	60	50	30	–	–	–	40	50	70
300	65	45	40	–	–	–	35	55	60
500	70	60	50	–	–	–	30	40	50
1000	60	50	40	10	15	20	30	35	40
1500	60	50	40	15	20	25	25	30	35
3000	65	55	40	15	20	30	20	25	0
Свыше 5000	50	40	35	30	35	40	20	25	25

Выбор вида уличного или скоростного внеуличного транспорта при проектировании должен определяться в зависимости от конкретных градостроительных условий, размера пассажиропотока на расчетный период с учетом сложившейся улично-дорожной сети и действующей системы общественного транспорта. При этом наибольшие возможности в реализации задач модернизации имеют городской электрический и скоростной рельсовый транспорт.

В дополнение к имеющимся рекомендациям ниже представлены несколько разработанных в России методик оптимизации структуры пассажироперевозок на ГОТ:

1. Методика Д.С. Самойлова [9]. Данная методика основана на распределении работы ГОТ по группам вместимости подвижного состава с учетом численности населения города. Однако такое распределение условно, так как предполагается, что каждому виду транспорта, в основном, соответствует определенная вместимость поездных единиц. Подобное разделение не всегда оправдано в связи с появлением транспортных единиц многих видов ГОТ с большим интервалом по вместимости.

2. Методика А.Э. Горева. В соответствии с данной методикой каждый вид общественного транспорта имеет свою зону эффективного использования в координатах «провозная возможность – эксплуатационная скорость» (рис. 6.2) [10].

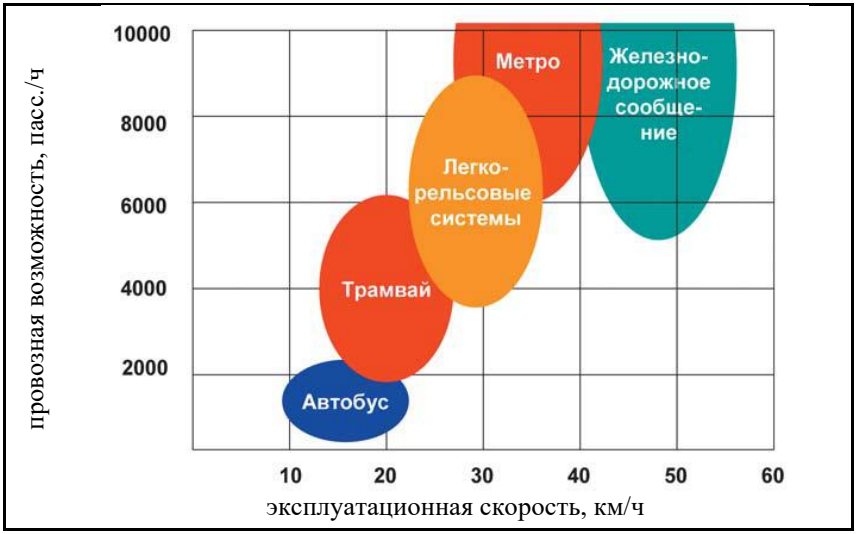


Рис. 6.2. Эффективные зоны использования видов ГОТ (по [10])

3. Методика на основе оценки напряженности пассажиропотока. В основе данной методики лежит ключевой показатель – напряженность пассажиропотока, измеряемый в пасс.-км/км, при этом определение структуры систем ГОТ осуществляется на основе планировочных и социально-экономических факторов [11].

4. Методика распределения пассажирских корреспонденций по видам ГОТ на основе досетевого моделирования [12]. Данный подход основан на использовании так называемых досетевых моделей расчета матриц межрайонных корреспонденций, позволяющий оптимизировать структуру передвижений по группам ГОТ при заданных параметрах размещения основных функциональных зон в городе без учета ограничений, задаваемых транспортной сетью.

6.4. Проектирование маршрутной сети

Проектирование маршрутной сети осуществляется на основе результатов расчета транспортного спроса и интенсивности пассажиропотоков. Можно выделить следующие основные требования к системе маршрутов ГОТ [13, 14]:

- соответствие направлению основных пассажиропотоков;
- обеспечение кратчайших (наиболее прямолинейных) направлений и беспересадочных связей между районами проживания, основными объектами тяготения и центром города;
- обеспечение наименьшей пересадочности сообщений;
- размещение конечных пунктов, как правило, вне центральной зоны города;
- обеспечение координированности маршрутной системы, объединяющей несколько видов транспорта;
- обеспечение удобных пересадок между видами транспорта;
- удобство для изучения и запоминания населением.

По запроектированной транспортной сети определяются связи (транспортные и пешие) между жилыми районами и пунктами тяготения. При пешем передвижении пути следования выбирают по кратчайшему расстоянию по уличной сети города, а при пользовании массовым пассажирским транспортом – из расчета минимальных затрат времени. Рекомендованы следующие принципы построения структуры маршрутной сети. На начальном этапе рассматривается схема, в которую входят маршруты, удовлетворяющие достаточному условию назначения беспересадочных сквозных маршрутов, а также участковые маршруты, не совпадающие ни с одним сквозным маршрутом. В качестве сквозного рассматривается маршрут, соединяющий центры трех и более микрорайонов по кратчайшему пути, исходя из затрат времени на следование пути. Достаточным условием для назначения сквозного маршрута является удовлетворение требования, чтобы время ожидания на начальном пункте маршрута было бы меньше или равно времени, которое он должен затратить в пункте пересадки, если такого маршрута не будет.

Рекомендуется трассировать маршруты таким образом, чтобы коэффициент непрямолинейности не превышал 1,5–2,0 (за исключением кольцевых маршрутов). Коэффициент непрямолинейности $k_{\text{нс}}$ вычисляется по следующей формуле:

$$k_{\text{нс}} = l_{\text{тр}}/l_{\text{пр}}, \tag{6.4}$$

где $l_{\text{тр}}$ – расстояние между начальным и конечным пунктами маршрута по транспортной сети, км;

$l_{пр}$ – расстояние между транспортными районами по прямой (по воздуху), км.

Маршрутный коэффициент μ должен находиться в диапазоне 1,5–3,5:

$$\mu = \sum l_м / L_{тр}, \quad (6.5)$$

где $\sum l_м$ – суммарная протяженность маршрутов, км;

$L_{тр}$ – протяженность транспортной сети, км.

Тогда ориентировочное число маршрутов $n_м$ можно определить по формуле

$$n_м = \mu L_{тр} / l_{м\,ср}, \quad (6.6)$$

где $l_{м\,ср}$ – средняя дальность поездки на маршруте, км.

Разработаны детальные методики расчета маршрутной сети, приведенные, в частности, в [14]. Оптимизация маршрутной сети также может выполняться с помощью методов математического моделирования.

6.5. Оценка эффективности функционирования системы ГОТ

Оценка эффективности системы ГОТ может базироваться на различных показателях. В целом, при оценке транспортных систем городов и их подсистем можно руководствоваться тремя принципами: адекватность, эффективность, результативность. Под адекватностью понимается соответствие транспортной системы потребностям населения и реальным условиям их удовлетворения, что достигается применением организационных, технических, экономических, градостроительных мер, технологий и ресурсов, достаточных для достижения желаемых целей в количественном и качественном отношении. Эффективность – соотношение результатов, выраженных в определенных показателях (экономических и социальных), к произведенным затратам. Анализ соотношения затрат и результатов (стоимостной анализ) – систематическое выражение в денежном измерении всех расходов и результатов предлагаемых альтернативных планов мероприятий с целью: 1) максимизации результатов при

фиксированных затратах, то есть максимальное удовлетворение спроса на транспортно-пассажирское обслуживание, путем изменения конфигурации маршрутной и транспортной сети, увеличения парка подвижного состава, строительства стоянок и выноса их с улиц центрального делового района, обустройства уличной сети и т.д.; 2) минимизации затрат при фиксированных результатах, то есть оптимизация конфигурации маршрутной сети при сохранении на существующем или определенном уровне парка подвижного состава, запрещение паркования на определенных магистралях и/или участках в четко определенные часы и другие мероприятия организационно-административного характера. Эффективность можно определить как народнохозяйственную – ускорение доставки пассажиров и грузов; отраслевую или экономическую – максимизация соотношения доходов и расходов; социальную – повышение степени удовлетворенности населения транспортно-пассажирскими услугами.

Интегральный показатель может быть определен как произведение объема деятельности (маршрутной подвижности), результативности (средних затрат времени на поездку или полных затрат), социальной удовлетворенности (процент или доля удовлетворенных) и экономичности (соотношение доходов и расходов).

Оценка результативности – процедура, позволяющая оценить максимальную эффективность воздействия при минимальных затратах. Для оценки результативности может быть использована серия коэффициентов: коэффициент удовлетворенности транспортно-пассажирскими услугами ГОТ, коэффициент качества транспортно-пассажирского обслуживания, коэффициент результативности, коэффициент информированности жителей о своих правах в отношении ГОТ.

При определении экономической эффективности используются различные показатели, к которым относятся: интегральный экономический эффект, или чистый дисконтированный доход; индекс интегральной эффективности, или индекс доходности; внутренняя норма эффективности, или внутренняя норма доходности; срок окупаемости [5]. Признавая затраты времени на передвижение пассажиров в качестве основного фактора оценки социально-экономической эффективности, разные авторы предлагают различные подходы к нормированию этих затрат: в терминах заработной платы, национального дохода или капитальных вложений на замещение рабочего

времени дополнительным вводом основных производственных фондов. В то же время, математическая оценка экономической эффективности достаточно условна. Оценивая социально-экономическую эффективность, нужно учитывать, что ее социальная составляющая может иметь значительный вес. Система ГОТ, являясь одновременно отраслью материального производства и элементом системы обслуживания, оказывает серьезное влияние на качество жизни населения, включая воздействие на окружающую среду [15].

Современные методики определения эффективности реализации транспортно-градостроительных проектов, включая ее социальную составляющую, базируются на методиках оценки инвестиционных проектов. Как известно, эффективность определяется отношением полученного результата к затратам на его получение. Структура социально-экономической эффективности предполагает непосредственный и сопутствующий эффекты. Доля сопутствующего эффекта составляет от 70 до 90 %. При этом экономия времени на передвижения и снижение транспортной усталости являются основными факторами сопутствующего эффекта и составляют около 70 % от него.

С учетом вышесказанного, социально-экономическая эффективность от реализации транспортно-градостроительных проектов на долгосрочную перспективу может в упрощенном виде определяться как разница между строительно-эксплуатационными затратами и стоимостной оценкой от снижения затрат времени на передвижения. Для оценки эффективности с учетом временного фактора можно воспользоваться расчетом чистого дисконтированного дохода и индекса рентабельности инвестиций, в котором аналогом инвестиционных вложений выступают строительно-эксплуатационные затраты, а аналогом доходов от инвестиций – стоимостная оценка от снижения затрат времени.

Чистый дисконтированный доход NPV определяется как сумма дисконтированных значений потока платежей, приведенных к сегодняшнему дню и показывает оценку эффекта от инвестиций с учетом разной временной стоимости денег. Прибыльной может быть признана инвестиция при значении $NPV > 0$, убыточной – при $NPV < 0$:

$$NPV = -\sum_{t=t_0}^{T} \frac{A_t}{(1+r)^t} + \sum_{t=t_0}^{T} \frac{B_t}{(1+r)^t} + S, \qquad (6.7)$$

где A – инвестиции в развитие транспортной инфраструктуры, млн руб.;

B – эффект от реализации транспортно-градостроительных проектов, млн руб.;

t – индекс периода планирования;

t_0 – начальный период планирования;

T – последний период планирования;

r – ставка дисконтирования;

S – остаточная стоимость проекта, млн руб.

Индекс рентабельности инвестиций PI характеризует уровень приведенных доходов на единицу приведенных затрат и определяется как отношение суммы дисконтированного ожидаемого эффекта к сумме дисконтированных инвестиций:

$$PI = \frac{\sum_{t=t_0}^{T} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=t_0}^{T} \frac{A_t}{(1+r)^t}}, \quad (5.8)$$

Критерии оценки качества функционирования системы ГОТ могут быть основаны на системе балльной оценки (подробно – см. раздел 4.2 части 1 *«Транспортное планирование: математическое моделирование»*).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Показатели оценки планировочной структуры города с точки зрения потребности в транспорте

Показатели оценки планировочной структуры города, влияющей на потребность в развитии транспортной системы, приведены на основе методики А.М. Якшина [13].

1. Размеры территории города

Размеры территории города оцениваются абсолютной и относительной величиной освоенной территории. Абсолютная величина $S_{\text{осв}}$ измеряется в квадратных километрах путем нанесения на план города контура, в пределах которого размещены все места труда, проживания, отдыха, лечения и удовлетворения культурно-бытовых, деловых и прочих потребностей населения города. Относительная величина освоенной территории $s_{\text{осв}}$ определяется из расчета на одного жителя города по формуле

$$s_{\text{осв}} = \frac{10^6 \, S_{\text{осв}}}{N}, \qquad \text{(П.1)}$$

где $s_{\text{осв}}$ – относительная величина освоенной территории, кв.м на жителя;

$S_{\text{осв}}$ – абсолютная величина освоенной территории, кв.км;

N – численность населения города, чел.

Классификация освоенных территорий приведена в табл. П.1.

Таблица П.1

Классификация освоенных территорий

Группа городов	**Характеристика освоенной территории**	**Относительная величина освоенной территории, кв.м на жителя**
I	Очень большая	более 400
II	Большая	400–200
III	Умеренная	200–100
IV	Малая	100–50
V	Очень малая	50–33

2. Компактность формы освоенной территории

Оценка степени компактности освоенной территории производится по величине коэффициента формы освоенной территории α_0, который определяется по формуле

$$\alpha_0 = \frac{A_0}{\Delta s}, \quad \text{(П.2)}$$

где α_0 – коэффициент формы освоенной территории;

A_0 – воздушная удаленность освоенной территории от главного транспортного узла, км;

Δs – воздушная удаленность территории той же площади, но имеющей форму круга, от центра круга, км.

Воздушная удаленность территории той же площади, но имеющей форму круга, определяется по формуле

$$\Delta s = \frac{2}{3}R = 0{,}377\sqrt{S_{\text{осв}}}, \quad \text{(П.3)}$$

Для определения воздушной удаленности освоенной территории на план города необходимо нанести ряд окружностей через 1 км с центром в главном транспортном узле и подсчитать площадь каждой кольцевой зоны в границах освоенной территории (под главным транспортным узлом города понимается узел скрещения главных транспортных диаметров города, который расположен в наибольшей близости к пунктам с наименьшей удаленностью («центром тяжести») мест приложения труда, размещения населения и фокусов нетрудового тяготения). Величина A_0 определяется по формуле

$$A_0 = \frac{\sum S_{i-(i+1)}\,(L_i + L_{i+1})}{2S_{\text{осв}}}, \quad \text{(П.4)}$$

где $S_{i-(i+1)}$ – площадь кольцевой зоны между двумя смежными окружностями в границах освоенной территории, кв.км;

L_i, L_{i+1} – радиусы смежных окружностей, км.

По полученному значению производится классификация формы освоенной территории в соответствии с табл. П.2.

Таблица П.2

Классификация форм освоенных территорий

Группа городов	**Характеристика формы освоенной территории**	**Значение коэффициента формы освоенной территории для главного транспортного узла города**
I	Весьма компактная	1,00–1,10
II	Компактная	1,10–1,20
III	Умеренно компактная	1,20–1,40
IV	Малокомпактная	1,40–1,70
V	Некомпактная	1,70–2,10
VI	Совсем некомпактная	более 2,10

3. Удаленность населения от главного транспортного узла или центра города

Показатель $L_{уд}$ – реальная удаленность населения от главного транспортного узла или центра города – является измерителем степени компактности городского плана, отражающего не только форму территории, но и характер размещения населения, особенности планировки улично-дорожной сети. Определение этого показателя производится на основе графоаналитического метода, заключающегося в построении километрограмм. Километрограмма – это совокупность километрических линий, представляющих собой геометрическое место точек, равноудаленных от центра построения по дальности пешеходного движения. Для построения километрических линий от центра построения по осям всех сходящихся улиц откладываются расстояния, равные 1, 2, 3 км и т.д. (рис. П.1). В полученных точках проводятся линии под углом 45 градусов к оси улиц до их взаимного пересечения. Образуются контуры равной удаленности от центра построения при пешеходных передвижениях.

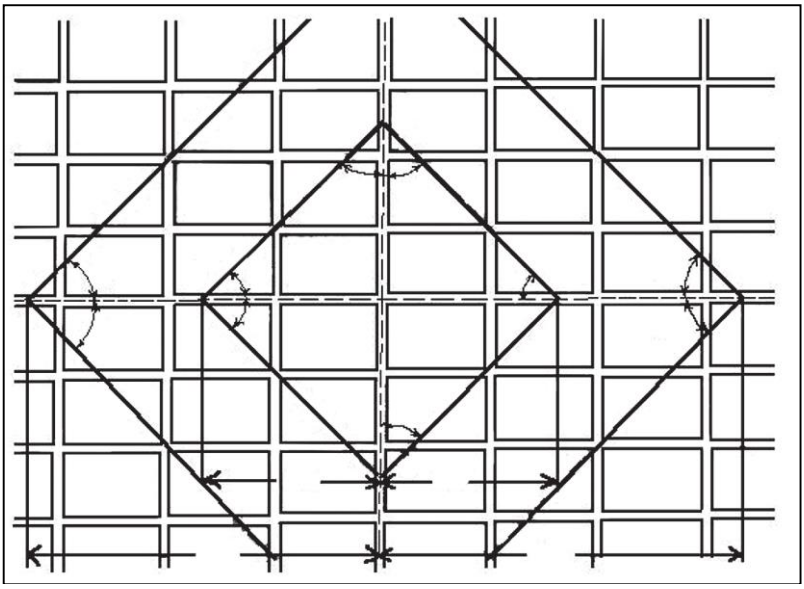


Рис. П.1. Принцип построения километрических линий

Для определения $L_{уд}$ необходимо подсчитать численность населени, проживающего в каждой километрической зоне. Показатель $L_{уд}$ определяется по формуле

$$L_{уд} = \frac{\sum N_{i-(i+1)} (L_i + L_{i+1})}{2N}, \qquad (П.5)$$

где $L_{уд}$ – удаленность населения от главного транспортного узла или центра города, км;

$N_{i-(i+1)}$ – численность населения, проживающая в каждой километрической зоне, чел.;

N – численность населения города, чел.

По полученному значению показателя удаленности населения производится классификация городов в соответствии с табл. П.3.

Таблица П.3

Классификация городов по удаленности населения от главного транспортного узла или центра города

Группа городов	**Степень удаленности населения**	**Значение коэффициента удаленности населения от главного транспортного узла или центра города**
I	Очень малая	менее 1,50
II	Малая	1,50–2,50
III	Умеренная	2,50–4,00
IV	Большая	4,00–6,00
V	Очень большая	6,00–8,50
VI	Исключительно большая	более 8,50

4. Коэффициент непрямолинейности сообщений

Коэффициент непрямолинейности сообщений ρ_0, связывающих жилые районы с главным транспортным узлом или центром города, определяется по формуле

$$\rho_0 = \frac{L_{уд}}{L_0}, \qquad (П.6)$$

где ρ_0 – коэффициент непрямолинейности сообщений;

L_0 – воздушная удаленность населения от главного транспортного узла или центра города, км.

Воздушная удаленность населения определяется по планограмме размещения населения путем нанесения окружностей через 1 км и подсчета количества населения по каждой кольцевой зоне. Расчет воздушной удаленности производится по формуле

$$L_0 = \frac{\sum N_{0(i-(i+1))}\left(L_{0i} + L_{0(i+1)}\right)}{2N}, \qquad (П.7)$$

В общем случае (вне привязки к главному транспортному узлу или центру города) коэффициент непрямолинейности может определяться следующим образом. От заданного пункта города (0) до объектов тяготения, расположенных по периметру (1, 2, 3...) на масштабной схеме проводятся прямые связи и измеряются воздушные расстояния. Аналогично измеряются расстояния между этими пунктами по транспортной сети.

По полученным значениям коэффициента ρ_0 оценивается конфигурация сетей городских путей сообщения по степени непрямолинейности (табл. П.4).

Таблица П.4

Классификация транспортных сетей
по степени непрямолинейности

Группа городов	**Степень непрямолинейности сети**	**Значение коэффициента непрямолинейности для главного транспортного узла или центра города**
I	Исключительно высокая	более 1,30
II	Очень высокая	1,25–1,30
III	Высокая	1,20–1,25
IV	Умеренная	1,15–1,20
V	Малая	1,10–1,15
VI	Очень малая	менее 1,10

Рекомендуемое значение коэффициента непрямолинейности на связях с главным транспортным узлом или центром города – не более 1,15.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Показатели функционирования транспортной сети города

1. Линейная плотность транспортной сети города

Линейная плотность транспортной сети города рассчитывается по формуле

$$\delta_{\text{лс}} = \frac{\sum L_{\text{г}} + \sum L_{\text{р}}}{S}, \qquad \text{(П.8)}$$

где $\delta_{\text{лс}}$ – линейная плотность транспортной сети города, км/кв.км;

$\sum L_{\text{г}}$ – суммарная протяженность магистральных улиц общегородского значения, км;

$\sum L_{\text{р}}$ – суммарная протяженность магистральных улиц районного значения, км;

S – площадь города, кв.км.

2. Среднее число полос движения магистралей в одном направлении

Среднее число полос движения магистралей в одном направлении определяется по формуле

$$n_{\text{ср}} = \frac{\sum L_{\text{г}}\, n_{\text{г}} + \sum L_{\text{р}}\, n_{\text{р}}}{L_{\text{м}}}, \qquad \text{(П.9)}$$

где $n_{\text{ср}}$ – среднее число полос движения магистралей в одном направлении;

$L_{\text{г}}$ – протяженность улицы общегородского значения, км;

$n_{\text{г}}$ – среднее число полос движения магистрали общегородского значения в одном направлении;

$L_{\text{р}}$ – протяженность улицы районного значения, км;

$n_{\text{р}}$ – среднее число полос движения магистрали районного значения в одном направлении;

$L_{\text{м}}$ – суммарная протяженность магистральной сети города, км.

3. Полосная плотность транспортной сети

Полосная плотность транспортной сети рассчитывается по формуле

$$\delta_{\text{п}} = \frac{L_{\text{м}}\, n_{\text{ср}}}{S} = \delta_{\text{лс}}\, n_{\text{ср}}, \qquad \text{(П.10)}$$

где $\delta_{\text{п}}$ – полосная плотность транспортной сети;

$\delta_{\text{лс}}$ – линейная плотность транспортной сети города, км/кв.км;

S – площадь города, кв.км.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овечников, Е.В. Городской транспорт: учебное пособие для вузов / Е.В. Овечников, М.С. Фишельсон. – М.: Высшая школа, 1976. – 352 с.
2. Лосин, Л.А. Административно-территориальные преобразования и формирование локальных центров расселения на территории Санкт-Петербургской городской агломерации / Л.А. Лосин, В.В. Солодилов, Г.П. Ляпунова // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – № 2 (61). – 2020.
3. Сосновский, В.А. Прикладные методы градостроительных исследований / В.А. Сосновский, Н.С. Русакова. – М.: Архитектура-С, 2006. – 112 с.
4. Расчет транспортной подвижности населения Санкт-Петербурга с использованием городского общественного и индивидуального пассажирского транспорта. Материалы по обоснованию проектных решений Генерального плана Санкт-Петербурга. Отв. исполнитель – В.В. Солодилов. – СПб.: ЗАО «Петербургский НИПИГрад», 2004.
5. Сафронов, Э.А. Транспортные системы городов и регионов / Э.А. Сафронов. – М.: изд-во АСВ, 2007. – 288 с.
6. Горбанев, Р.В. Городской транспорт / Р.В. Горбанев. – М.: Улей, 2017. – 245 с.
7. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с.
8. Сницарь, М.Я. Определение сравнительной эффективности применения различных видов скоростного общественного транспорта / М.Я. Сницарь // Город и пассажир. Градостроительные проблемы развития пассажирского транспорта: тезисы докладов к III Ленинградской научной конференции. – Л.: Стройиздат, 1975. – С. 149–153.
9. Самойлов, Д.С. Городской транспорт. Учебник для вузов – 2-е издание, переработанное и дополненное / Д.С. Самойлов. – М.: Стройиздат, 1983. – 384 с.
10. Горев, А.Э. К вопросу об экономической эффективности городского пассажирского транспорта / А.Э. Горев // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3–4 (40–41). – С. 34–36.

11. Дудкин, Е.П. Основные аспекты проектирования систем рельсового транспорта в городах / Е.П. Дудкин, В.А. Черняева, С.А. Дороничева // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т.6., № 1. – С. 38–43.

12. Федоров, В.П. Методы математического моделирования для проектирования городской транспортной системы на досетевом уровне / В.П. Федоров, Л.А. Лосин // Транспорт Российской Федераци. – 2012. – № 2 (39). – С. 42–45.

13. Булавина, Л.В. Проектирование и оценка транспортной сети и маршрутной сети в городах / Л.В. Булавина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. – 50 с.

14. Горев, А.Э. Проектирование систем городского пассажирского транспорта / А.Э. Горев, Д.Т. Оспанов. – СПб.: ООО «Издательско-полиграфическая компания «КОСТА», 2018. – 256 с.

15. Сафронов, Э.А. Комплексная оценка эффективности систем городского пассажирского транспорта / Э.А. Сафронов // Проблемы больших городов: выпуск 3. – М.: МГЦНТИ, 1990. – 22 с.

16. Капский, Д.В. Методика преобразования маршрутной сети городского пассажирского транспорта, позволяющая повысить безопасность дорожного движения путём минимизации некоторых опасных манёвров (на примере Т-образного перекрёстка ул. Трусова и Строителей в г. Борисове) / Д.В. Капский, Д.С. Закревский, С.С. Семченков / В сборнике: Образование. Транспорт. Инновации. Строительство. Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 219–225.

17. Капский, Д.В. Транспорт в планировке городов: Транспортное планирование, математическое моделирование / Учебно-методическое пособие / Капский Д.В., Лосин Л.А. – Минск: БНТУ, 2020. – 94 с.

18. Капский, Д.В. Градостроительные аспекты организации движения / Д.В. Капский, А.С. Луцкович // Перспективы развития транспортного комплекса: материалы IV Международ. заоч. науч.-практ. конф. (Минск, 2–4 окт. 2018 г.) / Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника»; редкол.: З.В. Машарский, В.С. Миленький, Т.Г. Таболич; рец.: Д.В. Капский, А.А. Ерофеев. – Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2018. – С. 90–94 с.

19. Капский, Д.В. Система городского общественного транспорта будущего / Д.В. Капский, Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть // Автомо-

бильные дороги: безопасность и надежность: сборник докладов МНТК. – Ч. 1, 22-23 ноября 2018 г. – ОНТИ ГП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ». – С. 194–202.

20. Улицы населенных пунктов. Строительные нормы проектирования = Вуліцы населеных пунктаў. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-3.03-227-2010 (02250). – Введ. 01.07.2011. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 46 с.

21. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки = Горадабудаўніцтва. Населеныя пункты. Нормы планіроўкі і забудовы: ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). – 2008. – 68 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Термины и определения 5
1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ 7
1.1. Темы лекционных занятий и их содержание 7
1.2. Примерный перечень тем лабораторно-практических занятий 12
1.3. Примерный перечень вопросов к Государственному экзамену 13
2. ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА 16
3. ФОРМИРОВАНИЕ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ГОРОДА (АГЛОМЕРАЦИИ) 20
3.1. Анализ системы расселения. Оценка границ замкнутой системы расселения (агломерации) 20
3.2. Построение схемы транспортного районирования территории 22
3.3. Прогноз уровня подвижности населения на городском общественном транспорте 25
3.4. Общие принципы формирования транспортной сети города 26
3.5. Предварительное формирование топологической структуры сети ГОТ 29
4. ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ ГЕНЕРАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ 32
4.1. Общие подходы к формированию исходных информационных массивов 32
4.2. Поиск и систематизация информации о проектной численности населения и количестве мест приложения труда на основе документации территориального планирования 33
4.3. Прогноз численности населения по транспортным районам 35

4.4. Прогноз количества мест приложения труда по транспортным районам 41
4.5. Расчет параметров генерации поездок по транспортным районам 44
5. РАСЧЕТ МАТРИЦ МЕЖРАЙОННЫХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ 48
5.1. Расчет и балансировка часовой матрицы межрайонных корреспонденций на основе гравитационного подхода 48
5.2. Переход к среднесуточным значениям элементов матрицы межрайонных корреспонденций 55
6. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА 59
6.1. Построение картограммы (эпюры) пассажиропотоков 59
6.2. Расчет требуемого парка подвижного состава 61
6.3. Распределение перевозок по видам городского общественного транспорта 64
6.4. Проектирование маршрутной сети 68
6.5. Оценка эффективности функционирования системы ГОТ 70
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Показатели оценки планировочной структуры города с точки зрения потребности в транспорте 74
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Показатели функционирования транспортной сети города 80
Список используемой литературы 82

Учебное издание

КАПСКИЙ **Денис Васильевич**
ЛОСИН **Леонид Андреевич**

ТРАНСПОРТ В ПЛАНИРОВКЕ ГОРОДОВ

Пособие
для студентов специальности
1-44 01 02 «Организация дорожного движения»
1-44 01 06 «Эксплуатация интеллектуальных транспортных систем
на автомобильном и городском транспорте»

Редактор *Т. А. Панкрат*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 22.03.2021. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Ризография.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 6,55. Тираж 300. Заказ 932.
Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных ɹаний № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.