

Ю.В. Трофименко
М.Р. Якимов



ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
КРУПНЫХ ГОРОДОВ

2 - е издание



Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов

**ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ:
ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
КРУПНЫХ ГОРОДОВ**



Пермь
2022

УДК 654.1/5(470.53-25)
ББК 39.11
T70

Рецензенты:

О.В. Евсеев, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения «Научный центр по комплексным транспортным проблемам Минтранса России», д.т.н.,

О.Н. Ларин, профессор кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Российского университета транспорта (МИИТ), д.т.н.

Трофименко Ю.В., Якимов М.Р.

T70 Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов : монография – 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов – Пермь: Агентство РАДАР, 2022. – 536 с.

ISBN 978-5-6048401-0-8

В монографии сформулированы цели и задачи функционирования транспортных систем крупных городов. Определены функция транспортной системы крупного города как части информационной системы и роль ее в повышении качества жизни населения. Представлена методика пространственного анализа территории города, получены закономерности транспортного поведения жителей крупных российских городов. Предложена многоуровневая система показателей оценки качества функционирования транспортных систем городов.

Впервые предложено использовать теорию математического программирования для решения задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города. Разработаны принципы управления транспортной системой в условиях действующих ограничений. Детально описан процесс выработки и принятия решений по созданию эффективной транспортной системы крупного города.

Для специалистов в области управления транспортными системами городов, руководителей и специалистов органов власти крупных городов, проектировщиков, студентов, аспирантов и преподавателей транспортных вузов и специальностей.

ISBN 978-5-6048401-0-8

© М.Р. Якимов, 2022

© Агентство РАДАР, 2022

Содержание

Предисловие ко второму изданию	11
Предисловие к первому изданию	15
Введение.....	18
Глава 1. ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ В ГОРОДАХ.....	23
1.1. Термины и определения	23
1.2. Современные подходы к транспортному планированию и организации дорожного движения в городах.....	27
1.2.1. Планирование развития транспорта в крупных городах	27
1.2.2. Возможности и ограничения развития транспорт- ных систем.....	36
1.2.3. Принципы планирования городов и транспортной инфраструктуры	41
1.2.4. Подходы к транспортному планированию городов.....	45
1.2.4.1. Негативные последствия депопуляции.....	51
1.2.4.2. Компактный город	52
1.2.4.3. Эффективность использования улично-дорожной сети.....	53
1.3. Научные исследования транспортных систем городов	54
1.3.1. Городское и транспортное планирование	54
1.3.2. Этапы развития транспортного планирования.....	57
1.3.3. Современные направления исследования транспортных систем	61
1.3.3.1. Транспортный поток, его характеристики	62
1.3.3.2. Ресурсный подход к оценке транспортных систем городов.....	63
1.3.3.3. Современные прикладные исследования транспортных систем городов.....	65
1.3.4. Математические транспортные модели.....	67
1.3.4.1. Основы классификации транспортных моделей	69
1.3.4.2. Структура и взаимосвязь транспортных моделей.....	72
1.3.4.3. Критерии оценки эффективности транспортных систем.....	78
1.4. Движущие силы и ограничения развития транспортных систем городов	80
1.4.1. Роль и движущие силы развития транспортных систем. 80	
1.4.1.1. Фазы развития человеческого общества и его подвижность	80

1.4.1.2. Благополучие человечества и качество жизни в городах.....	83
1.4.1.3. Транспортная система как часть информационной системы.....	88
1.4.1.4. Транспортные системы в материальном потреблении.....	99
1.4.1.5. Транспортная доступность и транспортные издержки.....	101
1.4.2. Ограничения развития транспортных систем на урбанизированных территориях.....	105
1.4.2.1. Ресурсные ограничения развития транспортных систем.....	105
1.4.2.2. Экологические ограничения развития транспортных систем.....	113
1.4.3. Понятие эффективности транспортной системы крупного города.....	115
1.5. Выводы по главе 1.....	118
Глава 2. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОГО АНАЛИЗА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ.....	120
2.1. Анализ использования городской территории.....	121
2.1.1. Пространственно-неравномерная модель формирования транспортного спроса.....	122
2.1.2. Методика анализа территориального баланса городских территорий.....	132
2.1.2.1 Транспортный спрос в городах. Сегменты транс- портного спроса. Особенности представления транспорт- ного спроса на территории. Виды городов, конфигурации.....	135
2.1.2.2. Методы формализации пространственного распределения структурных элементов городской среды при транспортном анализе территории.....	139
2.2. Анализ транспортной подвижности населения.....	149
2.2.1. Анализ автомобилизации и общей подвижности населения городов.....	150
2.2.2. Анализ разделения (расщепления) транспортных корреспонденций по видам транспорта (Modal Split).....	161
2.3. Система мониторинга состояния и режимов функцио- нирования дорожно-транспортного комплекса крупных городов.....	169
2.3.1. Анализ объемов транспортного предложения в крупных городах.....	173
2.3.1.1. Анализ состава парка транспортных средств крупных городов.....	173

2.3.1.2. Анализ подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования.....	175
2.3.1.3. Техническое состояние и динамика развития улично-дорожной сети.....	176
2.3.2. Анализ режимов работы улично-дорожной сети города с использованием современных геоинформационных систем.....	179
2.3.2.1. Анализ общего роста интенсивности дорожного движения на УДС города.....	182
2.3.2.2 Динамика изменения пиковой интенсивности транспортных потоков.....	187
2.3.2.3. Структурный анализ транспортного потока.....	197
2.3.2.4. Недельные колебания интенсивности транспортных потоков.....	198
2.3.2.5. Анализ скоростных параметров транспортных потоков.....	199
2.3.2.6. Анализ количества ежедневно эксплуатируемого автотранспорта.....	202
2.3.2.7. Анализ сезонной динамики изменения параметров движения в выбранных сечениях УДС.....	206
2.3.2.8. Анализ транспортной подвижности населения.....	207
2.3.2.9. Программа мониторинга состояния и условий движения на улично-дорожной сети городов.....	210
2.4. Выводы по главе 2.....	215

Глава 3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ.....217

3.1. Теоретико-прикладные основы создания прогнозных транспортных моделей городов.....	217
3.1.1. Мировой опыт создания прогнозных моделей. Современные инструменты транспортного моделирования.....	220
3.1.2. Структурная схема прогнозной транспортной модели.....	225
3.1.3. Основные показатели качества транспортных моделей.....	231
3.1.4. Калибровка транспортных моделей.....	233
3.1.5. Оценка качества транспортной модели.....	235
3.6.1. Возможности анализа результатов моделирования.....	238
3.2. Методы оценки качества функционирования действующих транспортных систем городов.....	245
3.2.1. Общие показатели качества функционирования транспортных систем городов.....	246
3.2.2. Методика формализации и оценки транспортного спроса. Транспортная зависимость территории.....	250

3.2.3. Дифференцированные показатели качества функционирования транспортных систем городов.....	259
3.2.4. Показатели качества транспортного планирования и методы их оценки.....	271
3.2.5. Показатели качества организации дорожного движения в городах и методы их оценки	278
3.2.6. Динамический анализ качества транспортных систем ..	284
3.2.7. Пространственный анализ функционирования транспортных систем с учетом энергетических ограничений.....	286
3.3. Выводы по главе 3.....	292

Глава 4. ОПТИМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА.....294

4.1. Математические модели в задачах оптимизации	294
4.1.1. Транспортные модели различного назначения.....	294
4.1.2. Объект и предмет оптимизации	297
4.1.3. Решаемые задачи	299
4.1.4. Способ исследования	300
4.2. Постановка оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города.....	305
4.2.1. Логико-графическая модель постановки оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города.....	305
4.2.2. Возможные способы формализации задачи формирования эффективной транспортной системы	307
4.2.2.1. Задача распределения транспортного спроса	316
4.2.2.2. Задача распределения транспортного предложения ...	319
4.3. Построение математической модели оптимизационной задачи	323
4.3.1. Задание степеней свободы оптимальной модели. Выбор переменных.....	323
4.3.2. Формирование целевой функции оптимальной модели	326
4.3.3. Формирование системы ограничений математической модели оптимизационной задачи	327
4.3.3.1. Структурная схема ограничений оптимальной модели.....	327
4.3.3.2. Ограничение по транспортному спросу.....	332
4.3.3.2.1. Постановка ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях в общем виде	334
4.3.3.2.2. Постановка левой части ограничения	334
4.3.3.2.3. Постановка правой части ограничения.....	335

4.3.3.2.4. Постановка ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях для модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми	335
4.3.3.3. Ограничение по протяженности существующей УДС	337
4.3.3.3.1. Постановка ограничения по протяженности существующей УДС в общем виде.....	339
4.3.3.3.2. Постановка левой части ограничения	339
4.3.3.3.3. Постановка правой части ограничения.....	340
4.3.3.3.4. Постановка ограничения по протяженности существующей УДС для модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.....	340
4.3.3.3.5. Учет наличия выделенных полос для движения общественного транспорта.....	342
4.3.3.4. Ограничение по имеющемуся подвижному составу.....	344
4.3.3.4.1. Постановка ограничения по подвижному составу в общем виде.....	348
4.3.3.4.2. Постановка правой части ограничения.....	348
4.3.3.4.3. Постановка левой части ограничения	348
4.3.3.4.4. Постановка ограничения по имеющемуся подвижному составу для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми	350
4.3.3.5. Особенности построения энергетических ограничений	350
4.3.3.6. Экологическое ограничение	351
4.3.3.6.1. Постановка экологического ограничения в общем виде.....	354
4.3.3.6.2. Постановка левой части экологического ограничения	354
4.3.3.6.3. Постановка правой части экологического ограничения.....	355
4.3.3.6.4. Постановка экологического ограничения для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми	355
4.3.3.7. Постановка ограничения по уровню шума.....	357
4.3.3.7.1. Постановка ограничения по уровню транспортного шума в общем виде.....	359
4.3.3.7.2. Постановка правой части ограничения по уровню транспортного шума	359
4.3.3.7.3. Расчет левой части ограничения по уровню шума	365

4.3.3.7.4. Постановка ограничения по уровню шума для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми	369
4.3.3.7.5. Сравнение алгоритмов расчета правой и левой частей при формировании ограничения по уровню транспортного шума	370
4.3.3.8. Ограничения по рискам возникновения ДТП	371
4.3.3.8.1. Постановка ограничения по риску возникновения ДТП в общем виде	374
4.3.3.8.2. Постановка левой части ограничения	374
4.3.3.8.3. Постановка правой части ограничения	375
4.3.3.8.4. Постановка ограничения по риску ДТП для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми	381
4.3.4. Оптимальная модель формирования эффективной транспортной системы российского города на примере города Перми	384
4.3.5. Оптимальная модель формирования эффективной транспортной системы региона	390
4.3.5.1. Формирование целевой функции для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций	391
4.3.5.2. Постановка ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях	392
4.3.5.3. Постановка экологического ограничения	392
4.3.5.4. Постановка ограничения по рискам возникновения ДТП	393
4.3.5.5. Постановка ограничения по численности подвижного состава ПТОП	393
4.3.5.6. Постановка ограничения по скорости сообщения внутри региона	395
4.3.5.6.1. Постановка ограничения по скорости сообщения внутри региона в общем виде	395
4.3.5.6.2. Постановка левой части ограничения	395
4.3.5.6.3. Постановка правой части ограничения	396
4.4. Поиск решения оптимизационной задачи	397
4.5. Анализ решения оптимальной модели	398
4.5.1. Оптимальная модель двойственной задачи	402
4.6. Решение оптимизационных задач в альтернативной постановке	410
4.7. Выводы по главе 4	420

Глава 5. ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ КРУПНОГО ГОРОДА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОГРАНИЧЕНИЙ.....	423
5.1. Основы теории управления природно-техническими системами	423
5.2. Субъективные и объективные проблемы развития управления транспортными системами в городах. Несовершенство существующей системы управления	428
5.2.1. Объективные проблемы развития транспортных систем городов.....	428
5.2.2. Субъективные проблемы управления развитием транспортных систем городов.....	429
5.2.2.1. Несовершенство системы организации и управления развитием дорожно-транспортного комплекса	429
5.2.2.2. Недостаточная законодательная база в области управления транспортной системой города.....	433
5.2.2.3. Недостаточная информационная составляющая при принятии управленческих решений.....	438
5.2.2.4. Недостатки финансирования развития средств организации и управления движением.....	441
5.2.2.5. Нерешенность имущественных вопросов и вопросов разграничения прав собственности и управления объектами транспортной инфраструктуры	442
5.2.2.6. Негативное влияние человеческого фактора	446
5.2.3. Прогноз ситуации.....	446
5.3. Принципы формирования системы государственного и муниципального управления транспортом крупного города.....	447
5.4. Концепция управления транспортной системой крупного города	454
5.4.1. Приоритеты управления транспортной системой крупного города	457
5.4.2. Принципы управления транспортной системой крупного города	458
5.4.3. Управление развитием дорожно-транспортного комплекса города	460
5.4.4. Управление развитием системы городского пассажирского транспорта общего пользования.....	464
5.4.4.1. Двойственность услуги по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования	464
5.4.4.1.1. Потребители услуги.....	465

5.4.4.1.2. Поставщики услуги.....	465
5.4.4.1.3. Оплата услуги	465
5.4.4.1.4. Ответственность за оказание услуги	465
5.4.4.2. Виды взаимодействий в системе городского пассажирского транспорта общего пользования.....	466
5.4.4.3. Принципы управления системой городского пассажирского транспорта общего пользования.....	472
5.4.4.4. Инструменты управления и регулирования.....	473
5.4.4.5. Требования к качеству предоставления услуг по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования.....	496
5.4.4.6. Система правоустанавливающих и нормативных документов в сфере организации транс- портного обслуживания населения городским пассажир- ским транспортом общего пользования	497
5.5. Стратегия управления транспортной системой крупного города	500
5.5.1. Стратегия выработки управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспорт- ной системы.....	502
5.5.2. Стратегия выбора и принятия управленческих ре- шений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы.....	506
5.5.2.1. Основные принципы стратегии выбора.....	506
5.5.2.2. Методика обоснования выбора	507
5.5.3. Возможные негативные последствия ошибок в управлении развитием городских транспортных систем городов.....	508
5.6. Выводы по главе 5.....	513
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	515
Список литературы	520

Предисловие ко второму изданию

Следует констатировать, что с момента выхода в свет первого издания настоящей книги в Российской Федерации произошли достаточно заметные изменения в сфере транспортного планирования, транспортного строительства, организации и управления дорожным движением. Эти изменения произошли сразу во всех уровнях воздействия при формировании эффективной транспортной системы города и затронули как управленческий уровень, так и законодательно-нормативный уровень, и организационно-технический уровень. Описанные в первом издании книги объективные и субъективные проблемы, возникающие в процессе развития транспортных систем крупных городов, получили за это время чёткие формулировки, а их решения нашли своё отражение в целом ряде законодательных и нормотворческих инициатив законодательной власти и исполнительной власти на уровне Правительства Российской Федерации и Министерства транспорта Российской Федерации.

С момента выхода в свет первого издания книги российское законодательство пополнилось значительным количеством новых, либо трансформированных под современные реалии законов Российской Федерации, так или иначе касающихся развития транспортных систем городов. В 2014 году были внесены изменения в Градостроительный кодекс Российской Федерации, предусматривающие разработку программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов (Федеральный закон от 29.12.2014 N 456-ФЗ). В 2015 году было принято постановление Правительства Российской Федерации № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». В 2016 году был

издан приказ Минтранса России № 131 «Об утверждении порядка осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». В 2017 году был утвержден федеральный закон от 29.12.2017 № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации». В 2018 году было принято Постановление Правительства от 16.11.2018 № 1379 «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета», были изданы приказ Минтранса России от 26.12.2018 № 479 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения в части расчета значений основных параметров дорожного движения», приказ Минтранса России от 13.11.2018 № 406 «Об утверждении классификации работ по организации дорожного движения». В 2019 году был издан приказ Минтранса России от 18.04.2019 № 114 «Об утверждении Порядка осуществления мониторинга дорожного движения». В 2020 году были изданы приказ Минтранса России от 30.07.2020 № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения», приказ Минтранса России от 28.07.2020 № 260 «Об утверждении перечня профессий и должностей, связанных с организацией дорожного движения, и квалификационных требований к ним».

Значительное внимание вопросам развития транспортных систем городов уделялось на высоком уровне управления государством. Это, в свою очередь, нашло своё выражение в появлении ряда стратегических документов Российской Федерации: Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, Государственной программе Российской Федерации «Развитие транспортной системы», национальном проекте «Безопасные качественные дороги», Комплексном плане модернизации и расширения магистральной инфраструктуры (КПМИ), Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы.

Однако главным итогом прошедших лет следует называть не совершенствование системы управления, совершенствование законодательных основ или технологий формирования эффективных транспортных систем крупных городов, а изменения, произошедшие в сознании большинства пользователей автомобильных дорог и транспортных систем крупных городов относительно приоритетов их развития, целей этого развития, а также тех критериев, по кото-

рым можно судить об эффективности развития и текущего функционирования. Оценки эффективности развития транспортных систем городов получили более развернутую систему координат. Наравне с критерием безопасности транспортной инфраструктуры, безопасности дорожного движения и повышением пропускной способности элементов улично-дорожной сети появились в том числе и совершенно не используемые ранее критерии ее оценки, такие как время реализации транспортных корреспонденций, обобщенные показатели качества жизни населения, комфорт и удобство пешеходного движения, качество городской среды и многие другие. Подобная трансформация, пересмотр целей и приоритетов транспортного развития городов стал результатом значительно возросшей роли современных институтов популяризации в современной науке, таких как новые формы конференций, семинаров, вебинаров, публичных лекций, а также широкого использования социальных сетей в пространстве интернет. Именно социальные сети и интернет-ресурсы стали основной площадкой обсуждения принципов развития современных городов, в том числе и развития их транспортных систем. Именно интернет-технологии, повышение общей открытости общества, ускорение и увеличение информационного обмена и коммуникаций на междисциплинарном уровне породили за последние годы некоторое количество обособленных направлений профессиональной принадлежности людей, в том числе и людей, тем или иным образом занимающихся транспортным планированием городов. Множество людей в широком информационном пространстве стали позиционировать себя как «урбанисты» или «транспортники». Кристаллизуемая в подобных определениях профессиональная принадлежность людей породила новые интересные формы их взаимодействия с традиционной наукой, властью, бизнесом и обществом. Заметно усилились позиции средств массовой информации, а также приравненных к ним популярных блогеров в процессе обсуждения и поиска эффективных механизмов, мероприятий по повышению эффективности функционирования транспортных систем городов.

Вместе с тем, по-прежнему остается актуальной задача поиска новых подходов к выработке конкретных управленческих решений, направленных на повышение эффективности функционирования транспортных систем городов, технологии выработки и выбора этих решений на основе широкого спектра собираемой информации о существующем состоянии и функционировании транспортных систем городов. Следует констатировать, что за последние 10 лет существен-

но изменился баланс между объёмом, качеством исходной информации о состоянии и функционировании транспортных систем городов и наличием качественных алгоритмов обработки этой информации с целью выработки и выбора эффективных управленческих решений. С ростом цифровизации экономики, цифровизации процессов управления и эффективного функционирования транспортных систем в городах, увеличением и повышением качества каналов связи и передачи информации, увеличением объёмов хранимой информации в большинстве случаев исчезла проблема нехватки исходной информации для её последующего анализа при использовании уже существующих, а также вновь разрабатываемых алгоритмов её обработки. Текущая задача совершенствования системы управления развитием транспортного комплекса в крупных городах заключается в поиске новых алгоритмов, позволяющих получать взвешенные и обоснованные решения по развитию и управлению тех или иных систем транспорта на основе огромного массива информации, ежедневно собираемого с улиц и дорог крупных городов. Избыток исходной информации не принес качественно новых результатов в процессы обоснования и выработки тех или иных управленческих решений и является на настоящий момент определенным сдерживающим фактором в формировании стройной концепции и технологий повышения эффективности функционирования транспортных систем в крупных городах и агломерациях.

Второе издание этой книги во многом конкретизирует и закрепляет изложенные ранее подходы к формированию эффективных транспортных систем городов, актуализирует их в изменившемся правовом поле, с учетом изменившихся подходов к общей оценке качества жизни в городах. Вместе с тем, идея книги по-прежнему основана на формализации связи между качеством жизни в современных городах и эффективностью функционирования их транспортных систем. Предлагаемые подходы позволяют выстроить стройную систему управления развитием транспортных систем городов, дают читателю действенные инструменты выработки эффективных управленческих решений с целью повышения качества жизни в городах.

Предисловие к первому изданию

Процесс урбанизации стремительно развивается в большинстве государств мира и усугубляет проблемы нехватки энергии, земельных и других природных ресурсов, загрязнения окружающей среды на локальных территориях. Города должны развиваться таким образом, чтобы минимизировать отходы во всех их формах, а также способствовать сохранению биоразнообразия и экосистем, обеспечить людей основными элементами благосостояния, эффективными в плане ресурсов и энергии.

В фокусе урбанистической революции, свидетелями которой мы являемся, оказался пересмотр понятий дизайна, городского и транспортного планирования¹. Развитию транспорта в этом процессе отводилась особая роль, так как транспортная система во многом формирует стиль жизни и передвижения людей в условиях агломерации, площадь территории которой составляет десятки тысяч гектаров. Городской транспорт должен, с одной стороны, создавать новые транспортные возможности по доступности, скорости, уровню комфорта и безопасности, но с другой – снижать спрос (мобильность) людей на перемещение личным автотранспортом в пользу общественного транспорта, а также велосипедного и пешеходного движения.

Разработка и принятие интегрированных решений по рациональному и безопасному использованию различных видов городского транспорта и их взаимодействию для удовлетворения разнообразных транспортных потребностей населения в реальном времени, то

¹ Vision 2050. The new agenda for business. World Business Council for Sustainable Development. 2010 February. // www.wbcsd.org.

есть управление этой сложной природно-технической системой не может быть эффективным, если ориентироваться только на образы, жизненный или профессиональный опыт лиц, принимающих решения, зарубежный опыт, мнение населения и упрощенные технологии.

Необходимо вводить показатели эффективности функционирования городских транспортных систем, осуществлять их количественную оценку, решать оптимизационные задачи, вводя сотни и тысячи взаимосвязанных переменных в условиях разного рода ограничений (пространственных, временных, экологических).

На основании решения оптимизационных задач следует разработать алгоритмы управления транспортным спросом и формирования адекватных уровню развития автомобилизации моделей транспортного поведения населения.

В крупных российских городах необходимо переходить от «афро-азиатской» модели транспортного поведения, характерной для уровня автомобилизации 100-150 авт./1000 жителей – «еду куда хочу, когда хочу, на чем хочу» (на старых экологически опасных транспортных средствах), к современной модели поведения, характерной для уровня автомобилизации 400-500 и более авт./1000 жителей, предусматривающей наличие ограничений на моторизованное передвижение, то есть реализацию различных мер по сдерживанию мобильности населения, совершенствованию информационных технологий.

В их числе: опережающее развитие общественного транспорта, прежде всего скоростных его видов, пересадочных узлов, выделенные полосы для наземного общественного транспорта, организация парковочного пространства в центральной части города на новых принципах, запрет на въезд на определенные городские территории автомобилей с учетом их экологического класса, развитие велосипедного движения и обустройство пешеходных улиц, интеллектуальные системы контроля и организации дорожного движения.

Обоснование этих и других социально чувствительных мер по сдерживанию мобильности населения должно осуществляться не по наитию, методом проб и ошибок, а на основании результатов имитационного моделирования, включающего моделирование в реальном времени не только транспортных потоков (ТП) на улично-дорожной сети крупного города, но и пешеходных потоков в пересадочных узлах, на пешеходных улицах и тротуарах, велотранспортных потоков на общей и выделенной сети как взаимосвязанных элементов транспортной системы города.

Разработанные и приведенные в данной монографии показатели оценки эффективности транспортной системы крупного города, методы и результаты их количественной оценки, постановка и решение оптимизационных транспортных задач с использованием современных пакетов прикладных программ и методов визуализации, по мнению авторов, должны стать интеллектуальными кирпичиками, заложенными в основу нового научного направления по транспортному планированию городов на принципах их устойчивого развития и повышения качества жизни людей.

Те, кто писал эту книгу, надеются, что использование разработанного и приведенного в монографии инструментария в практике транспортного планирования позволит минимизировать издержки при формировании эффективных и безопасных транспортных систем крупных российских городов, и будут признательны за отзывы, пожелания в отношении содержания книги, которые следует направлять по адресу электронной почты: yakimov@rosacademtrans.ru.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Центра дорожной информации Галине Николаевне Быданцевой и Юрию Александровичу Попову за помощь в подготовке этого издания.

Введение

С каждым годом доля городских жителей на Земле увеличивается. По состоянию на 2020 год 56,2 % населения Земли проживает в городах. За последние 15 лет доля городского населения в мире увеличилась на 8,3%¹. Двигателями экономического роста всех стран являются города. Все города на планете по площади составляют менее 2% суши Земли, при этом обеспечивают более 80% мирового ВВП. За счет своего экономического влияния, города с каждым днем притягивают к себе все больше и больше людей. К 2050 году в городах будет жить приблизительно 6,5 млрд человек. В России почти 3/4 населения, а именно 109,5 миллионов человек живет в городах, и это число, судя по тенденциям мирового развития, в обозримой перспективе будет только возрастать. Поэтому устойчивое развитие городов – задача не менее важная, чем устойчивое развитие отдельных стран, регионов или иных образований.

Транспорт является неотъемлемым атрибутом городской среды, связующим элементом отдельных городских территорий и во многом определяет качество среды обитания. Его развитие не следует подавлять, но и он не должен доминировать над функциями города как места проживания над его культурным, социальным, производственным и торговым измерением. В то время как городское население растет, увеличивается и количество транспорта на дорогах. По данным аналитической компании Navigant research на планете сейчас насчитывается около 1,2 млрд автомобилей. При этом преимущественная часть от общего числа зарегистрированных еди-

¹ https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?year_high_desc=true.

ниц техники концентрируется в городах. К 2040 году ожидается рост количества транспорта до 1,6 млрд. единиц.

Не существует одного вида пассажирского транспорта, способного удовлетворить разнообразные потребности города. Система должна состоять из взаимодополняющих компонентов, включая индивидуальные способы передвижения (пешком, с использованием средств индивидуальной мобильности, на велосипеде, автомобиле), массовый общественный транспорт (метро, трамвай, троллейбус, автобус), обобществлённый транспорт (каршеринг) и такси.

Транспортное перемещение – единственная ежедневная фаза в жизни каждого человека, имеющая общие принципы социального взаимодействия в обществе при удовлетворении транспортных потребностей и недифференцированность потребления ресурсов в ходе этого процесса. Такое положение можно объяснить в первую очередь спецификой действующих технических систем по реализации транспортных потребностей людей в городах, которые функционируют на ограниченных площадях территорий общего пользования. Этот ограниченный территориальный ресурс, особенно в крупных городах с высокой плотностью населения и уровнем автомобилизации наиболее интенсивно используется для удовлетворения транспортных потребностей людей и экономики всеми видами транспорта.

В час пик горожанину на автомобиле требуется для движения в 30 раз больше территории, чем пассажиру автобуса, и в 40 раз больше, чем пассажиру рельсового транспорта. Для него площадь парковочного места на 20% больше площади его рабочего места. Эти территориальные потребности вызывают развитие городов по дисперсной модели и неудобны для пешеходов, что приводит к приватизации городского пространства, в котором исчезают места общественного доступа и возможности для социальных взаимодействий².

Чем больше в центре города используется общественный транспорт и пешеходное движение, тем больше по сравнению с пригородами он выигрывает в вариативности, удобстве и суммарных затратах жителей на передвижения. Чем в большую зависимость от автомобилей попадает город и чем дальше он пренебрегает альтернативными способами передвижения, тем выше вероятность упадка его центральных районов (плохая экология, стрессы, риски ДТП).

² Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / пер. с англ. А. Калинина под науч. ред. М. Блинкина. – М., 2011: Сер. «Университетская библиотека Александра Погорельского».

Отсюда возникают центробежные тенденции перемещения населения городов в пригороды, транспортные потребности которых обеспечиваются легковым автомобилем. Расползание пригородов ведет к появлению плохо спланированных территорий, росту расходов на транспортную и инженерную инфраструктуру (дороги, водоснабжение, канализация, тепло, энергоресурсы), увеличение потребления земельных и других ресурсов, социальное расслоение общества. Таким образом, под влиянием транспортной деятельности меняется окружающая людей природная и социальная среда, которая определяет качество жизни людей в городах.

При анализе эффективности функционирования транспортных систем городов первоочередной интерес вызывают технологии и алгоритмы оценки территории городов с точки зрения их возможности удовлетворять сложившийся транспортный спрос. Именно территориальные (в широком понимании этого термина) ограничения определяют возможности развития городов и в конечном итоге качество жизни в них.

Транспортное движение на городских улицах, как ничто другое, иллюстрирует тот факт, что потребности в моторизованном движении никогда не могут быть удовлетворены полностью. Увеличение транспортного предложения на отдельной территории, особенно в центре крупного города, приводит к отрицательным эффектам – увеличивается как затратная часть расходуемого под реализацию транспортного спроса ресурса, так и косвенный эффект от увеличения транспортного предложения, связанный, прежде всего, с негативным воздействием на окружающую среду.

Сообщества, живущие в городах с ярко выраженными постиндустриальными тенденциями, уже не способны содержать огромную общественную инфраструктуру, создававшуюся ранее в угоду развитию экономически сильных градообразующих производств. Российские города индустриального Севера, Дальнего Востока и Сибири также вошли в эту фазу своего развития.

Накапливающийся дисбаланс потребностей и возможностей городского сообщества в обустройстве среды обитания определяет на сегодня основные направления градостроительной политики крупных постиндустриальных городов. В последние десятилетия жителей современного крупного города все больше стали волновать две взаимоисключающие проблемы:

- 1) быстрая и мобильная жизнь в экономике;
- 2) обеспечение личного пространства.

Эти проблемы успешно решает личный автомобиль. При сохранении свободы выбора в перемещении, личного пространства и комфорта он обеспечивает максимальную мобильность и скорость реализации объективно обусловленных транспортных потребностей горожанина.

Индивидуальный транспорт, призванный быть эффективным средством улучшения качества жизни, превратился в свою полную противоположность и стал одной из основных причин, вызывающих глобальный кризис устойчивого функционирования городской среды. Серьезные финансовые вливания в развитие сети автомобильных дорог не дают положительного эффекта.

Дилемма, которая стоит перед городским сообществом, состоит в том, что, с одной стороны, необходимо сдерживать использование автомобилей в ограниченном пространстве центров городов, а с другой – стимулировать максимальное использование автомобилей с целью достижения максимальной мобильности населения на территориях, где это возможно. Представляется, что сбалансированное городское развитие с высоким уровнем качества жизни граждан может быть достигнуто только при наличии транспортной системы, в которой каждый вид транспорта действует на своей территории, в своей нише наиболее эффективного функционирования.

Вместе с тем, стоит отметить, что многие российские города столкнулись с потерей населения. Это основной фактор, определяющий вектор дальнейшего существования территории как города. Интенсивное и эффективное использование имеющихся городских ресурсов приобретает для таких городов гораздо большее значение, чем для стран и городов с растущей численностью населения.

Идея эффективного использования ресурсов, в первую очередь территориальных, выраженная в термине «компактный город», восходит к нынешнему состоянию нашей планеты, которое требует от нас более бережного отношения к ресурсам. Экологическая ответственность сегодня – необходимое условие жизни человека на Земле.

Из-за сложности процессов функционирования транспортных систем крупных городов до настоящего времени преобладают качественные (экспертные) оценки измерения эффективности реализации тех или иных мероприятий в области развития транспортных систем. Отсутствие системы координат, ограничений, показателей (критериев) оценки эффективности функционирования транспортных систем городов, учитывающих их мультимодальность, объясняется отсутствием адекватных методов количественной оценки спроса на услуги транспорта.

При наличии модели транспортного спроса становится возможным проведение исследований по сопоставлению затрат на функционирование транспортной системы, потребностей общества, а также степени их удовлетворения.

Можно выделить несколько научных задач, каждая из которых является необходимым звеном в построении общей методики повышения общей эффективности транспортной системы крупного города:

1) формирование подходов и способов анализа функционирования городских транспортных систем в целом и на отдельных территориях;

2) разработка системы мониторинга состояния и режимов функционирования транспортной системы города;

3) создание системы прогнозирования состояния функционирования транспортной системы города в пространстве и времени. Анализ эффективности функционирования городских транспортных систем;

4) создание инструментов выработки и выбора мероприятий по формированию эффективной транспортной системы города;

5) разработка принципов управления транспортной системой города в условиях действующих ограничений.

Каждая из этих научных задач отчасти основывается на уже известных научных подходах, применение которых найдено в решении локальных задач в области транспортного планирования, организации движения и в развитии транспортных систем городов в целом. Но в совокупности они составляют единый методологический подход к целенаправленному формированию эффективной транспортной системы крупного города. Рассмотрим их более подробно.

Глава 1

ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ В ГОРОДАХ

1.1. Термины и определения

С развитием городов, ростом автомобилизации, совершенствованием транспортной техники и технологий усложняется структура транспортных систем. Значительно расширился круг понятий, терминов и определений компонентов, составляющих транспортную систему.

Дадим несколько основных терминов, определения которых отчасти дается впервые и будет распространяться на весь контекст данного издания.

Вид транспорта (система транспорта) – совокупность средств транспортировки, объединенных в техническую систему, позволяющую решать задачи транспортировки в определенных эксплуатационных параметрах.

Городская агломерация – территория, включающая один или несколько центров, представляющих собой крупные городские поселения, а также прилегающие к центру городской агломерации территории, на которых расположены иные поселения, более половины трудоспособного населения которых реализует устойчивые ежедневные транспортные корреспонденции с центром городской агломерации.

Объекты транспортировки – люди, грузы, информация.

Пути транспортировки – неподвижные элементы транспортной инфраструктуры, предназначенные для реализации по ним транспортных связей.

Средства транспортировки – подвижные и неподвижные объекты, объединенные в технические системы по видам транспорта (системы транспорта).

Технические системы – совокупность искусственно созданных, упорядоченно взаимодействующих элементов, обладающих индивидуальными свойствами и предназначенные для выполнения определенных функций.

Транспорт – совокупность технических систем, предназначенных для осуществления транспортировки.

Транспортировка – процесс перемещения объектов транспортировки в пространстве.

Транспортная инфраструктура – совокупность неподвижных средств транспортировки, обеспечивающих функционирование различных систем транспорта.

Транспортная связь – наличие возможности для перемещения пассажиров, грузов и информации из одного места в другое.

Транспортная система – природно-техническая система, образованная в результате удовлетворения транспортных потребностей человека. Транспортная система включает в себя средства транспортировки, объекты транспортировки, а также окружающую среду.

Транспортные средства – подвижные средства транспортировки, предназначенные для перемещения в пространстве пассажиров, грузов и оборудования. К транспортным средствам относятся: воздушные суда, морские суда, суда внутреннего плавания, смешанного (река-море) плавания, железнодорожный подвижной состав, подвижной состав автомобильного и городского электрического транспорта.

В процессе формализации составных элементов и процессов, происходящих при функционировании транспортных систем, удобно использовать понятия «транспортный спрос» и «транспортное предложение». Они формализуют транспортные взаимодействия на конкретной ограниченной территории, например на территории города.

Транспортный спрос – устойчивый объем совершаемых транспортных перемещений, сложившийся в результате социально-экономических процессов, проходящих на отдельной территории.

Транспортный спрос учитывает транспортные потребности общества, даже если они удовлетворены частично или не удовлетворены совсем. Подобно транспортному предложению, транспортный спрос выражается в терминах, характеризующих число людей, объем или массу груза в единицу времени и места.

Транспортное предложение – совокупность имеющихся на отдельной территории средств транспортировки.

Транспортное предложение может быть формализовано как провозная способность транспортной инфраструктуры и систем транспорта, как правило, для географически определенной транспортной системы или отдельной территории. В частности, в городах транспортный спрос определяется показателями транспортной подвижности населения (средней, часовой, километровой), а транспортное предложение – это набор имеющихся в распоряжении городского сообщества средств транспортировки.

Рассматривая принципы функционирования транспортных систем на урбанизированных территориях, нужно существенным образом конкретизировать состав городской транспортной системы.

Термин «средства транспортировки» в данном случае более широкое понятие, чем «транспортные средства», под которыми обычно подразумеваются только подвижные объекты, представляющие собой ту или иную техническую систему по видам транспорта. Средства транспорта включают в себя все составляющие технических систем функционирования отдельных видов транспорта, без которых нормальное функционирование каждой из них невозможно. Нельзя четко разграничить объекты, объединенные понятием «средства транспорта», для каждой системы (вида) транспорта этот набор уникален. Можно выделить только типичные составляющие: транспортные средства, транспортная инфраструктура, объекты обслуживания, транспортные узлы и т.п. Для каждого вида транспорта существует свой набор элементов, определяющий принцип функционирования технической системы.

Все средства транспорта можно сгруппировать на две большие группы, объединенные в технические системы по транспортировке *материальных* объектов (людей, грузов, и технические системы по транспортировке *нематериальных* объектов (информации, сигналов). Технические системы по транспортировке информации и сигналов чаще называют *системами связи*.

Более привычными для традиционного понимания представляются технические системы транспортировки материальных объектов – пассажиров, грузов, а также технологического оборудования. Исключение составляет лишь авиационный и трубопроводный транспорт. У авиационного транспорта отсутствуют отдельные объекты, которые можно отнести к путям транспортировки, у трубопроводного транспорта, наоборот, отсутствуют подвижные объекты в системе, а перемещение осуществляется путем физической трансформации самого объекта перемещения (газа либо жидкости).

Технические системы различных видов транспорта взаимодействуют с природной системой, а также друг с другом, образуют при этом транспортную систему.

Важным представляется смысловое и терминологическое разделение объектов и субъектов управления. Удобно оперировать терминами «транспортная система» и входящими в неё «дорожно-транспортный комплекс», «участники дорожного движения», «окружающая среда». При этом связь (взаимодействие) этих составляющих можно видеть в терминах «транспортный спрос» и «транспортное предложение» как результат удовлетворения одного другим.

В связи с изложенным, объекты транспортировки (участники дорожного движения) не являются объектами управления. Методом исключения довольно легко определить, что управленческие воздействия могут быть направлены исключительно на средства транспортировки (в городах на дорожно-транспортный комплекс). И если вынести за скобки вопросы градостроительства, то все воздействия на работу транспортной системы должны находиться в области совершения транспортного предложения.

Интенсивность транспортного потока (интенсивность движения, объем движения) – количество транспортных средств, проезжающих через сечение дороги, улицы или иной транспортной связи за единицу времени, ТС/час.

Провозная способность автомобильной дороги, улицы или иной транспортной связи – максимальная масса грузов или количество пассажиров, которое возможно провести через сечение автомобильной дороги, улицы или иной транспортной связи в единицу времени.

Провозная способность системы транспорта – максимальное количество грузов или пассажиров, которое возможно провести через сечение автомобильной дороги, улицы или иной транспортной связи по одной полосе движения в единицу времени при помощи определенной системы транспорта.

Пропускная способность – это расчетный показатель, определяющий максимальное количество транспортных средств или пешеходов, которое может проследовать через сечение автомобильной дороги, улицы или иной транспортной связи в единицу времени в одном или двух направлениях в рассматриваемых дорожных и погодноклиматических условиях, ТС/час.

Стратегия транспортная (транспортная стратегия) – документ целеполагания развития транспортной системы, способ и план действий по достижению установленных целей.

Транспортная доступность – мера способности территории быть достигнутой или достигать другие территории при помощи транспорта. *Транспортная зависимость территории* – объем перемещения пассажиров (чел*км) или грузов (тонн*км) по данной территории в течение определенного промежутка времени при идеальном удовлетворении существующего транспортного спроса.

Транспортная корреспонденция – устойчивое, повторяющееся и реализуемое при помощи транспорта перемещение объекта транспортировки из одного места в другое с заранее выбранной целью.

Транспортные издержки – денежно-кредитная мера того, сколько должен заплатить транспортный потребитель, чтобы реализовать свою транспортную потребность.

Устойчивый транспорт – транспорт, функционирующий с использованием возобновляемых ресурсов со скоростью ниже их регенерации и с использованием невозобновляемых ресурсов со скоростью ниже темпов освоения их возобновляемых заменителей.

Устойчивость транспортной системы – способность транспортной системы удовлетворять транспортные потребности человека в настоящем, не лишая при этом будущие поколения возможности удовлетворять их транспортные потребности.

Эффективность – результат процесса, операции, проекта, определяемая как отношение эффекта, результата к затратам, обусловившим его получение.

Эффективность транспортной системы – это отношение полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным на это ресурсам.

1.2. Современные подходы к транспортному планированию и организации дорожного движения в городах

1.2.1. Планирование развития транспорта в крупных городах

Россия является федеративным государством, а это значит, что имеет общую для всех субъектов Российской Федерации исполнительную и законодательную власть, полномочия которой делегированы каждым субъектом Российской Федерации. В этой системе российские города, кроме городов федерального значения, таких как Москва, Санкт-Петербург и город Севастополь, не являются самостоятельными субъектами Российской Федерации. Управление

российскими городами, территориями компактного проживания большей части населения страны осуществляются органами местного самоуправления. Полномочия и зоны ответственности системы местного самоуправления определены в Федеральном законе от 06.10.2003 N 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». У подавляющего большинства российских городов для реализации полномочий, записанных в п. 5, п. 7 статьи 16 Федерального закона от 06.10.2003 N 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» не хватает собственных финансовых ресурсов. Вследствие этого органы власти муниципальных образований вынуждены постоянно запрашивать софинансирование у субъекта Российской Федерации, к которому они относятся, либо у бюджета Российской Федерации. Вследствие этого основную роль в развитии территории городов и их транспортных систем определяет уровень взаимодействия органов муниципальной власти с органами государственной власти субъекта Российской Федерации и федеральным Правительством, его планами и стратегиями.

В настоящее время основными документами стратегического планирования транспортной отрасли федерального уровня являются: Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р), Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы», национальный проект «Безопасные качественные дороги», Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры (КПМИ), Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы.

Транспортная стратегия Российской Федерации является основным документом государственно-стратегического планирования, определяющим развитие всего транспортного комплекса страны. Государственная программа Российской Федерации «Развитие транспортной системы» является одним из инструментов реализации Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. В государственной программе представлен план-график реализации федеральных проектов, ведомственных проектов, ведомственных целевых программ и отдельных мероприятий, цели и задачи которых соответствуют целям и задачам, отраженным в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

Национальный проект «Безопасные качественные дороги» (БКД) является самостоятельным проектом – инструментом реализации целей национального развития, имеющих приоритетное значение на определенном этапе развития государства и требующих для своего решения значительных ресурсов, предполагающих четко обозначенный конечный результат. В данном случае основной целью проекта является приведение в нормативное состояние дорожной сети, в первую очередь, в крупных городских агломерациях. Национальный проект БКД предполагает строительство и реконструкцию автомобильных дорог с применением современных технологий и материалов, приведение в нормативное состояние как федеральной, так и региональной сети дорог, развитие системы регулярных пассажирских перевозок, повышение безопасности движения с использованием интеллектуальных систем управления дорожным движением и других инноваций.

Еще одним национальным проектом является Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года (КПМИ). Комплексный план модернизации и расширения магистральной инфраструктуры разделен две части – транспортную и энергетическую. Цели национального проекта КПМИ так же способствуют достижению национальных целей развития Российской Федерации. В паспорте национального проекта КПМИ сформулированы задачи и мероприятия по каждому федеральному проекту, объем и источники финансирования каждого федерального проекта по годам реализации.

Еще одним документом стратегического планирования транспортной отрасли федерального уровня является Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы. Стратегия является основой планирования при реализации политики в области обеспечения безопасности дорожного движения на 2018 – 2024 годы, включает в себя результаты анализа состояния безопасности дорожного движения в Российской Федерации, а также совокупность мер, направленных на повышение безопасности дорожного движения и снижение тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий, сформированных на системной основе.

К региональным документам транспортного планирования относятся Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ), Комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД), Комплексная схема организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом (КСОТ), Комплексный план транспортного обслуживания (КПТО).

Необходимость разработки Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципального образования регламентируется Градостроительным кодексом РФ (Федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ, ст. 26 п.5 и ст.45 п.10). Согласно Градостроительному кодексу, «реализация генерального плана поселения, генерального плана городского округа осуществляется путем выполнения мероприятий, которые предусмотрены программами комплексного развития, в том числе программой комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». Состав и требования к Программам комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципального образования регламентируются Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов». При этом мониторинг за разработкой муниципалитетами Программ комплексного развития транспортной инфраструктуры был возложен на региональные органы исполнительной власти (Приказ Министерства транспорта РФ от 26 мая 2016 г. № 131 «Об утверждении порядка осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов»).

Аналогичным образом необходимость разработки муниципалитетами Комплексных схем организации дорожного движения определена требованиями п.5 ст. 16 Федерального закона от 29 декабря 2017 г. № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Состав и требования к Комплексным схемам организации дорожного движения муниципальных образований были изначально определены Приказом Министерства транспорта РФ от 17 марта 2015 г. № 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения».

Далее вместо приказа Министерства транспорта РФ от 17 марта 2015 г. № 43 был введен в действие Приказ Министерства транспорта РФ от 26 декабря 2018 г. № 480 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения». Данный приказ прекратил действие с января 2021 года на основании Постановления Правительства Российской Федерации от 26.10.2020 № 1742 «О признании утратившими силу актов и отдельных положений актов Правительства Российской Федерации, об отмене некоторых актов и отдельных положений актов федеральных органов

исполнительной власти, содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю при осуществлении федерального государственного транспортного надзора, федерального государственного контроля (надзора) в области транспортной безопасности, а также обязательные требования в области технического осмотра транспортных средств». С января 2021 года взамен Приказа № 480 вступил в действие Приказ Министерства транспорта РФ от 30 июля 2020 г. № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения».

Необходимость изменений в системе пассажирских перевозок на территории муниципалитетов и регионов была связана с принятием Федерального закона от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Так, согласно требованиям закона, для каждого маршрута регулярных перевозок организатору перевозок необходимо было определить вид перевозок (по регулируемому тарифу или по нерегулируемому тарифу), заключить с перевозчиками муниципальные контракты на осуществление регулярных перевозок или выдать свидетельства для работы на маршрутах. В связи с принятием данного закона, многие муниципалитеты провели работы по обследованию пассажиропотоков и оптимизации маршрутной сети. При этом требования к таким работам для муниципалитетов не были регламентированы.

Одновременно с этим, для оптимизации транспортного обслуживания населения транспортом общего пользования на пригородных маршрутах регионы разрабатывали Комплексные планы транспортного обслуживания населения в соответствии «Методическими рекомендациями по формированию комплексного плана транспортного обслуживания населения субъектами Российской Федерации в части пригородных пассажирских перевозок на средне- и долгосрочную перспективу». Разработка Комплексных планов транспортного обслуживания населения была предусмотрена как реализация Концепции развития пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 мая 2014 года № 857-р. В соответствии с Планом мероприятий по реализации Концепции всеми субъектами Российской Федерации должны были быть разработаны долгосроч-

ные и среднесрочные комплексные планы транспортного обслуживания населения в части пригородных пассажирских перевозок.

После принятия Приоритетного проекта Министерства транспорта Российской Федерации «Безопасные и качественные дороги» в 2017 году, объектами для планирования развития транспортных систем стали не отдельные муниципалитеты в границах территории муниципального образования, а городские агломерации. Изначально Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры крупнейших городских агломераций разрабатывались непосредственно региональными органами исполнительной власти в соответствии с «Методическими рекомендациями по разработке программ комплексного развития транспортной инфраструктуры крупнейших городских агломераций в рамках приоритетного направления стратегического развития Российской Федерации «Безопасные и качественные дороги». Данные программы предусматривали в большей части мероприятия по приведению улично-дорожной сети городской агломерации в нормативное состояние.

Для обеспечения комплексного подхода к развитию транспортной инфраструктуры городской агломерации началась подготовка набора программных документов транспортного планирования, ориентированных именно на городские агломерации: Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры, Комплексная схема организации дорожного движения, Комплексная схема организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом.

Предполагалось, что Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры и Комплексная схема организации дорожного движения должны быть разработаны для каждого муниципалитета в составе городской агломерации, кроме того, должен быть разработан перечень мероприятий для повышения качества функционирования транспортной системы городской агломерации в целом. Разработка Комплексных схем организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом для городских поселений и агломераций осуществлялась в соответствии с требованиями Методических рекомендаций «О требованиях к подготовке комплексных схем организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом для городских поселений и агломераций (КСОТ)».

Такой подход, когда по заказу регионов заказывались работы для городских агломераций, которые включали в себя разработку

отдельных документов транспортного планирования для каждого муниципалитета, в ряде случаев вызывал проблемы правового характера, связанные с бюджетным законодательством. Так, регионы могут заказывать работы по разработке документов планирования для городской агломерации, имеющие в качестве объекта исследования межмуниципальную улично-дорожную сеть. Муниципалитеты же не могут принять документы транспортного планирования от стороннего разработчика, т.к. муниципалитеты не являются заказчиками данных работ и не планировали финансирование на разработку данных документов. В отдельных случаях для решения данной проблемы при заказе разработки документов транспортного планирования для городской агломерации, в качестве источника финансирования указывались бюджеты муниципалитетов, входящих в состав городской агломерации. При этом источником средств в муниципальных бюджетах был трансферт из бюджета региона.

Для решения данной проблемы в «Методических рекомендациях по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации» предлагается два альтернативных механизма, позволяющих обеспечить координированный процесс транспортного планирования на территории городских агломераций на основе разработки единых документов транспортного планирования (ПКР-ТИ, КСОТ, КСОДД) в отношении данных городских агломераций.

Первый механизм предусматривает заключение соглашений о создании городской агломерации между муниципальными образованиями, входящими в городскую агломерацию (в т.ч. при участии органов исполнительной власти субъекта РФ), с возможностью организации совместной закупки работ по подготовке документов транспортного планирования городской агломерации в порядке, установленном Федеральным законом «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 N 44-ФЗ.

Второй механизм предусматривает перераспределение полномочий между субъектом РФ и муниципальными образованиями в рамках создания и развития городской агломерации (предусматривает передачу муниципальными образованиями в составе городской агломерации субъекту РФ ряда полномочий в сфере градостроительной деятельности, организации транспортного обслуживания населения и организации дорожного движения).

В 2020 году объектами документов транспортного планирования стали не только городские агломерации, но и регионы. Были

приняты «Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации», утв. Протоколом заседания рабочей группы проектного комитета по национальному проекту «Безопасные качественные дороги» 12 августа 2019 года № ИА-63.

Таким образом, можно отметить, что в течение шести лет (2015-2020 г.г.), в первую очередь, в составе нормативных и методических документов по подготовке программных документов транспортного планирования менялся сам объект исследования. Изначально объектом исследования была транспортная система муниципалитета, затем транспортная система городской агломерации, в настоящее время при подготовке документов транспортного планирования рассматриваются в целом транспортные системы регионов. Однако, законодательными основами развития городов, их территорий и действующих на них транспортных систем по-прежнему остаются положения, записанные в Градостроительном и Земельном кодексах Российской Федерации.

Сложившийся подход к разработке документов, регламентирующих общие принципы и направления развития города, не предполагает определение механизмов их реализации и контроля за исполнением. Не существует ответственности за нарушение, либо несоответствие принимаемых на уровне муниципальной власти управленческих решений целям и стратегиям развития городов. Этот аспект может быть отнесен к наследованию традиций плановой экономики, не рассматривавшей вопросы муниципальной экономики, как аналог хозяйствующего субъекта.

Не имея системы мониторинга и контроля исполнения положений генерального плана и документов транспортного планирования, органы муниципальной власти города ежедневно сталкиваются с серьезными трудностями в попытках принятия таких управленческих решений, которые, с одной стороны, решали ряд первостепенных задач, а с другой – не противоречили общей линии генерального плана города, документам транспортного планирования, документам стратегического планирования региона и Российской Федерации.

Все это вместе с нерешенностью вопросов разграничения полномочий внутри администраций городов в области управления развитием дорожно-транспортного комплекса приводит к тому, что изменяется само отношение специалистов на местах в городской администрации к генеральному плану и документам транспортного планирования, как к руководящим документам. Все чаще ставятся

под сомнение основные положения этих документов, принимаются тактические решения, идущие вразрез, а порой и прямо противоречащие положениям документов транспортного планирования и генеральному плану. В результате генеральный план города превращается из руководящего документа в документ, который, по мнению многих специалистов городской администрации, даже мешает им в повседневной работе.

Наряду с изложенными выше субъективными причинами, мешающими процессу нормального функционирования процесса планирования и развития города, следует указать на ряд объективных моментов, которые также вносят свой негативный вклад в процесс реализации положений генерального плана:

- существующие темпы автомобилизации превысили прогнозные, принятые в обоснованиях генеральных планов многих российских городов;
- существующие темпы реализации положений генеральных планов и документов транспортного планирования в части развития улично-дорожной сети и отдельных систем транспорта существенно отстали от заложенных в них параметров.

С учетом того, что существующие генеральные планы и программы документов транспортного планирования не предусматривают альтернативы в части развития улично-дорожной сети, кроме выполнения программ их реализации, уже сейчас требуется разработка и принятие краткосрочных программ по развитию транспортной системы и инструментов для выработки и выбора эффективных управленческих решений. Разработка таких инструментов требует основательного пересмотра сложившейся системы транспортного планирования, серьезных финансовых затрат и времени. Отсутствие в настоящее время таких инструментов и технологий перекладывает задачи краткосрочного планирования развития транспортного комплекса в плоскость оперативного управления процессом принятия решений, на экспертный уровень, основанный на коллегиальном принципе. Такой подход к формированию транспортной политики размывает ответственность за конечный результат или имеет большую вероятность принятия ошибочных решений, в перспективе еще больше усугубляющих положение в транспортном комплексе города.

В итоге складывается ситуация, когда, имея в распоряжении полный набор разработанных документов территориального и транспортного планирования федерального, регионального и местного уровня в области развития транспортного комплекса, муници-

политеты крупных городов оказываются не в состоянии самостоятельно и системно осуществлять процесс транспортного планирования и развития своих транспортных систем.

Повсеместно наблюдаются расхождения реальной ситуации развития городов с теми планами и программами, которые составлялись на основе разработанных ранее генеральных планов. Особенно заметно это стало с развитием дорожно-транспортного комплекса города. Традиционное объяснение этому в обществе находилось в плоскости управления городским хозяйством, проще говоря, чиновникам администраций городов ставилась в вину неспособность придерживаться положений генерального плана и документов транспортного планирования.

Однако причины этого следует искать, в первую очередь, именно в самих генеральных планах и документах транспортного планирования городов. Мерой оценки качества с помощью терминов «хороший» и «плохой» должны быть результаты их реализации. Хороший генеральный план и соответствующие программы и схемы реализуются естественным образом. Они естественным образом должны повторять не только архитектурные традиции города, его историческое предназначение, но и следовать объективно наблюдаемым тенденциям в жизни и укладе современного города, его территории, населения, изменяющейся структуре экономики.

Вместо этого, за немногим исключением, в практике генерального планирования основным вектором является развитие городской территории за счет освоения новых территорий, а иногда и расширения границ городов. Эта идеология экстенсивного развития становится базовым противоречием экономически обоснованных процессов эффективного планирования в крупных современных российских городах.

Причина возникновения подобных противоречий – прежде всего отсутствие на сегодняшний день четкого понимания необходимости и достаточности функционирования транспортных систем городов, а также связи этого функционирования с конечными показателями качества жизни в крупных городах.

1.2.2. Возможности и ограничения развития транспортных систем

Российские города, имеющие резко выраженные постиндустриальные изменения, уже не могут содержать громоздкую общественную инфраструктуру, которая была создана в целях развития эконо-

мически сильных градообразующих производств. К ним можно отнести российские города индустриального Севера, Урала, Дальнего Востока и Сибири.

На рис. 1.1 и в качестве примера представлен график изменения затрат бюджета города на содержание объектов общественной инфраструктуры.

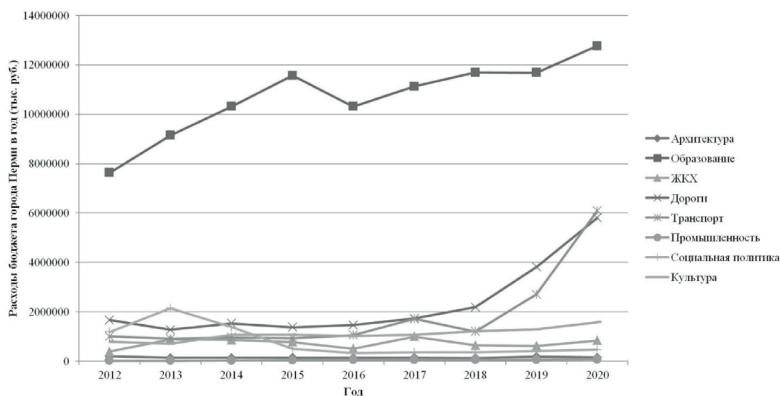


Рис. 1.1. Структура расходов бюджета российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми за 2012–2020 гг. (тыс. руб.)

Нетрудно заметить, что последние десять лет наблюдается рост расходов на дорожное строительство при неизменном уровне финансирования всех видов транспорта. Это свидетельство преобладания экстенсивных тенденций развития дорожно-транспортного комплекса. Очевидно, что наблюдаемая тенденция не может сохраняться долго. Нужно добиваться сбалансированного развития как инфраструктуры городского транспорта, так и самого транспорта, в первую очередь транспорта общего пользования [1–4].

Накапливающийся дисбаланс потребностей и возможностей городского сообщества в обустройстве среды обитания определяет *основные направления градостроительной политики* крупных постиндустриальных городов. Можно наблюдать существенный рост текущих затрат на содержание городского хозяйства и инфраструктуры в отношении на каждый бюджетный рубль и каждого налогоплательщика.

Несмотря на то, что российский город с населением 1 млн. жителей на примере города Перми достиг самых высоких показателей произведенной продукции и услуг в пересчете на одного жителя

среди всех городов – региональных столиц России, все публичные высказывания и ощущения людей, проживающих в городе, носят депрессивный характер. Городские территории заняты низкоплотной или разрозненной застройкой. Плотность населения ниже уровня экономической эффективности использования городской инфраструктуры. Отсутствует качественное благоустройство города, наблюдается определенное несоответствие площади территорий города возможностям их содержания. Бюджеты местного самоуправления при высоких обязательствах и ответственности в разы ниже бюджетов аналогичных городов в странах с рыночной экономикой, а также Москвы и Санкт-Петербурга (табл. 1.1).

Таблица 1.1

**Параметры бюджетной обеспеченности некоторых городов
России и мира**

Город	Показатели	
	Население, чел. (на 01.01.2020)	Бюджетная обеспеченность в 2020 г., евро на 1 жит. (при курсе 1 евро – 90 руб.)
Барселона	1 664 182	1823
Берлин	3 613 495	8580
Москва	12 678 079	2760
Санкт-Петербург	5 398 064	1410
Екатеринбург	1 493 749	366
Нижний Новгород	1 252 236	283
Пермь	1 055 397	418
Владивосток	606 561	299

Основная идея нового подхода в планировании городов имеет экономические корни и заключается в концепции соответствия объемов общественной инфраструктуры, находящимся в распоряжении сообщества, средствам на её содержание. Это реальный путь к тому, чтобы сделать город лучше, не надеясь на чудо прихода в город новых промышленных гигантов – налогоплательщиков.

Кроме того, экстенсивное развитие промышленности и производства не приводит к автоматическому улучшению городской среды, а наоборот, усугубляет проблемы, связанные с экологией, неэффективным использованием территории.

Основная идея в области развития городской инфраструктуры – это отказ от ее наращивания. Экономическая эффективность городской системы определяется выбором интенсивного (в противовес экстенсивному) пути использования совокупного общественного блага – территорий, имущества и городского бюджета с целью удовлетворения потребностей жителей, в частности потребности в перемещениях.

В последнее время жителей мегаполиса волнуют две взаимоисключающие проблемы, сводящиеся к тому, как обеспечить: 1) личное пространство; 2) быструю и мобильную жизнь в экономике. Решить их можно с помощью личного автомобиля, который, сохраняя свободу выбора в перемещении, личное пространство и комфорт, обеспечивает максимальную мобильность и скорость реализации объективно обусловленных транспортных потребностей горожанина.

Горожане совместно используют (как и воздух, воду, инженерные коммуникации) еще один общий ресурс – пропускную и провозную способность улично-дорожной сети и транспортных коммуникаций города. Ни одному городу в мире не удалось полностью удовлетворить спрос на транспортные перемещения горожан на личных легковых автомобилях. Труднее всего это сделать в городах, чей возраст больше возраста первого на земле автомобиля.

Изменились люди. Выросло благосостояние горожан. Мечта многих – автомобиль для большинства горожан не является мечтой. Повторяя путь всех развитых стран и городов мира, российские города вступили в полосу взрывной автомобилизации. Индивидуальный автомобиль – это комфорт, скорость, независимость, престиж и статус для его владельца и, видимо, много чего еще. Но, кроме того, одна из основных причин глобального кризиса нормального функционирования городской среды, выражающего в росте транспортных издержек и транспортной составляющей в стоимости товаров и услуг. Финансы, выделяемые на развитие сети улиц и дорог, положительных результатов не дают.

Прогнозы сохранения высоких темпов автомобилизации и ограниченности бюджетных возможностей говорят о том, что подобные меры не могут обеспечить устойчивый и долговременный положительный эффект, поэтому необходимо применение целого комплекса мер, доказавших свою результативность в других странах, которые пережили аналогичный критический период автомобилизации раньше России. В противном случае транспортная ситуация в городе будет ухудшаться с каждым годом, что неминуемо приведет к замед-

лению темпов социально-экономического развития, потере инвестиционной привлекательности и ухудшению условий проживания [4].

Основным и наиболее тревожным симптомом подобного развития ситуации с дорожным движением в городе является снижение общей эффективности использования транспорта – как общественного, так и индивидуального. Уменьшается доля общественного транспорта в перевозках. Величина среднего количества людей, включая водителя, в легковом транспортном средстве (автомобиле) в 2001 г. в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми составляла 1,845 человека, в 2020 г. – 1,40 человек.

Из-за увеличения парка автотранспортных средств, снижения средней скорости движения транспортных потоков и увеличения задержек, наблюдается рост количества единовременно двигающихся автомобилей: в октябре 2020 г. в дневной межпиковый период единовременно двигались по дорожной сети 54,9 тыс. ед. (около 11,4% парка зарегистрированных в городе автомобилей), в 2001 г. этот показатель был в 4,3 раза ниже. Автомобильный транспорт с каждым годом все сильнее оказывает негативное влияние на окружающую среду. Эта нагрузка растет даже быстрее, чем городской парк транспортных средств, который за сутки потребляет более 850 т топлива, выбрасывается 14 тыс. т. отработавших газов [4].

Объективными причинами негативного развития ситуации с дорожным движением следует признать:

- рост уровня автомобилизации населения;
- увеличение потребности жителей города в перемещениях;
- увеличение интенсивности использования индивидуального транспорта;
- снижение доли общественного транспорта в пассажирских перевозках;
- диспропорция между уровнем автомобилизации и темпами дорожного строительства;
- ряд объективных градостроительно-планировочных проблем развития городской территории предыдущих периодов.

Следует более детально анализировать исторические пути развития различных городов, чтобы найти ответ на вопрос: когда транспортные системы городов переходят в стадию автономного существования? Иными словами, когда настает тот этап в жизни города, когда именно внутренние потребности его жителей становятся приоритетными по сравнению с транзитным транспортным сообщением по его территории? Именно с этого момента город и может называться городом.

1.2.3. Принципы планирования городов и транспортной инфраструктуры

В своей основе принципы планирования городов восходят к национальным основам общежития, которые, в свою очередь, в силу традиций, географических условий развития нации, её культуры и даже религии определяются балансом взаимоотношений между индивидами общества в отношении внутреннего или внешнего проявления этих взаимоотношений.

Понятие локуса контроля (Locus Control) в его современном понимании было введено американским психологом *Джулианом Роттером* в 60-е гг. прошлого века. При этом предполагалось, что существует континуум, крайними точками которого являются индивиды с ярко выраженными внешними или внутренними стратегиями атрибуции. Остальные люди занимают промежуточные позиции между этими крайностями [5].

Локус контроль (лат. locus – место, местоположение и франц. controle – проверка) обозначает качество, характеризующее склонность человека приписывать ответственность за результаты своей деятельности внешним силам (экстернальный, внешний локус контроля) либо собственным способностям и усилиям (интернальный, внутренний локус контроля). В отношении групп людей эти качества могут давать некую характеристику целой нации, крайними положениями в поведенческой оценке целых народов также можно определить интернальный и экстернальный тип поведения [5].

В мире лишь на одном континенте – Евразии проживают существенно отличающиеся народы Европы и Азии, культуры которых довольно четко иллюстрируют различия в общежитии этих народов. Европейская культура – экстернальная. Как в отношении отдельного индивида, так и во взаимоотношениях людей в группах этот признак хорошо прослеживается. Азиатская культура – интернальная. Интернальность поведения не только отражается в традиционных религиях, укладе жизни и поведении, но и накладывает свой отпечаток на планирование городов.

Экстернальные европейские города обращают всю свою привлекательность и красоту во внешний мир. Европейская архитектура есть яркое тому подтверждение. Интернальные города Азии отчасти похожи на женщину в парандже, за которой скрыто всё самое красивое и ценное, чем гордится сама женщина, чем гордятся города.

Многоуровневые развязки, транспортные коммуникации, поднятые над землей, напоминают эту паранджу.

Европейский город трудно представить в подобном виде. И это не является следствием того, что выдающаяся архитектура европейских городов не позволяет обществу развивать транспортные системы в ущерб этой красоте. Их уникальная по красоте архитектура и стремление убрать под землю возможно большее количество транспортных и инженерных коммуникаций есть иллюстрация европейской интернальности. Транспортная система азиатского города – это как паранджа на лице азиатской женщины. Транспортная система европейского города – это как макияж на лице европейской женщины [6].

Россия как государство, занимающее значительную часть Евразийского континента, многонациональность населения которой нивелирует видимые отличия интернального либо экстернального планирования городов, вынуждена искать в этом плане собственный путь.

Разнообразие стран, национальных особенностей, укладов жизни, религии существенным образом определяет различия в поведении людей. Плотность населения и геометрические размеры отдельных государств также накладывают свои особенности на развитие национальных транспортных систем. Однако при всем различии в странах и народах, города, места компактного людей очень похожи друг на друга. Качество городской среды, качество городских транспортных систем и эффективность их функционирования определяются общими критериями, имеют общие зависимости и принципы функционирования и развития.

Трудно сказать, что появилось раньше: транспортная коммуникация или город. Трудно определить, что первично. Большинство современных городов образовалось на путях транспортных коммуникаций. Первый транспорт – это водный транспорт, и первые транспортные коммуникации – это морские и речные транспортные пути. Большинство городов находятся на берегах рек, морей и океанов. Позже с изобретением колеса стал развиваться и наземный транспорт.

История развития транспортных систем многих городов началась с неизменного перекрестка двух дорог. Затем на этом перекрестке становилось тесно, и появлялись параллельные пути и новые перекрестки. В мире существует большое количество городов, транспортная сеть которых представляет собой крест. Генеральные планы подобных городов, планы развития их транспортной инфраструкту-

ры шли по пути развития и расширения этого креста. Примерно так можно трактовать назначение городской магистрали непрерывного движения и пересекающей её улицы, являющейся частью прямой дороги, реализующей транзитное движение через город. Таких городов много, если не большинство.

Казалось бы, надо расширять дороги, увеличивать пропускную способность этих основных магистралей. Но насколько? Где предел этого расширения? Сколько нужно полос движения – 4 или 24? Как будет чувствовать себя транспорт общего пользования на такой дороге, пешеходы и вообще все люди, проживающие в таком городе?

Процесс расширения основных городских магистралей хорошо иллюстрирован историей с Ленинградским проспектом в Москве. Теперь ежедневно можно видеть те же пробки и затруднения в движении. В чем выигрыш увеличения количества полос движения с 8 до 18? Не стало альтернативы. Если раньше можно было сесть на трамвай и проехать по середине этой автомагистрали, то теперь такой возможности уже нет.

Гигантское дорожное строительство порождает гигантские автомобильные заторы. Ни одному городу мира не удалось решить свои транспортные проблемы простыми экстенсивными методами по увеличению транспортного предложения. Спрос всегда будет впереди. Личный автомобиль всегда будет более предпочтителен, чем транспорт общего пользования, как и индивидуальное жилье ценится выше, чем комната в общежитии.

Кроме того, до бесконечности увеличивать пропускную способность опорной сети нельзя из-за различных ограничений. У города есть прошлое – его история, архитектура, памятники. У города есть настоящее – пробки и ухудшение качества жизни в результате необдуманной эксплуатации автомобиля, изначально призванного как раз это качество жизни повысить. У города есть будущее. Может быть, совсем без автомобиля. Понятно, что нельзя решать сиюминутные проблемы снижения транспортных издержек, не думая о прошлом и будущем, но способность мыслить категориями будущих поколений – редкий дар.

На примере многих городов можно заметить, что результаты мониторинга загрузки и скорости транспортных потоков показывают, что интенсивность движения на городской сети растет неравномерно. В центре города она практически неизменна и стабилизировалась на уровне пропускной способности центральных улиц, на периферии – растет очень сильно. Это нормальный процесс.

Задача в области транспортного планирования и организации дорожного движения должна состоять не в том, чтобы разгрузить какие-либо участки улично-дорожной сети (УДС), на которых наблюдается загрузка, близкая к пропускной способности, а в том, что бы придумать, как загрузить те участки, на которых такая загрузка не наблюдается. Отсюда вытекает иное представление о том, что есть хорошо, а что есть плохо в процессе транспортного планирования, в частности в ходе принятия решений о новом строительстве.

Ошибкой следует признать не те проекты, реализация которых привела к дополнительным транспортным заторам и пробкам на вновь построенной транспортной связи, а те проекты, после осуществления которых пробки не появились. Чрезмерно загруженный участок городской УДС можно разгрузить, реконструировав его, либо построив его дублер. Загрузить же недозагруженный участок невозможно. Эту управленческую ошибку уже не исправить [6].

Городское сообщество вынуждено придумывать различные инструменты более рационального использования общего пространства дорог и улиц с целью удовлетворения транспортных потребностей людей. Все их можно разделить на две большие группы, направленные соответственно на *уменьшение транспортного спроса и увеличение транспортного предложения*.

Решению первой задачи посвящены основные положения градостроительной политики города. Положения градостроительных регламентов, правила землепользования и застройки. На решение второй задачи направлена ежедневная работа по транспортному планированию, организации и регулированию дорожного движения, парковочной политики, совершенствованию системы городского пассажирского транспорта общего пользования. Совместное решение первой и второй задачи приведет к созданию эффективной транспортной системы.

Существует не так много основных, опробованных временем и реализуемых на практике подходов к решению задачи построения эффективной транспортной системы. Основными направлениями принято считать:

- оптимизацию объемов дорожного движения путем рационального землепользования и размещения объектов массового посещения со специализацией улиц и дорог по функциональному назначению;
- сбалансированное «поощрение» использования общественного пассажирского транспорта и «притеснение» использования личного транспорта;

- совершенствование методов управления дорожным движением;
- перераспределение объемов дорожного движения при помощи фискальных и административных механизмов;
- повышение транспортной культуры населения и стимулирование развития немоторизованных видов передвижения.

Однако использование названных подходов и инструментов невозможно без проведения анализа использования территории с точки зрения её потенциала и возможностей в удовлетворении транспортных потребностей населения. Такие исследования можно обобщенно называть *транспортным анализом территории*. Разработка его методики представляется актуальной научной задачей сегодняшнего дня.

1.2.4. Подходы к транспортному планированию городов

Распространение концепции устойчивого развития на градостроительное планирование оказало сильное влияние на способы проектирования, связанные с городскими общественными пространствами, включая проектирование транспортных систем. Появление в специальной литературе и периодике новых терминов “sustainable streets”, “liveable streets”, “living streets”, “naturalized streetscapes”, “context sensitive design” вызвано интересом к проблемам экологии, ландшафтного проектирования общественных пространств, дизайна и благоустройства улиц, интеграции улиц в городскую среду, сохранения архитектурного наследия, обеспечения безопасных и комфортных условий движения пешеходов. Все эти тенденции получают отражение в разработках новых классификаций городских улиц и дорог, совершенствовании норм проектирования элементов улично-дорожной сети городов.

Следует выделить несколько оригинальных подходов в проектировании городов, призванных в первую очередь решить транспортные проблемы города. Подходов, решающих комплексно задачи снижения транспортного спроса и способов его удовлетворения. Первый подход основывается на тезисе: «Где живешь, там и работаешь». Из множества задач, которые решает подобная концепция города, основная направлена на снижение транспортного спроса. В России в процессе движения по этому пути были построены как целые города – спутники крупных заводов, так и отдельные городские микрорайоны. Родоначальником такого подхода стала концеп-

ция соцгорода. Идея авторов простиралась гораздо дальше собственно задачи проектирования города, ибо предлагалась новая идеология компактного проживания людей. Н.А. Милютин [7] писал: «Миллиарды рублей, которые мы тратим на наше жилищное и социально-бытовое строительство, должны служить делу внедрения нового быта, то есть социалистической организации культурного и бытового обслуживания населения, что является предпосылкой к освобождению женщины от домашнего рабства». Это была некая искусственная реконструкция быта человека и, главное, быта семьи – ликвидация домашнего хозяйства и семейного уклада жизни для того, чтобы иметь возможность использовать женщин в качестве рабочей силы на производстве.

Проекты Н.А. Милютина состояли из одного или нескольких поясов-зон, вытянутых параллельно друг другу. Ярким примером подобного города явился проект города Магнитогорска (рис. 1.2) По замыслу градостроителя он представлял собой всего лишь неширокую полосу между поясами промышленного и сельскохозяйственного производства. Понятно, что в таком городе просто и лаконично решались задачи удовлетворения транспортных потребностей населения. По мнению архитектора, их просто не должно быть.

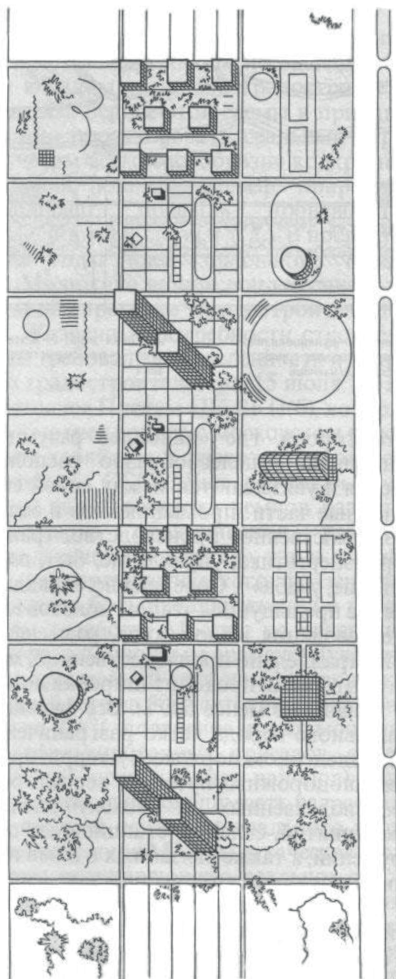


Рис. 1.2. Фрагмент генерального плана города Магнитогорска (Н.А.Милютин, 1930 г.)

Еще один интересный подход к решению задачи удовлетворения транспортных потребностей жителя города представлен Р. Липпом. Концепция получила название – «Elevated City». ЭлСити (elevated city – англ. «приподнятый город») – это современная концепция развития мегаполисов, основанная на создании высокоорганизованных городских структур. В соответствии с ней городские инженерные и транспортные системы поднимаются над поверхностью земли, формируя при этом скоростную дорожную сеть и освобождая территорию города под жизненное пространство.

Концепция «ЭлСити» опирается на запатентованные строительные конструкции модульного типа – «ШтрассенХауз», представляющие собой многофункциональные модули, в которых размещены как объекты промышленного назначения, так и необходимые инженерные коммуникации и даже жилье (рис.1.3, 1.4) [8].



Рис. 1.3. Базовый элемент концепции «Elevated City». Компания «ШтрассенХауз», 2009 г.

Если советские проектировщики решали транспортные задачи при помощи концепции «Где живешь, там и работаешь», концепцию «ЭлСити» можно выразить словами «Живи на дороге», или «Живи внутри дороги», или «Живи в автомобиле», так как это попытка интегрировать жилище и транспортные коммуникации. Вполне логично, что подобная концепция появилась именно в Германии, стране с богатым автомобильным прошлым и настоящим.



Рис. 1.4. Фрагмент городского плана на основе концепции «Elevated City». Компания «ШтрассенХауз»

Это довольно интересный подход, и вполне возможно, что его удастся технологически качественно реализовать в недалеком будущем. Уже довольно заметно, что индивидуальный автомобиль стал обладать всеми признаками жилища человека: там уже есть все необходимое для полноценной жизни, дело осталось за коммуникациями, которые эти свойства современного автомобиля полноценно реализуют. Кроме того, концепция «ЭлСити» уделяет внимание пространственной конфигурации транспортных сетей. В этом плане она предлагает отказаться от ортогональных путей сообщения, которыми изобилуют современные города, и перейти к неортогональным транспортным связям, присущим железным дорогам.

Необходимо отметить, что именно ортогональность транспортных коммуникаций служит сдерживающим фактором развития, определяя как пропускные возможности транспортных систем, так и уровень их безопасности. Именно перекрестки улиц и дорог в городах являются концентраторами всех негативных проявлений функционирования транспортных систем. Ортогональные сети возникли исторически и связаны с развитием городов, неортогональные возникли с появлением и развитием железной дороги. Это есть вторая идея предложенной концепции. Надо сказать, что именно гармоничное сочетание этих двух идей дает некий эффект симбиоза, и при этом проект воспринимается как абсолютно реальный, в отличие от отдельно рассматриваемой идеи нового города, состоящего из отдельных типовых модулей.

Некоторым образом в мире, с точки зрения организации городской транспортной системы, является город Куритиба (штат Парана, Бразилия) – город, который родился вообще без дорог, даже не на реке или каких-либо водных путях, и только потом выстроил внутри себя транспортные связи. Это опыт не европейский, не американский и не азиатский.

В широком сознании специалистов городского транспортного планирования существовало три модели городского транспортного устройства. Японская – маленькие территории, жилые дома практически с полным отсутствием инсоляции, уличная дорожная сеть в четыре уровня. Американская – просторные площади, большие автомобили, широкие дороги. И европейская – многовековые монархии, государства и города, где существует множество ограничений – памятников и культурных ценностей. Где в этой системе координат находится Россия – не совсем ясно.

Стоит отметить, что модель устройства транспортной системы города Куритибы по своим базовым параметрам более всего подходит к реализации в российских городах [9].

Если сравнить основные характеристики европейских городов, то можно отметить, что российские города по своим параметрам гораздо ближе к городу Куритиба.

Таблица 1.2

Общие характеристики территории городов

Метропо- лия	Числен- ность на- селения, жит.	Общая пло- щадь, кв. км	Площадь урбани- зированной терри- тории, кв. км	ВРП на душу наделе- ния, евро	Плот- ность расселе- ния метропо- лии, тыс. жит./кв. км	Плот- ность расселе- ния города, тыс. жит./ кв .км
Пермь	980000	799	475	6900	1227	2063
Хельсинки	990448	743	235	39200	1330	4215
Лион	1167086	500	211	25153	2330	5530
Прага	1700000	3860	496	17155	440	2420
Севиля	1213747	1759	409	14550	690	2970
Турин	1529157	837	130	23769	1827	6928
Валенсия	1664560	1415	313	18077	1177	5323
Куритиба	1788600	15417	431	2400	2190	4160

Куритиба – это город с радиальной структурой связи. Каждый участок его территории имеет прочные и многослойные связи с центром города, и все они ведут в центр. Вся УДС дублируется по типу связей.

В Куритибе основой движения является общественный транспорт. При этом всего автотранспорта (включая личный) здесь в 2,5 больше, чем в российском городе с населением 1 млн. жителей (например, города Перми), населения – в 1,5 раза больше, а площадь города – в 2 раза меньше. Тем не менее, визуально пробок на дорогах незаметно.

По основным структурным осям города трассированы восемь главных улиц, несущих 80% всего объема транспортного движения в городе. По осевой линии каждой центральной улицы выделены полосы для приоритетного движения автобусов, крайние правые полосы используются для местного проезда; на двух других улицах, расположенных справа и слева от центральной, организовано одностороннее движение в 3-4 полосы. Все светофорные объекты города (порядка 1000 единиц) управляются централизованно в рамках единого алгоритма координации.

Создается впечатление, что планировка города и правила землепользования и застройки подчинены одной центральной идее – созданию высокопроизводительной транспортной системы. В частности, концентрация жилья и мест приложения труда была предусмотрена вдоль транспортных структурных осей города, причем многоэтажная застройка любого назначения допускалась исключительно в зоне пешеходной доступности линий общественного транспорта.

Было введено и жестко исполнено чрезвычайно полезное правило: город продает под новую застройку, либо под реконструкцию (снос) старой застройки не земельные участки, как таковые, а конкретные лоты с четко лимитированной функциональной нагрузкой по назначению (жилые, офисные, торговые площади), этажности, расчетной населенности и (или) количеству мест приложения труда и т.п.

Пределы допустимой нагрузки определяются наличными резервами пропускной способности дорог и провозных возможностей общественного транспорта. Новые лоты выставляются на продажу по мере продвижения на периферию города сетки дорог и линии общественного транспорта. Исторический центр города был сохранен; одна из центральных магистралей не только не была расширена, но и вовсе превращена в пешеходную улицу.

Таким образом, даже город Куритиба с совершенной системой транспорта общего пользования имеет пешеходные улицы. Необходимость максимально эффективно использовать городские терри-

тории для удовлетворения транспортных потребностей населения заставляет города в ряде случаев вообще отказываться от транспортного движения, пешеходными стали Цветочная улица Куритибы, улица Вайнера в Екатеринбурге, Красная площадь в Москве и множество пешеходных улиц в других городах.

Еще одним подходом к проектированию современных градостроительных систем является биотехносферный подход [10]. Биотехносферный подход основан на учете закономерности регулирования взаимодействия общества и природы с целью создания благоприятных условий для их сохранения, воспроизводства и совместного гармоничного развития.

Пример проектирования городов нового типа, основанных на применении современных технологий использования возобновляемой энергии и циклических способов переработки отходов, представлен на рисунке 1.5.



Рис. 1.5. Пример проектирования городов нового типа, основанных на применении современных технологий использования возобновляемой энергии и циклических способов переработки отходов

1.2.4.1. Негативные последствия депопуляции

Глобальная миграция городского населения, ускоряющаяся с ростом его подвижности, вносит свои коррективы в функционирование транспортных систем. Жители отдельных американских промышленно развитых городов уезжали целыми караванами, что было частью общей миграции населения с индустриального севе-

ро-востока. С 1950 по 2000 г., например, по данным Бюро переписи населения США, число жителей Кливленда уменьшилось на 47,7%, Питтсбурга – на 50,6, Сент-Луиса – на 59,4%. Экономический спад замедлил отток населения из этого региона, но ущерб уже был нанесен. Муниципальные лидеры «Ржавого пояса» – полосы упадочных промышленных зон Среднего запада (США) – заявляют, что готовы принять новую реальность и работать с ней, понимая, что их города серьезным образом изменились.

Как в целом в градоустройстве, так и, в частности, в дорожно-транспортном комплексе лишь единицы усваивают новую философию – разумное уменьшение. Примеры изменения идеологии развития городов далеко не единичны.

Многие российские города, прежде всего индустриальные города, столкнулись с потерей населения. Это реальная ситуация и основной фактор, определяющий вектор дальнейшего существования территории как города. Интенсивное, эффективное использование имеющихся городских ресурсов приобретает для таких городов гораздо большее значение, чем для стран и их городов с растущей численностью населения.

Таким «уменьшающимся» городам следует во главу угла ставить принцип компактного размещения функциональной деятельности, улучшение качества общественных пространств и архитектурной застройки, повышение плотности и развитие многофункциональной застройки, а в области развития транспортных систем – ориентироваться на транспорт общего пользования. Это необходимо для создания компактного города.

1.2.4.2. Компактный город

Понятие «компактный город» – это не буквальное намерение переделать город в город небольших размеров. Большинство городов уже сформировались как города и будут иметь такие границы застройки, которые сложились, по крайней мере, на сегодняшний день. «Компактный город» – это идеология управления развитием города и общественным городским ресурсом, это система управления, нацеленная на оптимизацию капиталовложений в области удаления отходов, энергетики, водоснабжения, транспорта, совершенствования социальной инфраструктуры.

Целью развития городов будет концентрация ресурсов, предотвращение их неконтролируемого рассредоточения и неэффек-

тивного использования, повышение качества городской среды, предотвращение неоправданного разрастания площади территорий под новое освоение. Приоритетной для города должна стать повторная застройка свободных территорий с целью обеспечения высокой эффективности эксплуатации существующей инженерной инфраструктуры, принадлежащей городскому сообществу.

В такой концепции экстенсивный способ развития транспортных коммуникаций, как необходимый инструмент стимулирования общей подвижности и автомобилизации населения, роста производительности труда и развития экономики города, следует использовать на территориях, максимально свободных от существующей застройки и имеющих значительный потенциал в своем развитии.

1.2.4.3 Эффективность использования улично-дорожной сети

Демографическая ситуация каждого города должна отвечать на вопросы, поставленные перед градостроителем: центробежные или центростремительные тенденции в развитии должны преобладать? Связный или ячеистый город? Что экономически выгодно в настоящем и в масштабе будущих поколений? Это базовые вопросы, без ответа на которые невозможно заниматься транспортным планированием.

Связный город с единым центром только на первый взгляд кажется эффективным. Эффективность достигается за счет сокращения количества и универсализации объектов соцкультбыта, досуга и рекреации.

Однако неэффективность функционирования транспортной системы в таких городах особенно отчетливо видна при рассмотрении суточного цикла её работы. Можно лишь отметить негативное влияние суточной неравномерности – своеобразной гири на ногах проекта связного города с единым центром. Неэффективность использования транспортных связей в течение суточных перепадов интенсивности движения в прямом и обратном направлении сводит на нет все другие преимущества такой системы.

В этих условиях необходимо разрабатывать не территориальный, а зонный принцип транспортного планирования и организации движения, выделяя зоны нетранспортного движения: с исключительным движением только общественного транспорта, с движением индивидуального транспорта. Внутри зон развивать специализацию связей (участков УДС) по назначению, используя концепцию «Level of Service» – «обслуживание движения – обслуживание доступа».

Реализация любых мероприятий в области совершенствования эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса городов невозможна без создания эффективно функционирующей системы управления развитием транспортной системы. Задача построения эффективной системы управления – актуальная и необходимая часть в создании методики формирования эффективной транспортной системы крупного города.

1.3. Научные исследования транспортных систем городов

1.3.1. Городское и транспортное планирование

Города – это центры привязки развития человеческой цивилизации во времени и пространстве. Меняются очертания отдельных государств, их территориальное деление подвижно. Изменяется политический строй или уклад жизни на отдельной территории, но при этом города остаются на прежнем месте, ибо несут на себе исторический груз всей территории, которая их окружает. Именно города (не континенты, страны или внутренние деления государств) однозначно, точно и довольно полно аккумулируют в себе все исторические, культурные, религиозные, экономические и иные признаки территории.

Сохранение жизни и развитие городов – задача более важная, чем развитие отдельных регионов или иных административных образований. Потому транспортные системы городов нуждаются в более пристальном внимании именно как связующий элемент, делающий из места компактного проживания людей то, что мы сегодня называем «город».

Транспортные системы городов, регионов являются объектами пристального внимания исследователей [11-17]. Все они структурируются по географическим и административно-политическим признакам, что позволяет выделять транспортные системы по привязке к территории, путям сообщения, видам транспорта.

Все работы в области исследования транспортных систем городов находятся, так или иначе, на стыке двух областей науки: градостроительной и транспортной. Каждая из них имеет куда более солидный возраст, чем само научное понятие «транспортная система». В общем, сиюминутном понимании, исследования транспортных систем городов направлены на изучение взаимного сосуществования города и автомобиля. Однако городское транспортное планирование

охватывает более широко виды транспорта и способы передвижения людей в городах.

Рассматривая в отдельности каждый из этих объектов, современная наука добилась значительных успехов. Существование города без автомобиля и автомобиля на пустой дороге представляется неким идеалом для исследователей – урбаниста и транспортника соответственно. Происходит некое взаимное отторжение этих объектов, причем исключительно в теории и научной мысли.

На практике мы видим обратное – чем крупнее и развитее город, тем больше в нем автомобилей, тем более значительную роль играют они в его жизни. В этом контексте в будущем следует ожидать, что поиск идеального сосуществования мест проживания человека и способов его пространственного перемещения будет осуществляться в области социальных наук.

В данный момент область исследований транспортных систем городов можно представить как пространство различных степеней свободы и координат, в котором исследователи в области урбанистики и транспорта двигаются по одной научной дороге, но с разных её концов.

Урбанисты двигаются «от сложного к простому», транспортные инженеры – «от простого к сложному». Сложность и простота в таком определении являют собой количество степеней свободы пространственно расположенных объектов, а также последовательность их рассмотрения каждым исследователем. Это есть движение в сторону увеличения размерности объектов интереса исследователя или, наоборот, к их снижению (рис. 1.6).

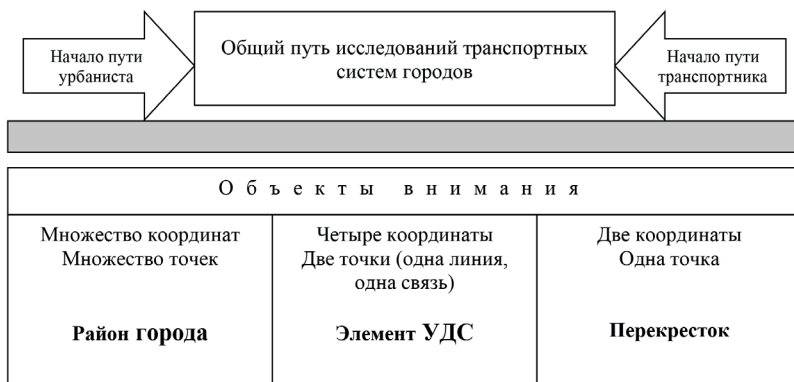


Рис. 1.6. Объекты и пути следования современной научной мысли в области развития транспортных систем городов

По образу известных графических примитивных объектов: полигон, линия, точка – области интересов транспортников и урбанистов также можно выстроить в некоторой последовательности.

Начальный предмет исследований урбаниста – городская территория. Её основные характеристики: плотность и тип застройки. Исследователя интересует архитектура, удобство проживания и эстетика окружающего пространства, затем общий баланс использования территории для нужд городского жителя, наполненность социальными и культурными объектами, равенство объема трудоспособного населения и мест приложения его труда в различных сферах. И только когда такого баланса добиться не удастся, появляется необходимость использования другой городской территории в качестве компенсатора появившегося дисбаланса при использовании первой территории.

Вслед за этим появляется необходимость организации транспортной связи между двумя территориями. В последующем количество несбалансированных территорий растет, и на их связях друг с другом появляются транспортные узлы (перекрестки, пересадочные узлы городского пассажирского транспорта общего пользования).

В обратной последовательности движется в своих исследованиях транспортный инженер. Первоочередным объектом его внимания является перекресток, как место концентрации транспортных взаимодействий [18]. Когда у инженера истощается запас возможных инструментов повышения эффективности функционирования транспортного узла, он прибегает к решениям, направленным на изменение связей этого узла, то есть к реконструкции линейных элементов УДС города, изменению структуры и способов его использования различными видами транспорта. Когда в силу каких-либо внешних ограничений (в первую очередь, территориальных и экологических) дальнейшие шаги по реконструкции улиц и дорог уже невозможны, транспортный инженер приходит к оценке территориального баланса или к анализу возможности изменения транспортного спроса.

Движение исследователя по этому пути на каждом его этапе открывает для него значительно более широкие горизонты и задачи, решение которых лежит в пограничной сфере его научных интересов.

В изучении транспортных систем городов не так важно, с какой стороны двигается по этому пути тот или иной исследователь, важно пройти этот путь до конца.

В настоящий момент транспортная наука уступает место практике, выходящей в российских городах на первое место, без чего модернизация и развитие транспортных систем невозможны. Вместе с тем отдаление практики от науки не позволяет оценивать работоспособность транспортной системы города целиком и, как следствие, создать эффективные транспортные системы в городах.

Учебные, прикладные и научные труды специалистов в области транспортных систем городов затрагивают широкие смежные области науки. Издания, посвященные транспортным исследованиям вообще и в городах в частности, в книжных магазинах иногда выкладываются в отделах и секциях, в которых искать их не приходится в голову. Книги о транспортных системах можно найти в разделах, касающихся архитектуры и истории городов, автомобильной тематики, рядом с руководствами по эксплуатации отдельных марок автомобилей.

Труды по транспортному моделированию можно встретить в специализированных отделах по программированию и компьютерному программному обеспечению, а по экологической безопасности транспорта – в самых неожиданных местах.

1.3.2. Этапы развития транспортного планирования

В России первые исследования в области транспортных систем городов были предприняты инженерами, градоустроителями вслед за появлением автомобилей в городах. Именно автомобиль явился двигателем научной мысли в области городского транспортного планирования. Численность парка автомобилей Российской Империи в 1908 году составила 1000 ед., в 1916 году – 21 000 ед. [19].

Необходимость нахождения баланса использования территорий городов под различные функции, в том числе и транспортные системы, отражена в монографии Г. Д. Дубелира [20-21] и работах П. И. Балинского – разработчика схем внеуличных скоростных железных дорог для обеих столиц, интегрированных с магистральной железнодорожной сетью.

В указанной монографии [20] впервые в качестве самостоятельной цели ставится задача учета автомобильного движения в городах в проектной практике. Основной идеей начального периода транспортного планирования была идея транспортной самодостаточности жителя города через реализацию своих транспортных потребностей при помощи личного автомобиля. Таким путем этот житель становился сам по себе ценен для общества, так как нес на себе значитель-

ную нагрузку по эксплуатации своего автомобиля, чем создавал вокруг себя дополнительный спрос, а следовательно, расширял новую нишу экономики.

С приходом советской власти вектор развития городов в транспортной составляющей серьезно изменился. Автомобили перестали рассматриваться как инструменты обеспечения транспортной подвижности домохозяйств, экономии времени и приращения удобств горожанина. Гораздо ценнее представлялся автомобиль как мобилизационный ресурс. Транспортная самодостаточность домохозяйств стала противоречить идеологическим принципам построения коммунистического общества. Отделение человека от коллектива, сопряженное с неограниченной свободой перемещения в личном автомобиле, было определенной угрозой существования социалистического строя. Автомобилизации населения сдерживалась практически до последних лет существования социализма.

Позиции и взгляды на развитие городов долгое время находились в русле ранних коммунистических идей с принудительной организацией труда и быта населения. Для Москвы ставилась задача планомерного завершения радиально-кольцевой структуры непрерывного гигантского города (нечто подобное Москва пытается реализовать сейчас, но без соблюдения принципа разгрузки центра). И совсем особое решение было у Г.Б. Красина: его вариант предполагал развитие существующей инфраструктуры с укрупнением планировочных элементов и постепенным завершением кольцевых дополнений в границах предельно компактного города. Этот вариант как наиболее реалистичный и был положен в основу генплана 1935 года.

После окончания войны в 1945 г. СССР столкнулся с двумя проблемами. Первая из них заключалась в том, что многие города на западе страны были разрушены и требовали восстановления, а в восточной ее части были города, принявшие эвакуированные предприятия с оккупированных территорий. Этот факт изменил их историческую структуру и прежний уклад экономики. В первом случае была теоретическая возможность пересмотреть улично-дорожную сеть с учетом произошедшего роста городов и новых реалий жизни. Однако в то время, и не без основания, руководством страны была поставлена задача восстановления городов в их прежнем облике, и задачи формирования в них транспортных систем были опять отложены на долгое, как оказалось, время.

Некоторые значительные и глубокие исследования проблем жизни города впервые появились в России именно в те годы. Идео-

логию соцгородов ставили под сомнение труды транспортных инженеров Шелейховского и Зильберталя [22-24].

Термин «градостроительство» не подразумевает рассмотрения вопросов функционирования городов, и этим отличается от зарубежного понятия «урбанистика». Причиной этого, скорее всего, была не только смена ведущих профессионалов – архитекторов и проектировщиков, но и накопленный опыт строительства так называемых новых городов, предоставлявших широкое поле для фантазий без особого исследования проблем последующего их функционирования. Западный термин «урбанистика» берет своё начало в работах испанского инженера-транспортника Ильдефонса Серда, успешно соединившего инженерную строгость научного подхода с опытом создания генерального плана Барселоны [25].

Исследователям транспортных систем городов того периода стоит уделить внимание только лишь потому, что они просто были. А. Х. Зильберталь показал, что и транспортные подсистемы обладают свойствами объективного поведения, реагируя на происходящие в городе изменения, и описал это в работе под утилитарным названием «Трамвайное хозяйство». (1932 г.). Он обратил внимание на то, что «... решение вопросов движения не является чисто математической задачей, а действительно зависит от того, как высоко общество оценивает свое время и свои удобства».

Г.В. Шелейховский констатировал свою приверженность либеральной урбанистической концепции, подчеркивая необходимость «... синтеза, по меньшей мере, четырех узловых задач планировки – расселения, транспорта, уличной сети и формы городского плана».

Законодатели урбанистической науки того времени тоже не имели единого мнения в вопросах интеграции автомобиля в городскую среду, а следовательно, границ использования личного автомобиля и его роли в социалистической экономике.

Между практиками того времени чередой следовали теоретические дискуссии по поводу «соцгородов» и «соцрасселения». Представителями двух противоположных точек зрения являлись – Л. Сабсович и М. Охитович. Основой разногласий видения нового социалистического города был как раз автомобиль. М. Охитович изложил кредо своей группы следующим образом: «Социалистическое расселение – это не город и не деревня. На место городской скученности, городских скоплений, городской концентрации людей, зданий, вещей – внегородское, безгородское, децентрическое расселение. На место принудительной близости людей в городских

условиях — максимальная отдаленность жилищ друг от друга, основанная на автотранспорте. На место отдельной комнаты рабочему — отдельное строение».

Коллективный разум и тут привел к тому, что идеи «дезурбанистов», основанные на дисперсной застройке и низкой плотности населения, не получили поддержки и были решительно отброшены. Концепция «урбанистов» с характерной для нее высокой концентрацией населения в соцгородах, формируемых вокруг гигантов социалистической индустрии, была по существу принята на вооружение.

Улицы городского, районного и местного значения, межрайонные и межквартальные проезды советских городов планировались исходя из перспективного уровня автомобилизации в 180 автомобилей на 1000 жителей, то есть рубежа, пройденного в США к 1925 году. Уровень автомобилизации нашей страны составлял к 1938 году 6 автомобилей на 1000 жителей, а в 1991 году — 60 автомобилей на 1000 жителей. Для сравнения, в Великобритании этот показатель в те же годы составлял соответственно, 68 и 436, в Австралии — 128 и 575, в США — 231 и 710 автомобилей. Траектория роста российской автомобилизации повторяет зарубежную, хотя и отстает по фазе от своих зарубежных аналогов на 40 (от Великобритании), 55 (от Австралии), 80 (от США) лет.

При низкой автомобилизации населения такая ситуация отчасти компенсировалась значительной долей перемещений граждан на городском пассажирском транспорте общего пользования. Однако, в зарубежной практике городского и транспортного планирования принято считать, что индивидуальный и общественный транспорт являются не заменой (substitute), а дополнением (compliment) друг друга.

Личные свободы, полученные жителями российских городов во времена перестройки и последующее время, привели к быстрому росту автомобилизации. В этот период исследования в области транспортных систем городов стали приобретать разнонаправленные вектора. В какой-то степени продолжались инерционные пути в практике транспортного планирования городов. Множество исследований и трудов было посвящено развитию в городах скоростного транспорта, в том числе внеуличного, существенно возросло количество исследований в области организации и безопасности дорожного движения. Выделилось отдельное направление — экологическая безопасность транспортных средств.

Сегодня становится понятно, что роль скоростного пассажирского транспорта на территории городов была излишне преувеличе-

на. Такой транспорт не столько связывает города в единый организм, сколько, наоборот, делит их территорию (в том числе и физически – своими коммуникациями) на отдельные, связываемые только этим скоростным видом транспорта анклавов. С какими целями и как часто нужно человеку пользоваться им? Если он выбрал в качестве места жительства Владивосток, а место своей работы нашел в Москве, то ему действительно необходим скоростной транспорт – самолет, еще лучше космический корабль. В противном случае он не сможет поддерживать присущий человеку суточный ритм смены активности – работа/отдых, так как основную часть своего времени вынужден будет проводить в транспортном средстве. При потребности в высокой концентрации информационных взаимодействий между людьми крупного города скоростной транспорт не находит своего развития.

1.3.3. Современные направления исследования транспортных систем

Не затрагивая общие вопросы градостроительства городов, развивались исследования в области транспортного движения. Эта тема также имеет в себе множество независимых направлений исследования, которые к сегодняшнему дню стали отдельными областями научных знаний. Применительно к городам эти исследования вовлекли в свою орбиту ученых различных областей науки – физиков, математиков, биологов и экономистов. Наука о транспортном движении включила в себя в качестве основных направлений: мониторинг, моделирование, комплексную безопасность на транспорте, логистику.

К современным следует отнести труды российских ученых, занимавшихся вопросами транспортного планирования городов, проектирования улично-дорожной сети, определения технических параметров магистральных дорог, по которым движется пассажирский транспорт общего пользования [26 – 59]. Данные исследования касаются вопросов экспериментального и теоретического исследования, математического моделирования транспортных потоков.

В области управления транспортными системами интересны труды отечественных и зарубежных ученых, занимавшихся проектированием систем управления транспортными потоками [59-62; 36-42; 63-65]. В исследованиях рассматривались вопросы светофорного регулирования на перекрестках, управления потоками на примыканиях второстепенных дорог к магистралям.

Из работ, посвященных вопросам развития транспортных систем городов, следует выделить одну [59], где детально изложены новые методы прогнозирования транспортного спроса населения, обоснован уровень развития транспортных систем и их комплексной оценки, раскрыта роль транспортных систем городов и регионов в жизнедеятельности общества, влияние транспортного каркаса на формирование расселения, сформулированы предложения по совершенствованию нормативной базы развития транспортных систем.

При выявлении закономерностей функционирования и развития транспортных систем городов исследователями рассматриваются проблемы отдельных видов транспорта в общей структуре [66-67; 31-32], формирования парка автотранспортных средств, последствий воздействия транспорта на окружающую среду [68-69], обеспечения устойчивого развития транспортной системы [70-74], проблемы транспортной планировки городов, вопросы транспортной телематики рассмотрены [75-78,27,33,42].

1.3.3.1. Транспортный поток, его характеристики

К настоящему времени накоплен богатейший отечественный и зарубежный опыт исследования внутренней динамики поведения транспортных потоков. Основы этого опыта заложены в работах Б. Гриншильдса, Х. Гринберга, впервые описавших аналитически фундаментальную кривую «скорость-плотность» для транспортного потока на одной полосе, а также установивших современный вид зависимостей «скорость-интенсивность» для транспортного потока.

В конце прошлого века проблемами движения потоков автомобилей занимались многие исследователи [52-55; 61-62; 79-83]. Был сделан существенный вклад в изучение таких вопросов, как влияние интенсивности движения и состава потока на скорость потока автомобилей. Серьезные исследования в этом направлении описаны в монографии [84], где дано четкое математическое обоснование основных зависимостей движущегося транспортного потока, построена связь между теорией транспортных потоков и классическими методами теории массового обслуживания, теории случайных процессов и теории вероятностей, а также описаны обобщенные математические модели движения транспорта.

В мировой литературе самая первая и крупная монография по теории транспортных потоков – работа С. Дрю и Р. Дональд «Теория транспортных потоков и управление ими» [85]. В ней подробно

рассматриваются элементы системы «водитель – автомобиль – дорога» и строятся модели движения транспортных потоков, описан процесс формирования и дальнейшего функционирования транспортного потока, его формализация и описание на основе математических моделей, рассмотрены методы регулирования движения на сложных узлах дорог и скоростных магистралях и проектирования высокопроизводительных транспортных систем с высокой пропускной способностью. Существенное внимание уделяется системному подходу к транспортным проблемам, а также рассказывается о важных для приложений методах теории вероятностей, математической статистики и теории массового обслуживания. Большой интерес представляет так называемый детерминистический подход к транспортным проблемам и метод физических аналогий. Часть книги посвящена некоторым практическим задачам, связанным с проектированием дорог и регулированием уличного движения.

Глубокие исследования в области изучения транспортных потоков были выполнены Т. Метсоном, Р. Смитом, В. Лейтцбахом и др. Учеными Токийского университета Х. Иносэ и Т. Хамада подготовлена монография, в которой затронута проблема сбора и обработки информации о параметрах транспортных потоков, а также вопросы их оценки и прогнозирования.

В работах В.В. Сильянова [62], А.Ю. Михайлова [86], В.В. Зырянова [87] рассмотрены вопросы оценки пропускной способности автомобильных дорог с точки зрения их проектирования, эффективности принятия проектных решений, а также применения отдельных средств организации движения; приведены результаты исследования закономерностей движения транспортных потоков в реальных дорожных условиях; на основе этих наблюдений установлены уровни удобства движения и величина оптимальной загрузки дороги движением; уделено внимание методам имитационного моделирования движения транспортных потоков; изложены методики расчета пропускной способности элементов дорог.

1.3.3.2. Ресурсный подход к оценке транспортных систем городов

Если транспортный поток можно с различной долей достоверности описать функциональными определяющими соотношениями, то описание функционирования транспорта как потребителя ресурсов и источника опасности в городских условиях представляет собой достаточно сложный процесс. Получить достоверное и универсаль-

ное описание процесса функционирования городской транспортной системы в явном виде, которое бы охватывало все стороны взаимодействия входящих в эту систему участников, пока не представляется возможным.

Транспортная система города, региона или государства является мощным потребителем материальных ресурсов [88-89,14]. С учетом ресурсного подхода к оценке функционирования транспортных систем городов можно выделить целое научное направление.

Результаты исследований в этой области приведены в работе, посвященной исследованию процессов воздействия движения автотранспортных потоков на окружающую среду, а также человека, и построению математических моделей для количественных оценок этого воздействия [61]. В ней представлены математические модели, дающие возможность количественного описания и оптимизации энергоэкологических характеристик автотранспортных потоков на улично-дорожных сетях моторизованных территорий, которыми являются крупные города мира.

Понятие техногенной опасности транспортных потоков на УДС городов включает в себя главные аспекты опасности – дорожную аварийность, уровень загрязнения атмосферного воздуха, шумового загрязнения территории города – в их неразрывной взаимосвязи. В этой области исследования посвящены анализу результатов научных работ по проблемам снижения интенсивности проявления данных аспектов.

Вопросы теоретического описания механизма воздействия городских транспортных потоков (ТП) на окружающую среду (ОС) рассматриваются в литературе [54,61,68-71,90-94]. Проблемами снижения аварийности на городских УДС посвящены работы [28-30,52-55,61-62, 84,95-96]. В них сформировалось определение ТП как источника повышенной опасности в городах, выделены основные его составляющие со всеми структурными и функциональными связями. Транспортный поток представляется в виде системы, включающей в себя взаимодействующие системы транспорта, элементы и алгоритмы управления дорожным движением, а также параметры окружающей среды.

Проблемами аварийности на УДС городов в различное время занимались многие ученые как в нашей стране, так и за рубежом. В результате сформировался подход, при котором транспортные источники опасности относят к линейным наземным непрерывно действующим источникам с переменной мощностью воздействия, расположенным непосредственно в жилых районах города.

Проведенные аналитические исследования существующих методик оценки опасности ТП приводят к выводу о том, что нельзя разработать единые подходы к оценке различных аспектов опасности городских транспортных потоков. Количественные меры оценки уровня опасности загрязнений различного характера, а также рисков ДТП принципиально отличаются друг от друга. До настоящего времени количественную интегральную оценку опасности ТП на УДС, предусматривающую одновременный и всесторонний учет транспортной опасности, не проводили, вследствие чего научный интерес вызывает разработка критериев оценки техногенной опасности ТП и комплексных показателей, способных на ее основе дать оценку уровня негативного воздействия ТП на территорию городов.

1.3.3.3. Современные прикладные исследования транспортных систем городов

В России сформировалось несколько центров концентрации передовой научной мысли в области исследования транспортных систем городов и регионов. К таким центрам можно отнести Москву, Санкт-Петербург, Пермь, Ростов-на-Дону, Иркутск.

В Москве с сентября 2018 г. на регулярной основе возобновил свою работу семинар «Фундаментальные и прикладные проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса России» [97-98]. За три года работы семинара значительное место уделялось проблемам математического описания движения транспортного потока, анализу новых подходов к математическому моделированию поведения автомобилей в плотном транспортном потоке.

С 2014 года в Москве (Россия) и Веймаре (Германия) ежегодно проводятся междисциплинарные семинары «Городская инфраструктура», в которых принимают участие студенты обеих стран. Вместе они разрабатывают инновационные решения для устойчивого развития городов с помощью ориентированных на будущее инфраструктурных систем. Организаторами междисциплинарных семинаров выступают национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) и германская организация Баухаус-Университет Ваймара (БУВ).

С 2018 года в Москве ежегодно проходит всероссийская конференция на тему: «Транспортное моделирование». Организатором

конференции выступает ГАУ «НИ и ПИ Градплан города Москвы» при поддержке Комитета по архитектуре и градостроительству города Москвы.

В Санкт-Петербурге ежегодно проходит конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», которую организует Институт безопасности дорожного движения Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Большинство докладов и работ, представленных на конференциях, традиционно посвящено вопросам обеспечения безопасности дорожного движения по направлениям: «Системы организации дорожного движения и управления транспортными потоками», «Методы и средства повышения безопасности дорожного движения», «Технологии расследования ДТП и подсистемы их обеспечения», «Управление процессами поддержания технического состояния транспортных средств в эксплуатации».

Одновременно с конференцией в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете проходят международные симпозиумы «Современные технологии стратегического и оперативного транспортного планирования». Традиционно участники симпозиумов уделяют основное внимание вопросам транспортного моделирования, в том числе с применением специализированных программных продуктов. Наиболее интересные выступления приведены в [28-32,55,62,75,77,97,98].

Постоянные участники ежегодной Екатеринбургской конференции уделяют внимание транспортно-градостроительным проблемам регионов, городов и зон их влияния, исследованиям подвижности населения городов, инфраструктуре легкового транспорта в городах и зонах их влияния, организации и управлению движением в городах, безопасности городского движения, экономике, организации и управлению городским общественным пассажирским транспортом.

Большое количество профессиональных кадров в области исследования транспортных систем было подготовлено на базе транспортной лаборатории Иркутского государственного технического университета. Традиционно наиболее важное значение иркутская научная школа придает исследованиям в области регулирования транспортного движения на улично-дорожной сети городов, а также процессов взаимодействия транспортных потоков на пересечениях, организации эффективного функционирования инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования.

1.3.4. Математические транспортные модели

Необходимость в построении масштабных транспортных моделей российских городов еще не набрала достаточную остроту. В этом аспекте развития транспортной мысли Россия отстает на 10-15 лет от Европы, как, собственно, и в развитии автомобилизации.

Удовлетворить спрос на использование автомобиля в городе пока не удалось ни в одном городе мира. Развитие УДС (строительство) решает кратковременные проблемы на участках и с течением времени стимулирует объемы транспортного движения и восстановит старое состояние.

Прежде чем предлагать конкретные организационно-технические мероприятия, необходимо представлять не только к чему это приведет после их реализации, но и зачем это делать вообще. Решение таких задач невозможно без математического моделирования процессов, возникающих при взаимодействии существующих транспортных сетей городов и их потребителей.

Главная задача всех математических моделей – заглянуть в будущее, в то время, когда моделируемого объекта еще нет, либо создать условия, в которых этот объект еще не был. Каждой группе моделей можно поставить в соответствие определенный круг решаемых задач. В нашем случае это будут задачи:

- транспортного планирования;
- организации дорожного движения;
- оптимизации процессов планирования.

Кроме того, каждая группа имеет свой объект исследования и соответствующий этому объекту набор степеней свободы. Для рассматриваемого нами случая этими объектами будут:

- транспортный поток;
- транспортное средство;
- формализованный параметр оптимизации (цель).

Моделирование дает возможность наглядно изобразить комплексные процессы деятельности транспорта, прогнозировать перераспределения транспортных потоков в результате внешних воздействий на участки УДС, таких как:

- строительство новых участков сети;
- реконструкция (расширение) участков сети;
- закрытие отдельных участков сети;
- изменения условий движения в сети.

Группы моделей подчиненно связаны друг с другом. Прогнозы интенсивности движения транспорта служат исходными данными для последующей имитации этого движения во времени. Имитация, в свою очередь, порождает видимую потребность в оптимизации того или иного транспортного процесса. Такая связь моделей различных групп и назначений позволяет говорить о некоторой модельной основе, так или иначе необходимой при создании каждой из них и объединенной одним термином «транспортная модель города».

Любая математическая модель функционирования транспортной сети основывается на большом объеме исходных данных, получение которых вызывает серьезные затруднения, и это является первоочередной трудностью на пути создания транспортных моделей крупных городов. К таким данным относятся: дифференцированная по районам численность населения, число мест приложения труда, рекреационный потенциал, среднее время передвижения и др. Очевидно, что сбор исходных данных составляет наиболее трудоемкий и продолжительный по времени этап при построении транспортных моделей [99-107].

Алгоритм каждой из известных групп транспортных моделей в конечном итоге на заключительном этапе решает задачу соответствия существующего транспортного спроса имеющемуся транспортному предложению.

Создание основы модели и наполнение ее исходными данными можно разделить на два независимых друг от друга этапа – это создание транспортного предложения и создание (расчет) транспортного спроса. На заключительном этапе, имея сформированные и формализованные параметры транспортного спроса и предложения, задачу сводят к совершенствованию алгоритмов распределения транспортного спроса по существующему транспортному предложению и калибровке модели по собранным натурным данным, характеризующим основные параметры транспортного движения на действующей в настоящее время сети.

Транспортное предложение состоит из элементов, с помощью которых транспортная система города удовлетворяет существующий транспортный спрос, и в итоге будет определять, какой объем спроса и насколько качественно может удовлетворить транспортная система. При этом формализация параметров, характеризующих существующее состояние дорожно-транспортного комплекса, и будет первым этапом в создании транспортной модели города (создание транспортного предложения), второй этап в построении модели (со-

здание или расчет транспортного спроса) представляет собой куда более сложную и трудоемкую задачу.

На современном этапе представляется интересным разработать единую пошаговую методику создания транспортных моделей городов. Эта задача будет включать в себя как систематизацию существующего мирового опыта транспортного моделирования, реализованного в конкретных прикладных программах, так и обобщение различных подходов к математическому моделированию транспортных систем городов.

При решении задач повышения эффективности функционирования транспортных систем в городах целесообразно систематизировать и упорядочить использование математических моделей с учетом того, что каждая из них отражает определенный набор аспектов (параметров и критериев) транспортного планирования и отвечает за свой этап в процессе формирования управленческих решений, направленных на повышение эффективности функционирования транспортной системы городской агломерации.

Интересно уделить внимание прагматическому аспекту использования моделей, их классификации по типу и назначению, а также взаимосвязи друг с другом и последовательности применения при решении задач транспортного планирования.

1.3.4.1. Основы классификации транспортных моделей

В последнее время широкое применение в транспортных исследованиях получили прогнозные и имитационные транспортные модели. Классические четырехстадийные прогнозные модели наиболее распространены для решения задач транспортного планирования и оценки эффективности проектов модернизации различных систем транспорта [108]. Существует достаточно широкий спектр различных способов построения таких моделей, но, как правило, они основаны на гравитационном или энтропийном алгоритме формирования модели транспортного спроса. При этом наиболее широкое распространение получили энтропийные модели [109-111]. Расширением гравитационных моделей являются модели конкурирующих центров, в которых учитывается влияние агломераций районов на объем корреспонденции между парой районов, например, ввода дополнительных индексов посещаемости агломерации районов [112-113]. В «trip-based» моделях используются отдельные матрицы корреспонденций, а «tour-based» модели явно описывают цепочки

передвижений. Примерами последних являются модель Стокгольма [114] и Нью-Гемпшира [115]. Модели, выстраиваемые по принципу рассмотрения полных схем дневной активности человека, носят название «моделей активности» (activity-based), где под активностью понимается любая разновидность деятельности, требующая передвижения, например, поход в магазин или путь на работу.

Для решения задач в области организации дорожного движения используются микродинамические модели, среди которых можно отметить модель оптимальной скорости Ньюэлла, модель следования за лидером Джeneral Моторс, модель «разумного водителя» Трайбера, модель Вайдеманна и другие. Данный класс моделей предназначен для наиболее точной имитации движения отдельных транспортных средств в транспортном потоке. Результатом вычислительных экспериментов являются параметры транспортных потоков, в том числе скорость, плотность, задержки, время прохождения выбранных участков сети, длина очереди при возникновении транспортного затора.

Оптимизационные транспортные модели используются для поиска вариантов (сценариев) развития транспортной системы городской агломерации, оптимальных в смысле определенного критерия при заданных ограничениях. В постановке задачи математического программирования эти критерии и ограничения могут учитывать различные функциональные характеристики транспортной системы, а также параметры физических и экзистенциальных потребностей людей, состояния окружающей среды, рисков ДТП и другие показатели качества жизни населения. Один из вариантов построения оптимизационных транспортных моделей заключается в анализе затрат и эффектов с целью эффективного распределения транспортного спроса по территории городской агломерации [116-117].

Большое многообразие форм и методов построения транспортных моделей, а также задач моделирования, решаемых для городов и городских агломераций, требует определенной типизации и упорядочивания построения и использования различных моделей при транспортном планировании.

Анализ взаимосвязей различных моделей, использующихся при изучении функционирования транспортных систем, позволяет разделить эти модели по объектам исследования, целям моделирования, входным и выходным данным, а также видам решаемых задач – оптимизационные, прогнозные, имитационные. Соответствующая классификация транспортных моделей [118] представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Классификация транспортных моделей по видам: назначению, объектам моделирования, целям моделирования, входным и выходным данным

Виды транспортных моделей	Назначение транспортных моделей	Объект моделирования	Цель моделирования	Вход (исходные данные)	Выход (результат моделирования)
Оптимизационные модели	Поиск оптимального распределения транспортного спроса	Транспортная система городской агломерации	Формирование сценариев развития транспортной системы	Цели и ограничения развития транспортной системы	Сценарии развития транспортной системы
Прогнозные модели	Прогноз загрузки объектов транспортной инфраструктуры	Транспортный поток на объектах транспортной инфраструктуры	Отбор оптимальных сценариев развития транспортной системы	Сформированные сценарии развития транспортной системы	Эффективные сценарии развития транспортной системы. Параметры транспортного потока
Имитационные модели	Оценка параметров и визуализация процессов функционирования транспорта	Транспортное средство, участник дорожного движения	Оценка проектов организации дорожного движения	Параметры транспортного потока	Эффективный проект организации дорожного движения

Все модели имеют единую логическую структуру, состоящую из блока исходных данных и набора определяющих соотношений. Однако по своему назначению они поддерживают разные этапы принятия управленческих решений. Соответственно, результатом моделирования может быть как поиск некоего равновесного состояния транспортной системы, так и прогноз изменения этого состояния во времени и пространстве.

С точки зрения решаемых задач в области развития транспортных систем городских агломераций и повышения их эффективности,

последовательное использование оптимизационных, прогнозных и имитационных моделей позволяет закрыть весь спектр типовых решаемых задач, стоящих на сегодняшний день перед транспортными инженерами, а именно задач транспортного планирования, задач организации дорожного движения, задач совершенствования системы пассажирского транспорта общего пользования.

1.3.4.2. Структура и взаимосвязь транспортных моделей

При использовании инструментов моделирования, прежде всего, должны быть определены показатели функционирования транспортной системы города, состоящие из целевого индикатора, а также расчетных показателей, однозначно влияющих на целевой индикатор. В качестве целевого индикатора может выступать, например, время реализации транспортных корреспонденций всех пользователей транспортной инфраструктуры всеми видами транспорта на всей территории города. Расчетными показателями могут быть параметры транспортной и/или маршрутной сети, виды транспорта и другие ресурсы транспортной системы, оценки влияния транспорта на состояние окружающей среды. При постановке задачи оптимизации целевого индикатора часть из этих показателей может выступать в качестве ограничений, например, предельный уровень негативного влияния транспорта на состояние окружающей среды и использование ресурсного обеспечения развития транспортной системы.

Выбор управленческих решений происходит на основании поиска таких решений, которые доставляют максимум значения целевого индикатора при сохранении действующих ограничений. В результате такой процедуры происходит формирование предложений по направлениям (сценариям) развития объектов транспортной инфраструктуры.

Выбор приоритетных сценариев развития транспортной инфраструктуры и формирование соответствующей программы развития транспортной инфраструктуры происходит на основании сопоставления каждого сценария с точки зрения влияния этого сценария на целевой индикатор функционирования транспортной системы (например, на время реализации транспортных корреспонденций). Каждый сценарий, вошедший в программу развития транспортной инфраструктуры городской агломерации, рассматривается в нескольких вариантах его реализации, в частности вариантов организации дорожного движения. Сопоставление различных вариантов

и выбор наиболее эффективного варианта реализации выбранного сценария происходит на основании сопоставления показателей эффективности функционирования каждого из вариантов реализации сценария (расчетных показателей второго уровня).

Для реализации процедуры формирования и выбора управленческих решений может быть рекомендована следующая схема последовательного применения моделей (рис. 1.7).

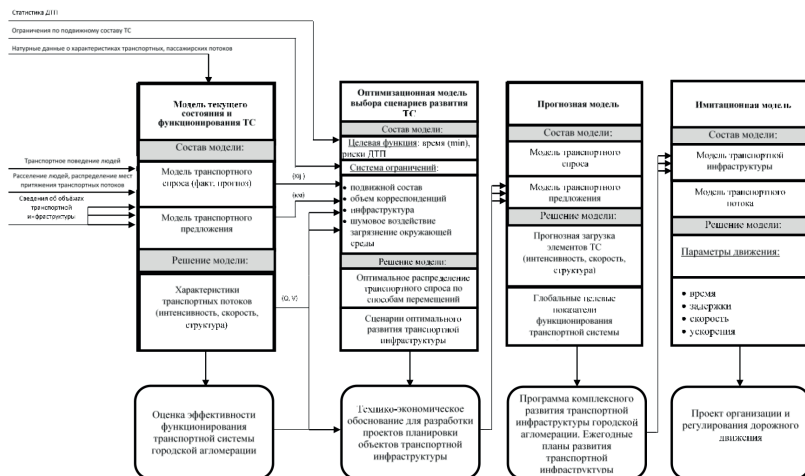


Рис. 1.7. Взаимосвязь математических моделей различного назначения при решении задач развития транспортных систем городских агломераций

Для решения задач транспортного планирования потребуются, как минимум, четыре транспортные модели, каждая из которых выполняет свою функцию и имеет определенное назначение. Цель последовательного применения моделей – это последовательный переход от оценки укрупненных вариантов (сценариев) достижения целевого индикатора транспортного планирования (например, параметров качества жизни населения и качества функционирования транспортной системы) на территории городской агломерации к выработке конкретных управленческих решений по развитию транспортной системы.

Логическая структура и принципы работы основных классов транспортных моделей, представленных на рис. 1.7, более детально рассмотрены ниже.

Основная цель модели текущего состояния – воспроизвести текущее состояние функционирования транспортной системы в терминах интенсивности транспортных и пассажирских потоков. Пер-

вая задача этой модели – это сформировать и откалибровать модель существующего на территории города транспортного спроса. Вторая задача модели текущего состояния – оценить эффективность функционирования транспортной системы по глобальным показателям. Модель текущего состояния, как любая модель, состоит из базы данных и определяющих соотношений. База данных состоит из данных о транспортном предложении и данных о транспортном спросе. Транспортное предложение включает инфраструктуру транспорта общего пользования и инфраструктуру индивидуального транспорта (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Структура и состав прогнозной транспортной модели текущего состояния транспортной системы

Сформированная и откалиброванная модель транспортного спроса дает исходные данные о текущем и прогнозном транспортном спросе для всех остальных транспортных моделей города. Наличие такой модели позволяет поставить и решить задачу поиска оптимального распределения транспортного спроса как по различным видам транспорта, так и по территории городской агломерации.

Для этих целей может использоваться оптимизационная модель, основная задача которой оптимально распределить имеющиеся в распоряжении сообщества (жителей городской агломерации) ресурсы, в частности транспортную инфраструктуру, подвижной состав для максимально эффективного удовлетворения транспортных потребностей, то есть определить, какими способами и какими ви-

дами транспорта целесообразно осуществлять транспортные корреспонденции в пределах городской агломерации. Эти способы и виды осуществления транспортных корреспонденций определяют сценарии развития объектов транспортной инфраструктуры.

Технология использования оптимизационных моделей дает транспортному инженеру не только возможность выбора определенных транспортных проектов из уже существующих, но и инструмент формирования новых сценариев развития транспортных систем городских агломераций. Представляется обоснованным включение в оптимизационные модели таких показателей как загрязнение по уровню шума, загрязнение атмосферного воздуха, учет рисков ДТП. При этом критерием оптимальности может быть назначен любой из показателей, допускающих формализованное представление, остальные используются как ограничения. Подобный подход позволяет сформировать эффективные сценарии развития транспортных систем городских агломераций, исходя из выбранного критерия оптимальности в условиях сохранения действующего (сложившегося) уровня эффективности по другим показателям, например техносферной безопасности на исследуемой территории [17,117,119].

В Главе 4 будет подробно представлен алгоритм создания оптимизационных моделей и решения оптимизационных задач. Общая структура оптимизационной модели рассматриваемого вида представлена на рис. 1.9. Здесь показано, что в качестве ограничений выбраны имеющиеся в распоряжении сообщества ресурсы, в частности подвижной состав, объемы инфраструктуры, существующая сложившаяся нагрузка на окружающую среду. Задача модели – найти такое распределение существующего транспортного спроса по территории городской агломерации, которое даст наибольшее изменение целевого индикатора при неухудшении существующих параметров нагрузки на окружающую среду [93,118,120-123].

При построении двойственной задачи к задаче оптимального распределения транспортного спроса можно определить ценность каждого из ресурсов с точки зрения его влияния на достижение целевого индикатора, в частности определить объем транспортной инфраструктуры, необходимого к реализации для каждого вида транспорта в каждой транспортной зоне для максимального снижения времени реализации транспортных корреспонденций.

Необходимо отметить, что простейшей альтернативой оптимизационной транспортной модели рассмотренного вида является эвристический выбор сценариев развития транспортной системы

транспортным инженером из набора планируемых или возможных инвестиционных проектов развития транспортной системы. Однако при этом обоснование выбора, тем не менее, потребует определенных расчетных оценок с четким определением целевых критериев отбора эффективных решений.

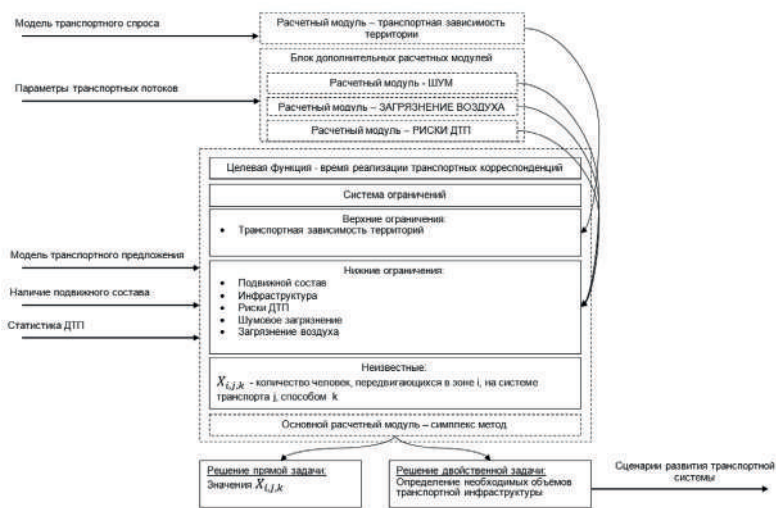


Рис. 1.9. Структура и состав оптимизационной транспортной модели

Необходимо учитывать, что при таком подходе поиск эффективных решений и мероприятий развития транспортной системы состоит в выборе решений из поля возможных, и самое важное здесь – это формирование первоначального множества таких решений. При этом, учитывая многообразие вариантов развития сложных транспортных систем городских агломераций, поиск возможных решений является задачей более сложной и более комплексной, чем выбор лучших управленческих решений из ранее найденных. Предложенный формат оптимизационных транспортных моделей позволяет формализовать и решать эти задачи в первом приближении.

В схеме последовательного применения моделей, представленной на рисунке 1.7, показано, что, дополняя оптимизационные модели прогнозными и имитационными, мы получаем универсальную технологию формирования, выработки и выбора управленческих решений для формирования эффективной транспортной системы городской агломерации, основанной на использовании математических моделей на каждом шаге поиска этих решений.

Следующий блок в схеме последовательного применения моделей (рис. 1.7) – это классическая прогнозная четырехшаговая транспортная модель, которая поможет упорядочить с точки зрения выбранного транспортным инженером целевого индикатора все существующие сценарии, которые были получены при помощи оптимизационной модели, или сценарии, полученные из других источников, а затем выбрать самые лучшие сценарии, которые войдут в программу комплексного развития транспортной инфраструктуры.

Прогнозные модели предназначены для моделирования объемов транспортной работы в сетях при известном размещении потокообразующих объектов города. Прогнозные модели, в свою очередь, можно разделить также на две группы по основным задачам:

- прогнозирование во времени;
- прогнозирование в пространстве.

При помощи этих моделей можно прогнозировать последствия изменений в транспортной сети города, происходящие в процессе изменения либо транспортного спроса, либо транспортного предложения. Модели этого типа применяют для поддержки решений в области транспортного планирования города, анализа последствий тех или иных альтернативных проектов развития транспортной сети и др.

Алгоритмы прогнозной модели решают четыре последовательные задачи: формирование объемов транспортного движения, распределение этого объема по территории, расщепление объема транспортного движения по системам транспорта и распределение движения по имеющейся инфраструктуре всех систем транспорта.

Кроме глобальных показателей функционирования всей транспортной системы городской агломерации, таких как время реализации транспортных корреспонденций, интерес представляют и локальные параметры функционирования отдельных элементов и объектов транспортной системы, такие как интенсивность и скорость движения по этим локальным элементам. Такая информация востребована при решении задач организации и регулирования дорожного движения на отдельных участках сети.

Четвертый блок в схеме последовательного применения моделей (рис. 1.7) – это имитационная модель, которая позволит рассмотреть различные варианты организации дорожного движения на выбранных сценариях развития транспортной инфраструктуры и выбрать из этих вариантов организации дорожного движения лучшие варианты. Тем самым, эта модель дает возможность сформировать

проекты организации дорожного движения для каждого включенного в программу сценария.

Исходными данными в имитационных моделях являются результаты прогнозного моделирования в части локальных параметров функционирования отдельных элементов транспортной инфраструктуры, являющихся объектами имитационного моделирования. На этапе имитационного моделирования полученные на предыдущем этапе характеристики транспортного потока формируют набор отдельных материальных точек и физических объектов, свойства которых имитируют свойства реальных участников дорожного движения. Задача имитационного моделирования, тем самым, состоит в построении математической копии процессов движения и взаимодействия участников дорожного движения, наблюдаемых в реальных условиях улично-дорожной сети городской агломерации [29-30,55,62,65,85,97-98,99-107,124-129].

Описанный комплекс взаимосвязанных моделей обеспечивает последовательное решение всех основных задач транспортного планирования: анализ состояния транспортной системы, оценка транспортного спроса и его прогноз, формирование и отбор сценариев развития транспортной системы, выбор лучших проектных решений с последовательным уточнением модельных оценок эффективности по целевым и расчетным показателям на моделях различного уровня. В результате применения описанных транспортных моделей обеспечивается поддержка естественного порядка принятия управленческих решений и их детализация, а также передача необходимых вход-выходных данных между моделями.

1.3.4.3. Критерии оценки эффективности транспортных систем

Понятие «транспортная система» достаточно редко формализуется в современной научной литературе. Представление о ней как природно-технической системе делает задачу постановки критериев эффективности её функционирования еще более сложной, так как равноправными компонентами и участниками системы являются участники дорожного движения и окружающая среда.

Исследования в области функционирования транспортных систем городов и оценки качества этого функционирования можно найти в научной литературе 70-х гг. прошлого века [130-133]. Они основывались на фундаменте советской школы градостроительства, поэтому, как и в экономике страны, транспортные инженеры

использовали плановые экономические подходы к разработке стратегии развития и городов, и транспорта. На этом фоне рождались действительно научные исследования по оценке эффективности функционирования транспортных систем городов в условиях плановой экономики в индустриальном обществе. В них оценивалась не пустая система, а единство предъявленных жителями потребностей в физическом перемещении в пространстве города и средств их удовлетворения. Были описаны свойства системы, введены понятия «транспортная доступность», «подвижность», «качество транспортного обслуживания».

Дальнейшие процессы, связанные с переходом экономики страны к рыночным принципам развития, существенно усложнили задачу формализации понятия эффективности транспортных систем. В первую очередь, это произошло вследствие объективных процессов сегментирования экономики, формирования и существенного развития третичного сектора. Назначение городской транспортной системы менялось стремительно – от обеспечения планового развития социалистической экономики к реализации потребностей в информационном обмене при существенном росте общей подвижности населения городов.

Цель функционирования городских транспортных систем еще больше скрылась за сложными экономическими взаимоотношениями в растущей рыночной экономике. Отсутствие формальных целей делало невозможным постановку задачи определения эффективности функционирования транспортных систем. В дальнейшем понятия «качество транспорта», «эффективность транспорта» относились исключительно к отдельным составляющим транспортных систем и их функционирования [14,17,59].

Исследовались региональные особенности функционирования транспортных систем, отраслевые особенности функционирования системы грузоперевозок [42,88,89,133-136]. Оценивается эффективность отдельных мероприятий, инноваций в области систем транспорта, реже в области организации дорожного движения. Все исследования носят так или иначе законченные экономические выводы по двум основным направлениям исследований эксплуатации транспорта: грузоперевозки [134-136], пассажироперевозки [137-139].

Дальнейшее деление по различным системам транспорта привело к изучению эффективности каждой из трех составляющих отдельной системы транспорта [17,84]: подвижного состава, инфраструктуры, объектов сервиса.

Оценка эффективности транспортной системы на уровне страны была сформулирована как оценка социально-экономической эффективности в Федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010-2015 годы)». Но показатели и критерии оценки этой эффективности выражались в объемах затрат общества на развитие инфраструктуры. При этом не была определена связь затрат на развитие инфраструктуры с экономическим либо социальным эффектом, и потому заявленная оценка «общественной» эффективности в программе не представляется объективной.

Отсутствие системы координат для оценки качества либо эффективности функционирования транспортных систем в целом и городских в частности объясняется отсутствием до настоящего момента современных инструментов оценки транспортного спроса на услуги транспорта. Имея в своем распоряжении модели транспортного спроса, можно проводить исследования по сопоставлению (эффекту) затрат сообщества на эксплуатацию транспортной системы, потребностей общества и степени их удовлетворения.

1.4. Движущие силы и ограничения развития транспортных систем городов

1.4.1. Роль и движущие силы развития транспортных систем

1.4.1.1. Фазы развития человеческого общества и его подвижность

Любая подвижность – это признак поступательного развития, с одной стороны, и любая неподвижность – это признак стагнации и упадка, с другой. В развитии природы и человеческого общества легко найти примеры определяющего вклада подвижности в их эволюционное развитие.

Подвижность может рассматриваться как одна из движущих сил и человеческой эволюции, и истории. Как и начальное распространение людей по земному шару, так и нынешняя их подвижность обусловлены задачами выживания человеческого рода и повышения качества жизни. Оба этих фактора роста подвижности человечества целесообразно рассматривать как факторы экономические. Первый из них есть результат повышения мощности антропополюсов в результате эволюционного перехода от одной исторической фазы развития человечества к другой. Рассматривая три исторические фазы раз-

вития человечества (архаичную, традиционную, индустриальную), можно выстроить причинно-следственную связь между всплесками подвижности человека и сменой одной исторической фазы на другую (рис. 1.10).

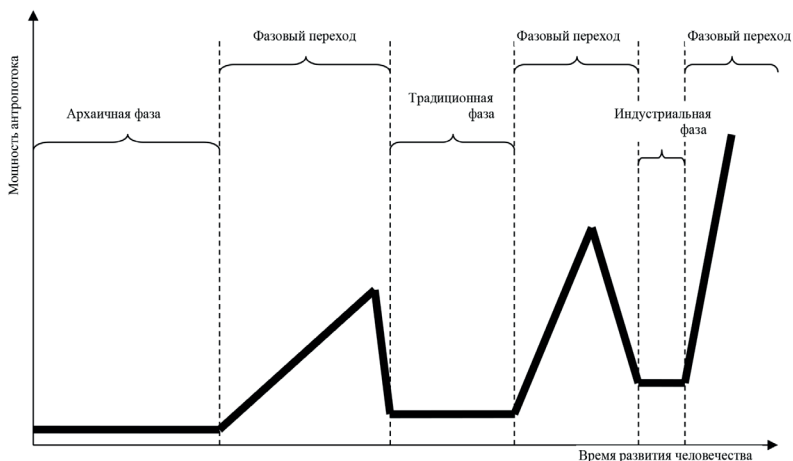


Рис. 1.10. Диаграмма переменного роста мощности антропопоков

Архаичная фаза исторического развития человеческого общества характеризовалась двумя видами деятельности – охотой и собирательством. Основным ресурсом потребления общества – пищевой. Сначала он был возобновляемым (произрастали съедобные растения, естественным образом поддерживалась популяция животных). Природный баланс в естественной среде обитания обеспечивал высокие параметры качества жизни.

По мере роста популяции человека на определенной территории объемы потребления обществом пищевых ресурсов рано или поздно переваливают за границы естественного их воспроизводства в природе. Проявляется ресурсное голодание. Общинный строй не предполагает локального «растекания» людей по территории, что могло бы снизить плотность потребления ее ресурсов и продлить архаичную фазу развития общества. Исконные места обитания покидает сразу вся община, оставляя за собой биологическую и антропологическую пустыню.

Обживаясь на новых территориях, человеческий род не меняет главного – структуры потребления ресурсов. В итоге и новая территория «проедается». Затем приходит новая миграция рода, и этот

процесс на каждой новой итерации ускоряется во времени. Объемы миграций и их частота стремительно увеличиваются. Однако необходимость во всё более частых перемещениях стимулирует технический прогресс: появляются новые знания, накапливается опыт. Это процесс фазового перехода. Перехода к новой фазе исторического развития общества.

За архаичной эпохой наступает сельскохозяйственная революция, и приходит традиционная историческая фаза развития человеческого общества. Вместо охоты и собирательства человеческое общество осваивает земледелие и животноводство. Пищевой ресурс, потребляемый в предыдущей фазе, перестаёт лимитировать рост популяции человечества. Он становится искусственно возобновляемым. Отпадает необходимость в смене территорий для проживания, а это, в свою очередь, значительно ускоряет рост численности рода. У рода в целом, а потом у каждого его члена (семьи) появляется недвижимое имущество – пахотные земли и пастбища. Они являются также новым ресурсом, сдерживающим развитие популяции человека.

Наличие имущества объединяет людей и в результате снова препятствует локальному «растеканию» общины. Появляются города. Ресурс (земли) становится объектом конфликтов, а свободная, нераспаханная земля – главной ценностью традиционной фазы развития. Борьба между общинами (городами и странами) за новые земли, а также истощение существующих пастбищ и полей интенсивной эксплуатацией и поиск новых земель опять стимулируют антропоток. Движение стимулирует прогресс. Это второй фазовый переход.

Вслед за традиционной исторической фазой приходит индустриальная фаза. Появляются машины и транспорт, у человека – движимое имущество. С ним он становится более свободным и мобильным, выбирает себе место жительства вдали от пахотных земель и пастбищ. Теперь неважно, где произведен товар, важно его доставить до потребителя с наименьшими затратами. Земли перестают быть единственной ценностью. Один дефицитный ресурс заменяется другим.

В индустриальной фазе дефицитным ресурсом являются коммуникации, в первую очередь транспортные. Они лимитируют развитие популяции, расходуются обществом. Маленькие поселения не в состоянии построить для себя качественные коммуникации, поэтому не могут наравне с большими городами воспользоваться широким набором товаров и услуг, поставляемых посредством этих

коммуникаций. Люди, имеющие движимое имущество, начинают мигрировать в поисках свободных коммуникационных ресурсов. Появляются новые антропопоки. Формируются крупные города с высоким уровнем плотности коммуникаций. Люди, имеющие только недвижимое имущество вдали от свободных коммуникационных ресурсов, нищают. Возникают новые антропопустыни.

Современный этап развития человеческого общества, его технических и технологических возможностей можно назвать апогеем потребления транспортной составляющей коммуникационных ресурсов. Объемы выводимых из сельскохозяйственного и рекреационного оборота территорий, в первую очередь городских, не только не обеспечивают ожидаемого прироста качества жизни за счет ввода дополнительных транспортных коммуникаций, но и часто становятся тормозом развития прилегающих территорий.

Становится понятным, что проблема дальнейшего развития человечества заключается в совершенствовании социальных механизмов управления и распределения объектов потребления. Точнее говоря, дефицитными сегодня считаются коммуникационные ресурсы распределения знаний, капитала и богатств земли.

1.4.1.2. Благосостояние человечества и качество жизни в городах

Программа ООН по развитию определяет индекс развития человеческого потенциала (Human Development Index, HDI), как совокупный параметр, характеризующий развитие человеческого общества (рис. 1.11). Он связывает показатели продолжительности жизни, образования и валового продукта экономики государств [140].



Рис. 1.11. Структурная схема оценки благосостояния человечества

Система человеческих ценностей и потребностей при сосуществовании в современном обществе наглядно представлена в схеме, впоследствии названной «пирамидой Маслоу», которая вряд ли су-

щественно изменится в ближайшие 100 лет. Она иллюстрирует последовательность смены и важность для человеческого индивидуума исчерпывающего набора ценностей.

Данную пирамиду легко можно рассматривать в пространстве временных отрезков жизни каждого человека. Изначально, еще в младенческом возрасте, для него определяющими являются физиологические потребности. В течение жизни, с повышением образовательного уровня, увеличением числа межличностных контактов потребности человека меняются. Становятся важными задачи позиционирования себя в обществе, собственного влияния на окружение и нового позиционирования себя в обществе.

Интересно рассмотреть пирамиду Маслоу в другом координатном пространстве (рис. 1.12), где она представлена зависимой от объемов потребления человеком материальных и информационных ресурсов. Чем выше уровень потребностей человека (от физиологических до духовных), тем больше ему требуется информационных ресурсов. Невозможно даже ставить себе цели обретения социальных, престижных или духовных ценностей в отсутствие качественных информационных каналов обмена в человеческом обществе.



Рис. 1.12. Пирамида потребностей А. Маслоу в пространстве потребления

Эволюция человека последовательно трансформирует пирамиду, вытягивая её вверх. Всё чаще общество в состоянии удовлетворять все физиологические потребности человека с первых дней его появления на свет. Все меньше людей в течение жизни интересует материальное потребление, и все больше возрастает потребность в информационном потреблении или обмене информацией. Это отчетливо заметно в местах компактного проживания людей – в городах. В первую очередь, этот процесс связан с развитием информационных технологий и систем связи.

Все больше людей в приложении своего труда переходят из производственной сферы в сферу услуг и обработки информации – культуру, науку. Благодаря современным информационным технологиям у человека отпадает необходимость в совершении некоторых поездок (на работу, в магазин и т. д.). На рис. 1.13 представлены графики изменения занятости населения в США по секторам экономики за последние 120 лет.

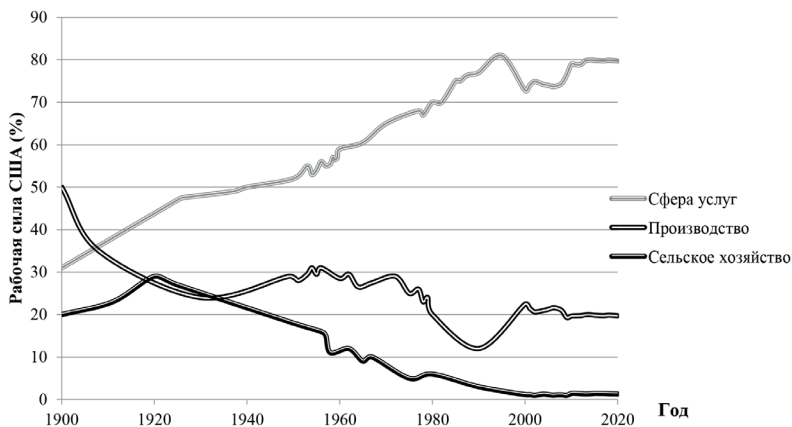


Рис. 1.13. Распределение рабочей силы США в XX в. по секторам экономики^{3,4}

Эти данные собраны в целом по стране. В крупных городах Европы и США еще более заметен рост занятости населения в непрое-

³ Distribution of the workforce across economic sectors in the United States from 2010 to 2020 URL: <https://www.statista.com/statistics/270072/distribution-of-the-workforce-across-economic-sectors-in-the-united-states/>.

⁴ Distribution of gross domestic product (GDP) across economic sectors in the United States from 2000 to 2017 URL: <https://www.statista.com/statistics/270001/distribution-of-gross-domestic-product-gdp-across-economic-sectors-in-the-us/>.

водственной сфере по сравнению с сокращением доли рабочих мест в промышленном производстве и сельском хозяйстве. Это связано с ростом производительности труда и высвобождением трудовых ресурсов из производственной сферы и перемещением их в сферу услуг, в большой степени связанной с обработкой информации.

Например, в Германии уже в 1999 г. оборот финансовых средств в секторе информационных технологий был больше, чем в автомобильной промышленности [141-142].

Рассматривая движущие силы поведения отдельного человека, введем понятие «качество жизни» («качество жизни человека») и покажем, что его транспортные потребности обусловлены стремлением к повышению качества жизни.

Итак, в развитых странах рабочая сила перемещается из производства в сферу услуг. Мы видим, что человечество с момента возникновения, когда оно стало на путь гиперболического роста, развивалось, как информационное общество, и в настоящее время мы имеем дело с его взрывным развитием. Все это оказывает непосредственное влияние на уровень качества жизни, который так же, как и пирамиду потребностей и человеческих ценностей Маслоу, можно рассматривать через материальное и информационное потребление (рис.1.14).



Рис. 1.14. Связь потребляемых природных и информационных ресурсов с понятием «качество жизни»

В отличие от качества (благополучия) человеческого общества, качество жизни есть параметр оценки качества жизни индивидуума, как если бы он находился в однородной социальной среде. Потому не имеет большого смысла оценивать обобщенные показатели качества жизни некоего сообщества людей, выделяя социальные, культурные и экономические показатели их жизни.

Потребление человека в течение жизни можно разделить на материальное и нематериальное. Материальное потребление – это потребление с целью поддержания самой жизни и её продления. Человек как элемент природной системы получает из нее продукт необходимого качества. Природа нашей планеты в состоянии дать ограниченному количеству населения, проживающему на ограниченных территориях, требующиеся для полноценной жизни ресурсы, под которыми будем понимать и пищевые ресурсы, и необходимые для проживания в естественной среде параметры этой среды.

С ростом популяции человека на планете происходит его расселение на территории, ареал его обитания выходит за границы природно-обеспеченных параметров ресурсного потребления для жизни. Это касается и пищевой цепи потребления человека, и климатических условий для его проживания.

С целью компенсации этого недостатка человек использует различные технические системы, как с целью искусственного воссоздания условий для восстановления необходимой пищевой цепи, так и непосредственно для регулирования параметров среды его проживания и жизнедеятельности. Современное человеческое общество регулирует качество своего ресурсного потребления посредством создания природно-технических систем обеспечения качества и воспроизводства своего материального потребления. На помощь ему приходят технические системы, призванные искусственным образом поддерживать необходимый уровень материального потребления на тех территориях, где в естественных условиях это невозможно.

В настоящее время они обеспечивают качество жизни на большей части планеты, включая основные свободы, потребление и качество среды обитания, но для ограниченного количества людей. При этом нужно учесть, что технические системы, обеспечивающие качество среды обитания человека, снижают его коммуникационные возможности, а обеспечивающие коммуникационные потребности человека – снижают качество среды его обитания.

1.4.1.3. Транспортная система как часть информационной системы

На основе международного опыта в 1980-е гг. была уточнена цель развития транспортной системы в соответствии с созданными к тому времени транспортными условиями, и звучала она так: «более полное и своевременное удовлетворение потребностей народного хозяйства, достигаемое при определенном критерии, экстремальное значение которого характеризует степень соответствия хода функционирования транспортной системы поставленной цели».

Наиболее полно в 1990-е гг. раскрыл вопросы развития транспортных систем городов в своей работе Ю. А. Ставничий [16,132,143]. Он определил цель развития транспортной системы города как полное, своевременное и качественное удовлетворение потребностей города в перевозке грузов и пассажиров. Транспортная система должна рассматриваться как часть информационной системы, ибо, как уже отмечалось, кроме материального потребления, природно-технические системы обеспечивают обществу качественное нематериальное потребление.

Обмен информацией в обществе в равных долях происходит по двум различным направлениям: обмен человека с человеком (коммуникации) и обмен человека с окружающей средой. С ростом популяции человечества и расширения ареала его обитания природные системы уже не в состоянии удовлетворять его необходимые информационные потребности как с окружающей средой, так и с другими людьми.

Для успешного осуществления процесса коммуникации необходимо несколько участников, вследствие чего возникает задача – предоставить возможность объединения участников для коммуникации. Иными словами, каждый участник процесса коммуникации должен иметь возможность общения с любым индивидом, в том числе и физически находящемся на другой территории. В связи с этим можно говорить и о транспортной коммуникации, поскольку одной из ее целей является обеспечение возможности мобильного передвижения. Применяя термины теории коммуникации, можно сказать, что транспортная инфраструктура – это своего рода канал связи в процессе коммуникации людей.

Вступив в информационный век, мы по-иному смотрим на такую науку, как теория коммуникации. Адресант перемещается с пассивных на активные позиции. Лауреат Нобелевской премии К. Гэ-

лбрейт сказал об этом феномене – человек хочет быть услышанным. Это его новая характеристика, которая не столь явно проявлялась в прошлом.

Также как и в транспортной сфере, до определенного периода у человека не было необходимости в осуществлении транспортных корреспонденций. Изначально на определенной территории он мог получить все, что ему было необходимо; с течением времени проявляется нехватка ресурсов, и он вынужден был перемещаться, осваивать новые территории.

Теория коммуникации объясняет наличие вербальной и невербальной связи между различными участниками процесса коммуникации. В добавление к прямой связи, где мы достаточно преуспели, приходит обратная, резко повышающая роль получателя информации. Транспортные коммуникации помогают технически осуществить процесс обмена ею, являются своего рода каналом связи: именно передвижение позволяет человеку налаживать новые связи и делать процесс коммуникации шире и многообразнее.

Особенности коммуникаций в значительной степени формируются разнообразными прикладными областями, где коммуникативное воздействие играет определяющую роль. Только с помощью эффективно проведенной коммуникации в современном обществе происходит все больше и больше событий. Общество стало более зависимым от коммуникаций, в том числе транспортных, поскольку для обмена информацией человеку важно не только пользоваться телефонной и телеграфной связью, но и осуществлять личное общение, личный контакт и передачу информации.

Современное общество принципиально альтернативно – для него характерна альтернативная коммуникативная среда. Любое сообщение можно передать с помощью разнообразного набора вариантов.

Транспортная коммуникация не владеет такой широкой степенью выбора вариантов как вербальная, но тоже предполагает наличие альтернативы (выбор средств передвижения, маршрут и т.д.).

Коммуникацию можно рассматривать как интенсификацию имеющихся коммуникативных интенций, перевод их в более технологическую форму, под которой мы понимаем достижение прогнозируемого результата в отличие от случайного процесса. В этом смысле целью развития транспортных коммуникаций является создание эффективной транспортной инфраструктуры города.

Процесс коммуникации охватывает генеральную совокупность людей, процесс передвижения также включает в себя большую часть

населения. Тем не менее индивидуальное общение, личностный фактор не становятся менее важными. Наблюдается общий процесс перехода от коллективного к индивидуальному мышлению. В транспортной сфере это выражается в стремлении приобрести личный автотранспорт и тем самым удовлетворить свои потребности в личном пространстве, личной безопасности и т.д.

Новый тип прикладных коммуникаций стал играть в современном обществе очень важную роль. Когда работа с информацией стала одной из производительных сил общества, появились страны, которые строят свое экономическое благополучие, в значительной степени используя ресурсы обработки информации. Транспортные коммуникации в жизни современного общества являются неотъемлемой частью всех производительных сил. В значительной степени это связано с тем, что оно вышло на более сложный этап своей организации, требующий успешного функционирования более совершенных процессов координации и в более серьезной степени опирающийся на информационные процессы.

В современном обществе транспортные коммуникации представляют собой достаточно сложные процессы, и построение эффективной транспортной системы также предполагает наличие современной системы координации.

Многие исследователи используют термин «глобальная информационная среда», который означает влияние рассматриваемого явления на политические, экономические и иные сферы жизни общества. Транспортные коммуникации, безусловно, включены в это понятие.

Новый информационный мир по-иному выстраивает свои приоритеты, опирается на новые типы возможностей, и статус наук коммуникативного цикла непрерывно возрастает. В этой области также появились свои «глобалисты», замкнувшие на коммуникацию все происходящие в мире процессы. Это Маршалл Маклюэн и Элвин Тоффлер. Они отмечают: во-первых, повышение роли самого канала коммуникации; во-вторых, всеобщность этого подхода, которая привела к рассмотрению мира как одной глобальной деревни, единство которой достигается за счет СМИ.

При рассмотрении города можно говорить о том, что это его единство достигается именно с помощью транспортных коммуникаций.

Следовательно, можно утверждать, что транспортные коммуникации являются неотъемлемой частью глобальной информационной

среды, ибо обладают как специфическими, так и общими особенностями, присущими коммуникации в целом.

Технические системы отчасти расширяют возможности информационного обмена, но все же не могут полностью заменить природные системы по качеству этого информационного обмена.

Качество среды обитания для человека в общем случае не тождественно понятию «качество жизни», как это принято для всего остального животного мира. Для человека потребление – это более сложный процесс, главное отличие которого от аналогичного процесса остального животного мира заключается в большом объеме (информационного) нематериального потребления.

Всё нематериальное потребление можно оценить через движение информационных потоков. Окружающая природная среда обеспечивает человеку пригодные для жизни материальные ресурсы (природно-климатические, пищевые, энергетические и др.), а также надежные каналы приема различной информации и в последующем передачи этой информации от человека к человеку посредством органов чувств (зрения, слуха, вкуса, обоняния, осязания). Однако рост человеческой популяции на земле предполагает расширение ареала обитания человека за пределы территорий, на которых природные системы в состоянии естественным путем удовлетворять потребности человека в информационном обмене [3,140,144], а это предполагает пространственные ограничения возможности передачи и приема различной информации при помощи органов чувств.

Сегодня человек расширил возможности передачи информации, её хранения и представления посредством знаковых форм. Так или иначе он создаёт искусственные средства для транспорта информации. Лапы животных находят своё продолжение у человека в колесе, а органы чувств – в технических системах связи: телеграф, телефон, телевизор, радио, интернет. Умение хранить информацию на различных носителях (камень, глина, папирус, пергамент, бумага, магнитные носители, киноленты, виниловые диски, цифровые накопители) позволяет «транспортировать» ее не только в пространстве, но и во времени.

Роль технических систем в информационном потреблении аналогична. Существующие каналы связи людей (органы чувств) имеют ограниченное действие в первую очередь по расстоянию передачи и приема информации. И здесь также на помощь приходят технические системы, обеспечивающие хранение и передачу на значительные расстояния все более возрастающих информационных потоков.

Кроме того, технические системы способны хранить и соответственно передавать только знаковую информацию, причем не только в пространстве, но и во времени. То же самое касается обработки информации, но в этом плане технические системы пока сильно отстают от природных систем, которыми наделен человек, в частности от его органов чувств и интеллекта. Технические системы не способны обеспечивать информационный обмен между людьми с таким качеством, как в природной среде при непосредственном общении людей. Потребность в таком общении с целью обеспечения качества информационного обмена стимулирует их подвижность.

Транспортную систему города прежде всего следует рассматривать как систему обеспечения передачи информации от человека к человеку в соответствии с его потребностями. Бурный рост информационных технологий ведет к тому, что в общем балансе его потребления темпы роста нематериальных потребностей значительно опережают темпы роста материальных потребностей, передаваемых соответственно по каналам связи или путям сообщения.

В итоге качество жизни человека определяется качеством природно-технических систем, обеспечивающих потребности человека (рис. 1.14). Одной из значимых систем в этом процессе является транспортная система. Как элемент информационной системы, она в условиях изменения структуры мировой экономики (рост сферы услуг) испытывает повышенные нагрузки именно как система передачи информации. Эта нагрузка будет увеличиваться с ростом производительности труда и высвобождением большего количества трудовых ресурсов.

Стремясь к достижению высоких показателей качества жизни, человечество овладевает новыми знаниями. Всех людей можно разделить на две большие категории: занимающиеся обработкой уже известной информации и создающие новую информацию, новые знания. Можно предположить, что объем перерабатываемой сообществом информации подчиняется гравитационному закону, поэтому естественно, что в крупных городах этот объем максимален.

В конечном итоге принимает и передаёт информацию человек при помощи пяти органов чувств. Естественный путь передачи информации от человека к человеку задействует сразу несколько органов чувств, и в этом случае информация передается в образном виде.

С увеличением необходимого объема передачи информации человек придумал формальные и неформальные языки и различные формы передачи информации в знаковой форме. Хотя знаковая фор-

ма передачи информации задействует только один из органов чувств человека, однако позволяет использовать технические системы на этапе ее передачи, хранения и первичной переработки. Именно информационные системы обработки, хранения и передачи информации в настоящее время определяют устойчивость и жизнеспособность индустриальной фазы развития человеческого общества.

На современном этапе развития техники и технологии успешно решается задача удовлетворения потребности людей в объемах информационного потребления. Прогресс в этой области отодвигает проблему истощения ресурса по обеспечению информационного обмена между людьми далеко за видимый горизонт прогнозирования будущего, чего нельзя сказать о качестве информационного обмена. Системы хранения, обработки и транспортировки знаковой информации существенно опережают аналогичные возможности человеческого мозга, однако современные проводники информации загрязнены, а искусственные фильтры не справляются с их очисткой. Не зря некоторые аналитики определяют нашу эпоху как время эскапизма⁵ и избыточной информационной нагрузки. Выдающийся советский психолог А.Н. Леонтьев проницательно заметил, что «избыток информации ведет к оскудению души».

По каналам связи в мозг человека поступает поток информации с высоким напряжением (если проводить аналогии с электрическим током). Это происходит из-за физического сопротивления канала (обычно одного органа чувств). Точно такой же поток информации абсолютно легко достигает конечной своей точки в мозге человека, будучи распределенным равномерно по всем пяти органам чувств. Генератором либо транспортировщиком структурированной таким образом информации служит сам человек. Следовательно, обмен ею в непосредственном контакте между людьми является самым эффективным, в силу того, что очное общение лишено информационного мусора. Роль транспорта в информационном обмене определяет качественные показатели жизни человека через качество его нематериального (информационного) потребления.

Строго рассматривая назначение и роль транспортных систем в жизни человеческого общества, следует указать на одно необходимое условие его развития. Информационное потребление, как основная движущая сила функционирования и развития транспортных систем, не является определяющим процессом. Определяющим

⁵ Эскапизм – стремление человека уйти от действительности в мир иллюзий.

условием выступает небольшая, но важная функция транспортной системы – транспортировка человека к человеку с целью репродукции (рис. 1.15).

В истории Великобритании известен тот факт, что коренное сельское население на Британских островах долгое время страдало от разного рода наследственных болезней, имеющих генетическую природу. Причиной многих из них были близкородственные брачные связи, приводившие к рождению детей с различными генетическими отклонениями. Проблема разрешилась неожиданно. С изобретением велосипеда женихи стали выбирать себе невест гораздо дальше от места жительства их рода, и проблема наследственных, генетически обусловленных болезней была решена.

Еще раз стоит отметить, что необходимость в качественном информационном обмене между людьми определяет назначение и роль транспортных систем в городах. Задачи транспортировки сырья, продукции и даже средств производства не являются определяющими в процессе функционирования и развития транспортных систем городов.



Рис. 1.15. Определяющие процессы функционирования транспортных систем

С начала XXI века многими исследователями подтверждается тенденция увеличения объема хранимой информации в электронном виде ежегодно в 2 раза. Существенно расширяются существующие каналы связи, расширяется скорость передачи информации, скорость обработки этой информации. На рынке появляются новые системы сбора и хранения этой информации. Под интернет каналы передачи цифровой информации резервируется всё большее количество радиочастот. Значительно увеличивается количество как передатчиков, так и приёмников информации, при этом частоты, на которых они обмениваются информацией, постоянно растут, а скорость передачи такой информации увеличивается. Инструменты и алгоритмы первичной обработки переданной информацией позволяют представить собранную информацию в виде максимально удобной

для её восприятия человеческими органами чувств. В первую очередь, это касается визуальной и аудиальной информации.

Такой всплеск научно-технических разработок и открытий в сфере накопления и передачи информации уже сейчас позволяет человеку минимизировать свои транспортные передвижения с различными целями (в первую очередь, с рабочими целями). Крупные и крупнейшие города стали пионерами в области развития способов удаленной работы во многих сферах бизнеса. Растут в цене акции компаний, предоставляющие услуги связи, а также различные платформы он-лайн коммуникаций между людьми в различных сферах жизнедеятельности. Всё больше людей совмещают свой дом и своё рабочее место, приучаясь работать из дома, экономя при этом от одного до трех часов времени, которые раньше тратили в ходе транспортных перемещений. Для того чтобы оценить влияние современных тенденций на показатели общей подвижности населения городов было рассмотрено увеличение роста производительности труда и увеличение объемов накопления информации в сети интернет в зависимости от времени. На 2021 г. производительность труда в промышленности составляла 16-17 тыс. долларов США в год на одного занятого в промышленности работающего. Прямая роста производительности труда, приходящегося на одного работника, занятого в сфере производства, стимулирует подвижность населения и тянет кривую общего объема транспортных корреспонденций вверх (рис. 1.16)^{6,7}.

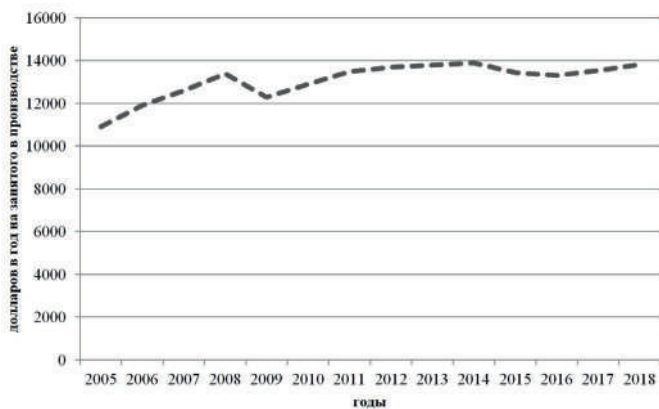


Рис. 1.16. Уровень производительности труда и его динамика в 2005-2015 годах в Российской Федерации

⁶ <https://ac.gov.ru/files/publication/a/13612.pdf>.

⁷ <https://www.factograph.info/a/30298914.html>.

На рисунке 1.17 представлена кривая, показывающая рост объемов информации, передаваемой по каналам связи в мире. В свою очередь, этот объем зависит как от собственно накопленного в мире объема формализованной информации, хранящейся на различных носителях, так и от скорости передачи информации по каналам связи⁸.

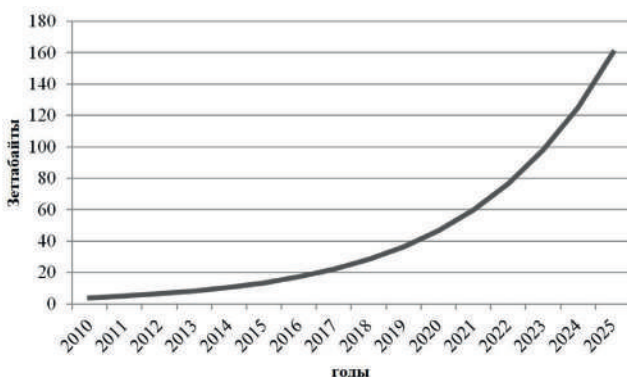


Рис. 1.17. Объем информации, передаваемой по каналам связи в мире (Зеттабайт)

Изменение объемов транспортных перемещений в городах можно представить как разность между ростом производительности труда и ростом возможностей и качества современных каналов связи (рис. 1.18). Нетрудно представить кривую изменения нагрузки на транспортную систему города с населением 1 млн человек.

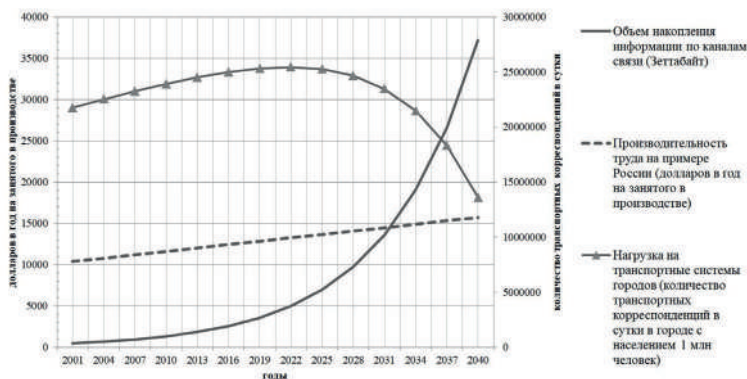


Рис. 1.18. Прогноз подвижности населения городов

⁸ <https://aboutdata.ru/2017/04/27/volume-of-data-by-2025/>.

На рисунке 1.18 нагрузка на транспортные системы городов (количество транспортных корреспонденций в сутки в городе с населением 1 млн человек) представлена в виде функции:

$$T_c = a \cdot P - b \cdot I, \quad (1.1)$$

где

T_c – количество транспортных корреспонденций в сутки в городе с населением 1 млн человек;

P – производительность труда на примере России (долларов в год на занятого в производстве);

I – Объем накопления и передачи информации по каналам связи (Зеттабайт);

a, b – весовые размерные коэффициенты.

Таким образом, функция нагрузки на транспортные системы городов, представленная на рисунке 1.18, выглядит следующим образом:

$$T_c = 2120 \cdot P - 530 \cdot I \quad (1.2)$$

В настоящее время развитие систем связи (сети Интернет) начинает сглаживать рост объемов информационного обмена между людьми, так как часть нагрузки с транспортной системы переходит в системы связи.

Для изменения ритма городской жизни всё уже готово как в техническом плане, так и в плане осознания горожан в необходимости таких изменений. Транспортное сообщение в городах последние 10 лет стало восприниматься не иначе как основная и глобальная проблема, и издержки жизни в большом городе. У людей накапливается усталость и формируется негативное отношение к функционированию всей транспортной системы.

В начале 2020 года на землю пришел новый коронавирус. Через два месяца этим вирусом охвачены большинство стран и все континенты, объявлена эпидемия. В апреле 2020 года мы видим пустые улицы городов-миллионников, редкий общественный транспорт, заполненный на одну четверть. Огромная по размеру транспортная инфраструктура городов из дефицитной превратилась в избыточную. Уменьшается интенсивность движения на автомобильных дорогах, уменьшается количество подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования. При этом надо отметить, что город продолжает жить, продолжают работать большинство предприятий и организаций, работают органы власти, органы управле-

ния, больницы, полиция и армия. Люди продолжают учиться и отдыхать, но делают это несколько иначе. Пандемия нового коронавируса стала определённым катализатором изменения транспортной парадигмы подвижности людей и режимов функционирования транспортной системы крупных и крупнейших городов. То, о чём многие люди в шутку мечтали несколько лет назад, в частности о том, что они будут работать дома, удалённо, свершилось по независящим от них обстоятельствам. Изданы соответствующие Указы Президента России и руководителей российских регионов, ограничивающие подвижность населения в связи с эпидемией. Многие были готовы к этому и раньше, но раньше переход на удаленную работу воспринимался как нечто сверхординарное, необычное, нехарактерное для всего сообщества горожан. Ситуация с карантином и удалённой работой из дома уравнила желание многих с вынужденной необходимостью, и уже те люди, которые в силу необходимости должны перемещаться ежедневно из дома на работу, оцениваются обществом как некое исключение из общего правила, а их действия не совсем правильными с точки зрения транспортного поведения. Такое перемещение стало рассматриваться как вынужденная необходимость, а не как естественная потребность человека.

Можно предположить, что, став единожды на путь сокращения своих транспортных корреспонденций, в первую очередь с трудовыми целями, жители современных городов уже не вернуться к той ситуации, когда абсолютное большинство горожан каждый день перемещается с работы домой и обратно. Ориентируясь на графики, представленные на рисунке 1.18, можно ожидать, что, начиная с 2021 года, произойдёт постепенное снижение транспортного спроса, а, соответственно, и нагрузки на транспортные системы крупных и крупнейших городов. Такую закономерность можно проследить уже в 2020 году (рис. 1.19).

Европейские исследования допускают то, что объём транспортного движения вернется к показателям 2019 года только в 2025 году. Это следует из прогноза изменения интенсивности дорожного движения на 2020–2025 годы, выполненного Институтом знаний по политике мобильности (KiM) (Нидерланды)⁹. Соответственно, объёмы пассажирских транспортных перемещений вернуться к показателям 2019 года только в 2028 году.

⁹ <https://aboutdata.ru/2017/04/27/volume-of-data-by-2025/>.

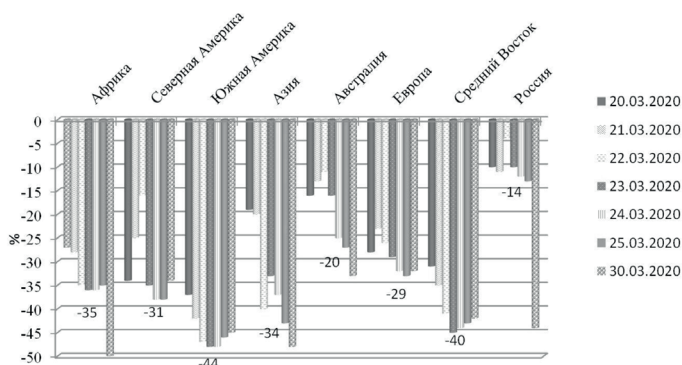


Рис. 1.19. Снижение интенсивности транспортных потоков вследствие карантинных мер в разных странах в период с 20.03.2020 по 30.03.2020 (цифрой отоброжено среднее значение снижения интенсивности в указанный период)

Представляется, что к 2040 г. технологии обработки информации существенно снизят потребности в личном общении людей, они научатся нужную информацию очищать от ненужной. В обозримой перспективе эта тенденция еще более усилится в связи с тем, что по информационным каналам удастся передавать не только голографическое изображение и звук, но и вкусовые и тактильные ощущения, запахи. Системы связи будут обеспечивать качество передачи информации от человека к человеку, сравнимое с личным непосредственным общением. Нагрузка на транспортные системы существенно снизится.

1.4.1.4. Транспортные системы в материальном потреблении

Сложно оценивать роль транспорта, как отрасли производства в удовлетворении культурно-бытовых и рекреационных корреспонденций жителей городов, общая доля которых составляет до 50% объема транспортных передвижений. Очевидно, что такой существенный объем транспортной работы никак не связан ни с производством, ни даже с материальным потреблением.

Процесс материального потребления человеком, разумеется, использует ресурсы транспорта, и в этом случае действительно определяет транспорт как отрасль производства [89,145], причем не самостоятельную. Это станет очевидным, если исходить хотя бы из того факта, что в многофакторной модели совокупного ВВП страны (ВРП региона) переменная транспортной работы будет играть роль естественного ограничителя и входить со знаком минус в состав це-

левой функции. Это, в свою очередь, означает, что целевой функцией транспорта как отдельной отрасли производства будет минимизация транспортной работы. В сфере материального потребления транспорт является всего лишь одним из звеньев технологического цикла производства продукта (услуги) потребления.

Представим условно типичные стадии жизненного цикла товара или услуги (рис. 1.20).



Рис. 1.20. Стадии производственного цикла движения товара

Транспортная работа в той или иной мере обязательно присутствует на каждой из стадий производственного цикла, будь то перевозка на значительные расстояния полезных ископаемых на перерабатывающие заводы или транспортировка одной сборочной единицы будущего изделия на заводском конвейере. В каждый момент времени цель будет оставаться неизменной – минимизация транспортной работы. Нет смысла рассматривать этот процесс как функцию транспортной системы.

Совершенствование технологии как всего промышленного производства, так и производства отдельного товара может в определенный момент своего развития скачкообразно свести к минимуму транспортную работу, как составляющую цикла производства отдельного товара, тем самым полностью (или почти полностью) исключив из этого процесса роль транспорта. В связи с этим, можно сделать вывод, что именно технологии производства, а не технологии транспорта служат лимитирующими факторами его участия в промышленном производстве.

Но движение готового товара (услуги) к конечному потребителю в качестве определяющей имеет также информационную составляющую. В первую очередь, человек нуждается не в самом товаре, а в потреблении качественной информации о товаре, и лишь потом, после обработки этой информации он приобретает и потребляет необходимый ему товар (услугу). Этот этап жизненного цикла товара невозможно сократить технологически именно вследствие присутствия в нем существенной информационной составляющей, которая определяет *назначение и роль транспортных систем* в современном обществе.

1.4.1.5. Транспортная доступность и транспортные издержки

Перемещение не является само по себе благом и представляет собой скорее «неизбежное зло», связанное с осуществлением социальной, экономической и другими составляющими жизнедеятельности индивидуума, главная из которых – необходимость обмениваться информацией с другими людьми, необходимостью продолжения человеческого рода.

Экономические затраты лимитируют объемы транспортных перемещений для каждого человека индивидуально. Экономия на перемещениях приводит к потере качества получаемой человеком информации. Перемещения с равной стоимостью по-разному воспринимаются субъектами с различными душевыми доходами. Одна и та же стоимость несет с собой одинаковое общественно необходимое время для своего создания, но разную величину личного времени субъекта.

В системе затрат (времени и денег) качество и назначение транспортных систем целесообразно рассматривать в двух плоскостях:

- Первая цель – это обеспечение транспортной доступности территории регионов.
- Вторая цель – это снижение транспортных издержек в городских агломерациях.

Городская агломерация – территория, включающая один или несколько центров, представляющих собой крупные городские поселения, а также прилегающие к центру городской агломерации территории, на которых расположены иные поселения, более половины трудоспособного населения которых реализует устойчивые ежедневные транспортные корреспонденции с центром городской агломерации [4] (рис. 1.21).



Рис. 1.21. Цели развития транспортной системы региона а) Обеспечение транспортной доступности; б) Снижение транспортных издержек

Транспортная доступность – мера способности территории быть достигнутой или достигать другие территории при помощи транспорта [4].

Транспортные издержки – денежно-кредитная мера того, сколько должен заплатить транспортный потребитель, чтобы реализовать транспортную потребность [146].

Сравнительный анализ целей транспортной системы внутри региона представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4

**Сравнительный анализ целей транспортной системы
внутри региона**

Сравнительная характеристика	Цель «Обеспечение транспортной доступности»	Цель «Снижение транспортных издержек»
Объект исследования	Транспортная система региона	Транспортная система городской агломерации
Предмет исследования	Влияние транспортной системы региона на удовлетворение физиологических потребностей людей	Влияние транспортной системы города на удовлетворение социальных, престижных, духовных потребностей людей
Целевая функция	Повышение экономического благосостояния жителей региона	Снижение времени реализации транспортных корреспонденций
Критерий	Увеличение налогооблагаемой базы региона за счет освоения природных богатств и роста промышленного производства	Время реализации транспортных корреспонденций
Способ	«Соединение» при помощи транспорта предметов производства, средств производства, производительных сил и потребителей	Сбалансированное использование ресурсов сообщества: бюджета, территории общего пользования (в том числе под использование различных систем транспорта)
Степени свободы	Системы транспорта, территория	Системы транспорта, территория
Роль территории	Территория – цель	Территория – ограничение

Задачи обеспечения транспортной доступности решались одновременно с этапом пионерского освоения территорий, а он был завершен на планете к началу XX в. Интересно, что задачи обеспечения транспортной доступности и снижение транспортных издер-

жек во всем мире обычно возникали и решались последовательно. И только в нашей стране, в силу существенной неравномерности плотности населения задача снижения транспортных издержек (преимущественно в городах) появилась задолго до возникновения проблемы обеспечения транспортной доступности заселенных территорий. Сейчас эти две проблемы существуют в России одновременно (рис. 1.22).

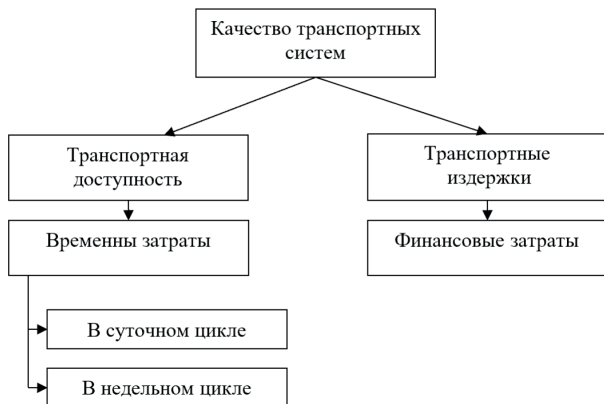


Рис. 1.22. Параметры оценки качества транспортных систем

Исторически сложившееся в годы советской власти индустриализации и освоения Сибири и Дальнего Востока искусственное базовое расселение населения и распределение мест приложения труда в настоящий момент только тормозит развитие территорий. В стране наблюдаются антропопоки, выравнивающие этот искусственный дисбаланс между естественными и искусственными движущими силами миграции. Это есть некоторая особенность современной России, которая выделяет ее из общих современных миграционных процессов.

Качество жизни, обеспечиваемое техническими системами в крупных городах, особенно северных городах, уступает в предпочтениях современного мобильного человека качеству среды обитания, обеспечиваемое в большей части природными системами (в южных городах).

Рост транспортных издержек городского сообщества и нерешенность задач обеспечения транспортной доступности значительной части населения затрудняет нахождение в обществе согласия в вопросах стимулирования либо сдерживания автомобилизации на-

селения. Издержки общества от автомобилизации растут, и по-прежнему для значительной части населения страны обладание личным автомобилем – это заветная цель.

Транспортная доступность аналогично понятию свободы. Для животного мира это, прежде всего, свобода перемещения, для человека, кроме этого, существуют понятия свободы выбора действий и принятия решений. В обществе ценятся не сами факты принятых решений, а потенциальная возможность их принятия в будущем. Транспортная доступность и свобода перемещений связана с астрономическими циклами времени и привязанными к ним жизненными человеческими циклами поведенческой активности. Эти временные циклы разделяют понятия «транспортная доступность» и «транспортные издержки» при рассмотрении различных потребностей человека в передвижениях с разными целями.

Транспортная доступность определяется самим человеком через предельную величину транспортных издержек, связанных с поездкой к конечной точке назначения на любом виде транспорта, имеющемся в его распоряжении. Но в зависимости от назначения и целей этой поездки, транспортные издержки могут быть выражены во времени либо в финансовых затратах.

Транспортная доступность обычно обусловлена только временем. Финансовые затраты на осуществление перемещения не определяют транспортную доступность территории (объекта). Например, при рассмотрении качества региональной транспортной системы транспортная доступность определяется следующими максимальными транспортными издержками по регулярности корреспонденций:

в суточном цикле – 1.5-2 часа

в недельном цикле – 6-8 часов

Ежедневно человек не может тратить больше 3 – 4 часов, например, на реализацию своих трудовых корреспонденций. В противном случае такие потери времени сводят на нет его усилия по повышению собственного уровня качества жизни посредством получения дополнительных материальных благ. Потери в качестве и объеме информационного потребления, сопутствующие процессу транспортировки человека к месту приложения труда, оказываются весомее получения дополнительных материальных благ.

В недельном цикле возможны перемещения с целями удовлетворения потребностей, связанных с культурным досугом или активным отдыхом, а также безальтернативной необходимостью посещать

места оказания специфических услуг органами государственного и муниципального управления в центрах муниципальных образований либо в региональном центре. Временные затраты на подобные перемещения, превышающие 6-8 часов, делают такие услуги неустребованными, а места их оказания – транспортно-недоступными.

Транспортные издержки – это плата за возможность получать качественную информацию. Человек готов платить за нее деньгами и своим временем. Из этого вытекает стремление индивидуумов так организовать свои внутригородские перемещения, чтобы психофизиологическая энергия, затрачиваемая на осуществление этого процесса, была наименьшей из возможных.

1.4.2. Ограничения развития транспортных систем на урбанизированных территориях

1.4.2.1. Ресурсные ограничения развития транспортных систем

С одной стороны, развитие коммуникационных возможностей современных систем связи снижает подвижность людей, с другой стороны, рост объемов формализованной информации приводит к ее загрязнению (замусориванию и появлению паразитной информации) и снижает качество информационного обмена между людьми с использованием технических систем. Это рождает потребность прибегать к иным способам качественного обмена информацией друг с другом – личному общению, что, в свою очередь, повышает подвижность людей.

В каждой периодической фазе жизненной активности у человека формируются довольно стабильные запросы к локальной окружающей среде, причем в последнее время они всё больше разделяются (можно сказать разбегаются в противоположные стороны). Становятся важны сразу обе составляющие (рис. 1.23):

- убежище (обеспечение личного пространства);
- быстрая мобильная жизнь в экономике.

При решении задачи удовлетворения человеком своих транспортных потребностей, обладание личным автомобилем удовлетворяет сразу всем его запросам. Только личный автомобиль сохраняет индивидуальность людей и одновременно способствует ускорению их мобильности в экономической жизни.

Решение задачи перемещения одного человека лимитируется собственно его физическими размерами, и это есть *первое ограничение*

ние развития транспортных систем. Личный автомобиль конструктивно ограничен «снизу», то есть только физическими размерами человека. Модельный ряд различных автомобильных концернов не претерпел существенных изменений, однако существенно увеличились габариты одних и тех же моделей автомобилей. Можно отметить, что за последние десятилетия автомобилестроители мира существенно увеличили внешние габариты практически всех известных марок автомобилей, увеличилась мощность и динамика автомобилей¹⁰ (рис. 1.24).



Рис. 1.23. Требования к транспортным средствам в системе



Рис. 1.24. Сравнение размеров автомобилей разных годов выпуска одного и того же модельного ряда а) концерна Porsche; б) концерна Volkswagen

Однако в городах повсеместно возникает конфликт интересов каждого в отдельности человека с его запросами, в том числе и в области личных транспортных потребностей и интересов сообщества людей в рациональном использовании территорий общего пользования. Откликаясь на этот конфликт, транспортные системы любого

¹⁰ Размер имеет значение // Живой журнал Ильи Варламова. – 14.12.2020. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://varlamov.ru/4123287.html>.

крупного современного города предлагают своему жителю значительный выбор средств для его доставки к месту назначения, основными и принципиально различными видами транспорта, включая общественный транспорт и личный автомобиль. Баланс между видами транспорта *определяется вторым ограничением развития транспортных систем* – наличием свободных территорий.

Ресурсное потребление дорожно-транспортного комплекса города имеет следующие составляющие: потребление территории и потребление энергии. Оба эти показателя, соотнесенные с объемами итоговой транспортной работы дорожно-транспортного комплекса, определяют одну из трех составляющих показателя эффективности функционирования всей транспортной системы города, состоящего из скорости реализации транспортных корреспонденций; объемов потребленных ресурсов; величины техногенных рисков.

В современных условиях основным показателем оценки эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса крупного города является показатель провозной способности его улично-дорожной сети в сочетании с имеющимся парком транспортных средств. Основное влияние на конечные показатели этого обобщенного критерия оказывает эффективность функционирования городского пассажирского транспорта общего пользования.

Например, для крупных российских городов доля общественного транспорта в транспортном потоке по центральным улицам составляет в среднем 6 – 9 % от суммарного потока. Его доля в среднем по всем перегонам в суммарном потоке равна 7,34 %. С учетом того, что эта доля постоянно сокращается ввиду объективных причин – роста благосостояния населения и увеличения парка индивидуальных транспортных средств и субъективных – низкой привлекательности городского пассажирского транспорта общественного пользования (ГПТОП), можно сделать вывод о том, что в существующих условиях последний не только не оказывает существенного влияния на обобщенные показатели качества функционирования транспортной системы, но и постепенно вытесняется с главенствующих позиций в реализации транспортных потребностей городского населения.

Оценивая ресурсное потребление человечества в целом и транспортной системы в частности, надо отметить, что проблема обеспечения человечества продовольствием отходит на второй план, во – первых, потому что место проживания человека уже не связано с местами размещения сельскохозяйственных угодий и производства, а во вторых, в современном мире производительные силы достигли

такого уровня развития, что для жизнеобеспечения человечества достаточно 15-20% имеющейся рабочей силы. Становится понятным, что проблема заключается не в ресурсном ограничении, не в глобальном недостатке энергии, а в социальных механизмах управления и распределения знаний, капитала и богатств земли. Точнее говоря, дефицитными сегодня становятся коммуникационные ресурсы распределения знаний, капитала и богатств земли.

Центрами концентрации знаний, финансовых ресурсов, а также их распределения являются города. Концентрация населения в городах позволяет с наименьшими потерями обеспечить транспортировку продуктов питания от сельскохозяйственного производителя до конечного потребителя – человека. То же можно сказать и о других благах цивилизации, предоставляемых современными технологиями, однако новые ресурсные ограничения развития человеческого общества отчетливо проявляются как раз в крупных и крупнейших городах.

Доминирующим фактором, сдерживающим развитие в них транспортных систем, является ограниченность городской территории, выделяемой обществом для реализации своих транспортных потребностей.

Общественный транспорт обеспечивает значительно более экономичное использование проезжей части дорог и улиц при обслуживании пассажиропотоков, а значит улучшает общую производительность улично-дорожной сети и эффективность использования территорий общего пользования в городах. Установлено, что участок улицы с максимальной пропускной способностью пассажиропотока 1.4 тыс.чел/ч на легковых автомобилях может обеспечить пропуск пассажиропотока объемом до 10–15 тыс.чел/ч на общественном транспорте. Использование городского пассажирского транспорта общего пользования снижает загруженность улицы моторизованным движением и, как следствие, риск ДТП и стресс для городской окружающей среды.

Рассчитаны зависимости между типом пассажирского транспортного средства и площадью проезжей части, необходимой для перевозки 1 пассажира (табл. 1.5).

Способность систем транспорта обеспечивать значительную транспортную перевозочную работу на ограниченных площадях определяет провозную способность систем транспорта. Ориентировочные провозные способности и скорости сообщения различных видов транспорта приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.5

**Зависимость между типом транспортного средства
и потребностью в площади проезжей части улицы
из расчета перевозки 1 пассажира**

Тип пассажирского транспорта	Количество перевозимых пассажиров при различной вместимости, чел. (полная/средняя)	Площадь проезжей части, м ² на 1 пассажира (полная/средняя)	
		в неподвижном состоянии	при скорости 50 км/ч
Легковой автомобиль	4/1,4	3,75/10,7	59,3/169,0
Автобус	86/34	0,41/1,03	3,47/8,77
Скоростной трамвай	270/108	0,34/0,84	1,56/3,90

Кроме этого, общественный транспорт:

1) более экономичен, из расчета количества потребленного энергоносителя (и связанного с этим загрязнения окружающей среды) на перевозку 1 пассажира по сравнению с личным легковым транспортом;

2) более безопасен, учитывая профессиональное управление и содержание подвижного состава. Поэтому риск попасть в ДТП для пассажира общественного транспорта статистически намного ниже, чем для пассажира легкового автомобиля, управляемого водителем-«любителем»;

3) подвижной состав занимает в статическом состоянии значительно меньше места из-за отсутствия необходимости парковки подвижного состава в течение рабочего дня.

Таблица 1.6

**Относительные параметры функционирования
различных систем транспорта**

Вид транспорта	Макс. частота движения, пар поездов в час-пик (ед. подвижного состава)	Количество вагонов в составе	Ориентировочная провозная способность, тыс. пасс. в час-пик	Скорость сообщения, км/ч
Метрополитен: - действующей системы	40	6-8	40,0-54,0	35-45
- экспресс – метрополитен	40	8-10	54,0-68,0	50-55

Вид транспорта	Макс. частота движения, пар поездов в час-пик (ед. подвижного состава)	Количество вагонов в составе	Ориентировочная провозная способность, тыс. пасс. в час-пик	Скорость сообщения, км/ч
Пригородно-городская железная дорога, 2-4 – путная	14-28	10-12	20,0-50,0	45-55
Городской скоростной внеуличный рельсовый транспорт мини-метрополитен, наземный легкий метрополитен	14-30	4-6	15,0-30,0	25-35
Скоростная транспортная система «город-аэропорт»	14	6	20,0	70-80
Трамвай	30	1-2	3,4-6,8	15-20
Автобус -экспресс -обычный	Определяется условиями организации дорожного движения	1 1	- -	25-35 18-20
Троллейбус	40	1	3,5-4,7	18-20
Малогобаритный наземный транспорт микроавтобус	Определяется условиями организации дорожного движения	1	-	в потоке

За день на УДС крупного города выезжает около 50% общего количества зарегистрированного парка индивидуальных транспортных средств в городе. В течение 12 часов рабочего дня в среднем каждый автомобиль находится в движении около 90 минут. В оставшееся время автомобиль находится припаркованным вне места своего постоянного хранения, чаще всего на территориях общего пользования в системе УДС города.

Концентрация населения в городах увеличивается, территориальные ресурсы (пропускная способность коммуникаций) интенсивно потребляются, а городское сообщество строит новые и все более мощные коммуникации, которые тут же притягивают к себе новые пассажиропотоки, плотность которых растет, и ресурса опять

не хватает. Это приводит к дальнейшему осложнению состояния и условий движения на УДС города, снижению ее провозной способности, уменьшению привлекательности общественного транспорта, росту спроса на передвижения с использованием индивидуального транспорта и увеличению интенсивности движения. Спираль городских транспортных противоречий (рис. 1.25) иллюстрирует этот процесс и определяет динамику автомобилизации населения крупного города.

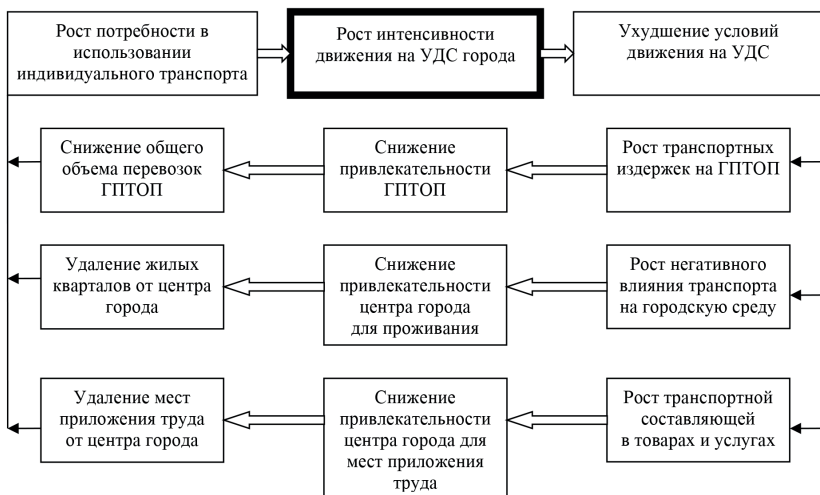


Рис. 1.25. Спираль генерации автомобилизации населения города

Рассматривая эту спираль во времени, можно констатировать, что в данный момент времени большинство российских городов находится на этапе преодоления негативных последствий первого (самого маленького) круга этой спирали, в частности снижения привлекательности городского пассажирского транспорта общего пользования. В городском сообществе активно популяризируется использование транспорта общего пользования взамен личного автомобиля. Общество изменяет своё отношение к транспорту общего пользования, вследствие чего появляются проекты по предоставлению преимуществ движения общественного транспорта, которые делают движение общественного транспорта независимым от общего уровня автомобилизации и автомобилепользования населения в городах. В начале третьего десятилетия XX века этот процесс для многих городов только начался. Наибольших успехов добились

наиболее прогрессивные города, такие как Москва, Казань, Пермь, Белгород. Однако задействование других витков спирали городских транспортных противоречий пока никак не оценивается в городах и не прогнозируется на будущее.

Очевидно, что возрастающая вследствие этого плотность коммуникаций, предназначенных для удовлетворения потребности в перемещении людей (дороги), также величина конечная. Кроме того, расширение транспортных коммуникаций – это процесс с отрицательной обратной связью, приводящий к росту подвижности населения (рис. 1.26).



Рис. 1.26. Экстенсивный путь развития улично-дорожной сети города

Ограниченность возможностей транспортных коммуникаций есть основа сдерживания развития, как транспортных систем в городах, так и всей индустриальной фазы развития человеческого общества (рис. 1.27). Транспортные возможности территорий определяются, в первую очередь, физическими размерами объектов транспортировки, для пассажирских перемещений – это физические размеры самого человека.



Рис. 1.27. Ограничения развития транспортных систем городов

Как показывает российская практика, следование экстенсивному пути увеличения пропускной способности транспортной сети

на фоне продолжающегося роста уровня автомобилизации и сопутствующего ему увеличения подвижности на индивидуальном транспорте не приносит ожидаемого результата. Даже при значительном объеме капитальных вложений в дорожное строительство практически невозможно успеть за возрастающим спросом на передвижения. Опыт многих европейских городов, столкнувшихся с подобными проблемами, подтверждает, что оптимальной стратегией является комплексный подход к развитию индивидуального и общественного транспорта при значительной регуливающей роли городского сообщества. Ни одному городу пока не удалось полностью удовлетворить спрос на передвижение на индивидуальном транспорте.

Итак, можно сделать вывод о том, что сам по себе экстенсивный путь развития УДС – тупиковый, не решающий проблемы, но ухудшающий качество жизни населения в городах.

1.4.2.2. Экологические ограничения развития транспортных систем

Кроме предела физической плотности транспортной инфраструктуры, развитие транспортных систем будут лимитировать возможности окружающей среды утилизировать негативное влияние функционирования технических систем на отдельной территории.

Имеет смысл оценивать способность окружающей среды утилизировать негативное влияние транспорта также через площади необходимых для осуществления этой утилизации свободных территорий. Аналогично определяются и общие характеристики влияния человека на окружающую среду. Всемирный фонд защиты природы для этих целей формулирует понятие адаптированной экологической нагрузки (EF, ecological footprint, – экологический след), разработанный группой Матиса Вакернагеля, которое определяет экологическую нагрузку как площадь территорий, требующихся для того, чтобы обеспечить человека всем необходимым при современном стиле его жизни (рис. 1.28). Экологическая нагрузка рассчитывается в гектарах.

При переходе к рассмотрению территорий городов и их транспортных систем также целесообразно придерживаться принципов, предложенных М. Вакернагелем. При рассмотрении баланса использования городских территорий становится очевидной связь размеров экологического следа, оставляемого транспортной систе-

мой города, и ограничивающей ее развитие городской территорией (рис. 1.29).



Рис. 1.28. Структурная схема оценки экологической нагрузки (экологического следа)



Рис. 1.29. Структурная схема оценки экологической нагрузки городской территории

Как и в области развития коммуникаций по передаче информации, научно-технический прогресс отчасти отодвигает точку перехода объемов экологической нагрузки за предел их регенерации природной системой. Но антропопоток постоянно растет и движется из тех областей, где коммуникации строить экономически не выгодно, в те области, где их строить технически невозможно. В таких условиях процесс транспортного планирования на урбанизированных территориях определяет уже не качество жизни поколения живущих на территории людей, а качество жизни последующих поколений.

Основной задачей развития транспортных систем в городах становится формирование устойчивых природно-технических систем. Устойчивость транспортной системы – это ее способность удовлетворять транспортные потребности человека в настоящем, не лишая при этом будущие поколения возможности удовлетворять их транспортные потребности [97].

Предел насыщения территории коммуникациями можно с уверенностью назвать началом нового фазового перехода, и определять этот предел будет плотность транспортных коммуникаций, как единственное ограничение, обусловленное физическими размерами человека.

1.4.3. Понятие эффективности транспортной системы крупного города

В последнее время довольно распространена практика, когда при обсуждении различных вопросов в области функционирования транспортных систем городов во главу угла ставятся вопросы управления транспортными потоками. Это относится как к научному сообществу, так и к предметным специалистам-практикам, и ответственным чиновникам городского управления.

Нередки случаи, когда без достаточного понимания конечной цели работы транспортных систем городов, для специалиста такой целью становится собственно сама организация и управление в ранге самоцели. При этом ориентирами в ее достижении представляются видимые микропоказатели работы улично-дорожной сети на отдельных ее элементах, например малоформализованные понятия «пробки», «очереди» и т.п. Это важно для решения задач оперативного управления дорожным движением (в реальном времени), но неприменимо к задачам транспортного планирования города, которые решаются посредством использования инструментов и средств планирования и организации дорожного движения.

В свою очередь, средства организации дорожного движения являются неотъемлемой частью дорожно-транспортного комплекса города, а следовательно, самой транспортной системы, а не отдельной управляющей (надсистемной) надстройкой, как это представляется в отдельных исследованиях в области управления транспортными потоками.

Для начала требуется определить смысл самого понятия «эффективная транспортная система». Термин «эффективность» впервые появился в экономической теории. *Эффективность* — это результативность процесса, операции, проекта, определяемая как отношение эффекта, результата к затратам, обусловившим его получение [146].

Экономическая эффективность — результативность экономической системы, выражающаяся в отношении полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным ресурсам. Не теряя общности, данное понятие можно отнести к транспортной системе: *эффективность транспортной системы* — это отношение полезных конечных результатов ее функционирования к затраченным ресурсам.

Термин «эффективность» можно применить и к процессу управления транспортной системой, как и к любому другому процессу,

ибо он означает уровень соответствия результатов какой-либо деятельности поставленным задачам или, иными словами, способность производить определенный эффект (мера производимого эффекта). В отношении транспортной системы представляется интересным обосновать и сформулировать понятие эффекта ее функционирования, а также меру его измерения.

Цель функционирования транспортной системы города, как и любой природно-технической системы, заключается в повышении качества жизни на той территории, где она функционирует. Целевой показатель функционирования транспортной системы города – время. Потребляемые ресурсы – это энергия и территория города. Они являются ограничениями в достижении цели. Энергия, в свою очередь, из-за несовершенства технологий ее преобразования в полезную транспортную работу, а также человеческого фактора порождает дополнительные ограничения, накладываемые на выбросы загрязняющих веществ, шум, риски возникновения дорожно-транспортных происшествий.

Отсюда задача эффективной транспортной системы города – доставлять максимум целевой функции (минимизация времени реализации транспортных корреспонденций всех жителей всеми видами транспорта) при удовлетворении заданных территориальных ограничений.

В качестве целевого показателя функционирования транспортной системы крупного города целесообразно рассматривать среднее время реализации транспортных корреспонденций, выражающее среднее время, затрачиваемое одним человеком на совершение одной транспортной корреспонденции.

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i,j} t_{ij} \sum_{i,j} x_{ij}}{\sum_{i,j} x_{ij}} \quad (1.3),$$

где

$$t_{ij} = \frac{\sum_k t_{kij} \sum_k x_{kij}}{\sum_k x_{kij}}$$

$$x_{ij} = \sum_k x_{kij}$$

x_{ij} – элементы матрицы корреспонденций; t_{ij} – элементы матрицы затрат, рассчитывается как средневзвешенное от нагрузок пу-

тей; x_{kij} – нагрузка пути номер k из района i в район j ; t_{kij} – время пути номер k из района i в район j в нагруженной сети.

Как видно из схемы (рис. 1.30), нет необходимости в качестве отдельного критерия оценки функционирования транспортной системы выделять её безопасность. Безопасность системы, в том числе транспортной, находится в сфере *экзистенциальных потребностей человека* – в безопасности существования, комфорте, постоянстве условий жизни.

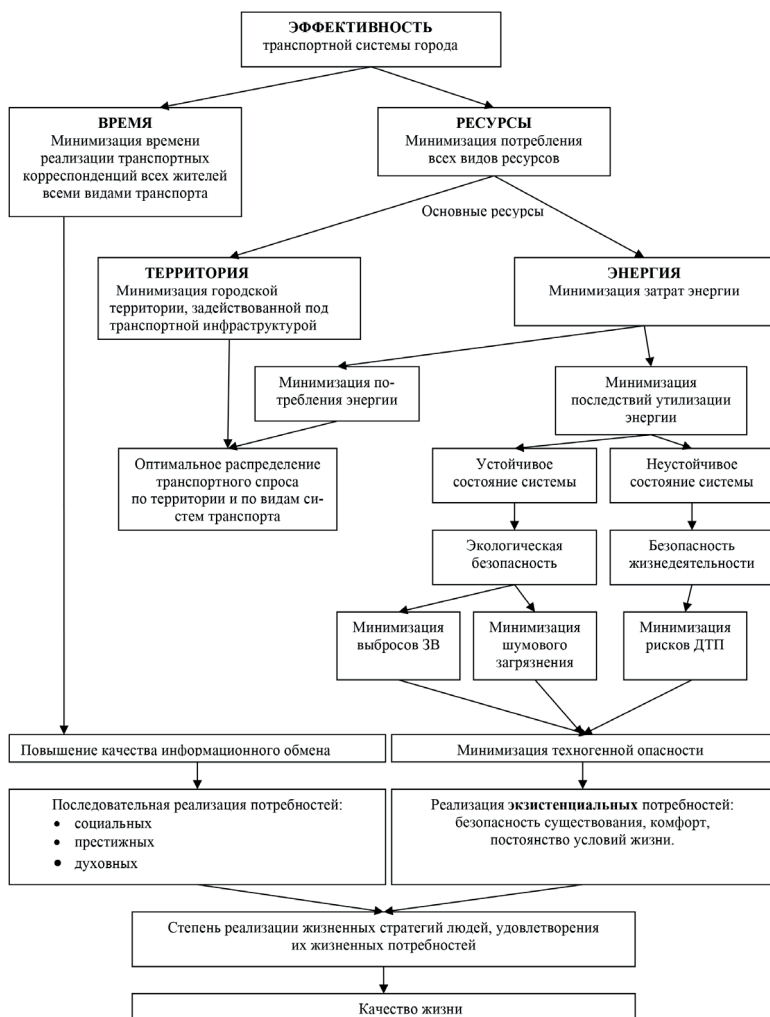


Рис. 1.30. Схема оценки эффективности транспортной системы города

Основной формализованный критерий оценки безопасности транспортной системы – это риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. Риск ДТП есть вероятность потери устойчивости функционирования транспортной системы. Минимизация этого риска, в свою очередь, отвечает основной задаче эффективности – снижению потребления ресурсов, в частности энергии. Отсюда следует вывод о том, что эффективная транспортная система одновременно является безопасной. Она не может быть опасной в силу того, что все решение задач по повышению ее эффективности (регулирование транспортного спроса, его оптимальное распределение по территории, снижение энергоёмкости общего объема городских перевозок и т.п.) автоматически повышает общую техногенную безопасность всей природно-технической системы.

Общий рост объемов транспортных передвижений с целью удовлетворения информационных потребностей будет следовать за ростом производительности труда и увеличением непромышленного сектора экономики города. Вместе с тем, ожидаемые тенденции роста потребностей современного человека в удовлетворении своих социальных, престижных и духовных потребностей будут накладывать все более жесткие требования к эффективности функционирования транспортной системы города как части информационной системы.

1.5. Выводы по главе 1

Привычная, сложившаяся на протяжении последних 50 лет, практика рассмотрения функционирования транспортных систем, как отдельной отрасли производства, не позволяет формулировать задачи эффективности функционирования транспорта, в частности транспортных систем городов. Сформировавшиеся научные направления в области исследований автотранспортного комплекса, а также взаимодействия составляющих: водитель – автомобиль – дорога (ВАД), к сожалению, не отвечают на вопрос о необходимости и достаточности существования и функционирования этого комплекса как самостоятельного объекта исследования, так и во взаимодействии с внешней средой.

Транспорт городов в понимании различных слоев общества по профессиональному и социальному статусу несет на себе широкий спектр функциональной нагрузки – от экономического потенциала развития города до социально ориентированной сферы предо-

ставления муниципальных услуг. Широта трактовки назначения транспортных систем городов затрудняет выстраивание методики оценки качества и эффективности функционирования городского хозяйства, делает невозможным выработку единых критериев и целей развития транспортных систем. В работе предложено некоторое, в первую очередь, терминологическое переосмысление основных устоявшихся понятий, связанных с назначением транспорта в крупных городах.

До настоящего времени практически отсутствуют исследования в области анализа взаимодействия потребностей и возможностей функционирования транспортных систем городов. Недостаточно изучены в целом результаты воздействия дорожно-транспортного комплекса на территорию города, не сформулированы основные ограничения функционирования транспортных систем.

Предлагается рассматривать транспортную систему города, как часть информационной системы, а целевым критерием при рассмотрении функционирования городского транспорта считать качество жизни на территории. Качество жизни населения городов следует определять через качество его среды обитания и качество (полноту) удовлетворения жизненных потребностей, в первую очередь социальных, престижных и духовных.

Ограничения развития транспортных систем предложено обобщенно формализовать через территориальные ограничения. Как ограничения в физическом развитии дорожно-транспортного комплекса и его инфраструктуры, так и способность к утилизации негативной сопутствующей энергии в работе систем транспорта можно выразить через восстановительный потенциал территории.

Эффективность транспортной системы следует рассматривать в классическом (экономическом) понимании этого термина – как отношение произведенного транспортной системой эффекта в области повышения качества жизни к понесенным затратам, также связанным с качеством жизни.

С целью оценки принципиальной возможности действующей транспортной системы удовлетворять имеющийся на исследуемой территории транспортный спрос необходимо проведение исследований транспортного баланса территории, результатом которого станет формирование основы для последующего построения «нижних» ограничений оптимальной модели формирования эффективной транспортной системы крупного города.

Глава 2

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНОГО АНАЛИЗА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

Подход к формированию эффективной транспортной системы крупного города с методической точки зрения абсолютно идентичен широко применяемым в экономической науке маркетинговым технологиям исследования рынка. Функционирование транспортной системы крупного города в этом плане есть аналог экономических взаимоотношений между поставщиками и потребителями транспортных услуг. Существенное отличие заключается лишь в том, что и поставщики транспортных услуг (городское сообщество), и их потребители (участники дорожного движения) являются одними и теми же субъектами отношений.

Так же, как и в классическом соотношении «спрос – предложение», при рассмотрении функционирования транспортной системы города целесообразно разделять транспортный спрос и транспортное предложение, а результат удовлетворения одного другим будет, в свою очередь, определять качество функционирования транспортной системы города. Как спрос на товар рождает предложение, так и потребности жителей в транспортных перемещениях определяют потребности общества в объемах и качественных параметрах функционирующего на этой территории дорожно-транспортного комплекса.

Как отмечено в главе 1, основным ограничением в развитии дорожно-транспортного комплекса выступает городская территория. Многофункциональность ее использования приводит задачу развития улично-дорожной сети к задаче эффективного землепользования.

С точки зрения оценки транспортной системы города первым и необходимым шагом в решении этой задачи является оценка ис-

пользования городской территории. Известные на сегодняшний день подходы к формированию оптимального баланса ее использования определены в градостроительных нормативных документах и прежде всего касаются площади, занятой под объектами транспортной инфраструктуры (км/км²). Однако без оценки общего баланса использования территории города параметр плотности УДС не может определять критерии качества работы транспортной системы. Для такой оценки требуется совместный анализ различных параметров использования территории, влияющих не только на объемы транспортного предложения, но и на объективные факторы, формирующие транспортный спрос.

2.1. Анализ использования городской территории

Научно-технический прогресс совершенствованием технических систем, развитием техники и технологий позволяет преодолевать значительную часть ограничений, связанных с повышением качества жизни людей. Из всех существующих в мире ограничений самым важным и определяющим следует считать ограниченность территории – поверхности Земли. В городах с компактным проживанием людей оно уже давно не представляется абстрактным утверждением. Города вынуждены сохранять строгий баланс использования своих территорий для создания условий эффективного функционирования природно-технических систем, обеспечивающих высокое качество жизни городского населения. Именно баланс использования территории определяет базовые условия функционирования транспортных систем в городах.

Структурная схема территориального баланса применительно к функционированию транспортной системы приведена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Схема транспортного баланса территории города

Важным представляется анализ существующего в городе баланса использования территории с целью определения теоретической возможности эффективного функционирования транспортной системы в условиях неизменности этого баланса.

2.1.1. Пространственно-неравномерная модель формирования транспортного спроса

Первоочередной и определяющей задачей при проведении транспортного анализа любой территории является дискретизация исследуемой области. С целью формализации области исследования, а также параметров транспортного спроса и транспортного предложения территория исследуемого города должна быть представлена в виде набора подобластей, каждая из которых наследует набор параметров, аналогичный всей исследуемой территории.

С целью районирования территории города для последующего транспортного анализа и построения транспортных моделей целесообразно использовать основные принципы построения неравномерно-районированных моделей пространственной организации городов.

В частности, при создании модели транспортного спроса приходится решать задачи, аналогичные тем, которые возникают в градостроительной науке при формировании модели современного городского расселения, формирования и закрепления мест приложения труда.

Основой создаваемых моделей городской структуры являются градостроительные технологии, в частности построение модели неравномерно-районированной пространственной структуры города [13,147], которая описывает устойчивое взаимоотношение расположения основных типов городских сред, районов и объектов, базирующееся на двух фундаментальных основах поведения людей в городе. К первой из них относится ориентация на публичное поведение – коллективное пребывание, связанное с общением с другими людьми, происходящее в доступном для всех желающих пространстве, ко второй – ориентация на приватное поведение – индивидуальное пребывание, связанное с ограничением доступа других людей, строгой регламентацией их круга (например, членами семьи), замкнутое на себя. Подобное поведение определяется сложившейся системой человеческих ценностей и потребностей при сосуществовании в современном человеческом обществе (пирамида Маслоу), а также физиологическими и экзистенциальными потребностями, тогда как

публичное поведение – социальными, престижными и духовными потребностями человека [41].

Под влиянием этих упорядочивающих поведенческих ценностей происходит постепенное, эволюционное формирование пространственной структуры города в виде *узловых районов*, которое характеризуется:

– *неоднородностью* – в центре и вокруг него концентрируются виды деятельности, связанные с публичным поведением, а на периферию узлового района вытесняются приватные ситуации, жилье или территории ограниченного доступа;

– *неравномерностью* – по мере продвижения от центра к периферии изменяются показатели всех явлений городской жизни (например, плотность населения на единицу территории, стоимость одного квадратного метра жилья на рынке недвижимости, объем товарооборота на единицу площади торгового зала и т.п.), а величина этих показателей зависит от расстояния до центральной точки (точки отсчета) города;

– *зависимостью* степени разнообразия среды от места в городе, которое меняется по мере продвижения от центра к периферии. Например, наивысшее, избыточное разнообразие свойственно точке отсчета и прилегающим к ней участкам;

– *интенсивностью* использования городской территории, которая непрерывно повышается по мере его роста, однако в разных структурных элементах города этот процесс протекает с разной скоростью.

Неравномерно-районированная модель как элемент модели пространственной структуры города во всех городах организована из одних и тех же элементов. Это пространственные единицы города – узловые районы разной величины и развитости, характеристики которых зависят от их места в структуре города. Они складываются из монофункциональных территорий (жилья, озеленения, производства) и коммуникативно – общественной системы (каркаса), которая формируется концентрацией объектов публичного назначения и высокой интенсивностью использования территории. Каркас включает главное ядро – участок наивысшей концентрации объектов обслуживания, плотности застройки, разнообразия предоставляемых услуг и дополнительные ядра.

Эта пространственная схема воспроизводится во всех городах. Однако в каждом конкретном случае под влиянием природных, социальных, исторических и экономико-политических факторов она

приобретает неповторимую уникальную форму. С точки зрения транспортного анализа территории наиболее важно, что неравномерно-районированная пространственная организация является очень устойчивой, на долгие годы определяет путь развития городской транспортной системы и города в целом.

В целях долгосрочного планирования требуется выявление и фиксация так называемых городских точек роста. На территории города выделяются повторяющиеся локальные неравномерности – концентрации объектов обслуживания, офисов и другой активности.

В городском планировании неравномерно-районированная структура используется для построения стратегий экономического и социального развития и служит для долгосрочных решений о локализации, привязке к местам планируемых социальных или экономических действий.

В градостроительстве неравномерно-районированная структура используется для установления территориальных зон и градостроительных регламентов при разработке правил землепользования и застройки. В ходе правоприменительной повседневной практики управления использование методов идентификации неравномерно-районированной структуры обеспечивает соответствие интересов собственников и инвесторов текущим тенденциям и одновременно стратегическим целям развития города.

Представляет интерес использование предложенных подходов для построения модели, позволяющей оценивать эффективность использования городских территорий и влияние этого процесса на функционирование городской транспортной системы. В таком исследовании интересуют закономерности использования территорий города с точки зрения формирования транспортного спроса на передвижения. Эту модель назовем моделью городской структуры. Для ее формирования, кроме концентрации объектов обслуживания, обусловленных наличием мест приложения труда в сфере услуг, необходимы исходные параметры для определения генерации транспортных потоков.

Генерация транспортных потоков конкретного района пропорциональна целому набору факторов, главные из которых выражаются в численности:

- населения в районе;
- трудящегося населения в районе;
- учащихся в средних и высших учебных заведениях в районе;
- зарегистрированного индивидуального транспорта в районе.

Кроме этих факторов, существуют несколько трудноформализуемых параметров, относящихся к поведенческим особенностям населения того или иного транспортного района:

- уровень подвижности населения в районе;
- параметры априорных предпочтений жителей при выборе целей своих корреспонденций.

Следует отметить, что названные параметры определяют лишь будущую модель транспортного спроса на пассажирские перемещения.

С точки зрения деления города на транспортные районы, являющиеся генераторами и потребителями транспортных потоков пассажирского и грузового транспорта, интерес представляет районирование по следующим параметрам:

- плотность населения по различным группам;
- плотность застройки территории жилыми и нежилыми зданиями;
- плотность мест приложения труда, включая сферу услуг;
- моторизация территории по различным видам индивидуального и коммерческого транспорта;
- плотность освоения территории промышленными предприятиями различных отраслей.

Интерес представляют технологии и алгоритмы оценки городских территорий с точки зрения генерации транспортного спроса. Для такой оценки необходимо особое представление обо всей исследуемой городской территории.

Все известные исследовательские подходы предполагают четкое определение объекта исследований. При исследовании транспортного спроса на городской территории таким объектом будет некая ограниченная область внутри нее – транспортный район (элементарная структурная единица городской территории, формализованная набором атрибутов, определяющих ее как генератор и потребитель транспортных потоков).

Надо понимать, что основной объем транспортного спроса, приходящийся на каждую отдельную часть исследуемой области (транспортный район), является для этой области внешним и определяется из общего пространственного анализа дислокации мест генерации и потребления транспортных потоков на всей исследуемой области. При этом основным допущением такого подхода является то, что мы пренебрегаем транспортными перемещениями внутри самого района. Это допущение будет вполне оправдано при

уменьшении средней площади всех транспортных районов города до значений, сопоставимых с экономической целесообразностью совершения корреспонденции внутри транспортного района на каком-либо виде транспорта.

Например, при исследовании транспортного спроса, реализуемого на общественном транспорте (ОТ), таким критерием будет наличие в каждом транспортном районе не более одной остановки общественного транспорта одного маршрута. Подобные геометрические ограничения на дискретизацию исследуемой области предполагают минимальное количество транспортных районов для города с населением 1 млн. жителей – 400 транспортных районов. Для исследования спроса на передвижения с использованием индивидуального транспорта (ИТ) можно использовать более крупное разбиение территории города.

Практика также показывает, что при хорошем уровне обеспеченности инфраструктурой для легкого движения (велосипедное, пешеходное) население европейских городов принимает решение о средстве внутригородского перемещения следующим образом:

- до 2 км – пешком;
- до 8 км – на легком транспорте (велосипед, ролики, самокат);
- свыше 8 км – на общественном транспорте или личном автомобиле.

Проведенные исследования при прочих различиях определяют равенство показателей среднего расстояния для пешего передвижения в различных городах (табл. 2.1).

При этом будет сохраняться почти равное значение времени реализации таких перемещений (табл. 2.2).

Таблица 2.1

Расстояние, преодолеваемое посредством различных видов транспорта одним жителем, км [148]

Вид передвижения	Место проведения исследований	
	Россия (Екатеринбург)	Великобритания (Лондон)
Легковой автомобиль	6,0	23,6
Пешком	0,8	0,8
Двухколесный транспорт	2,4	0,3
Автобус	6,1	1,1

Таблица 2.2

Средние затраты времени на суточные передвижения (минут)

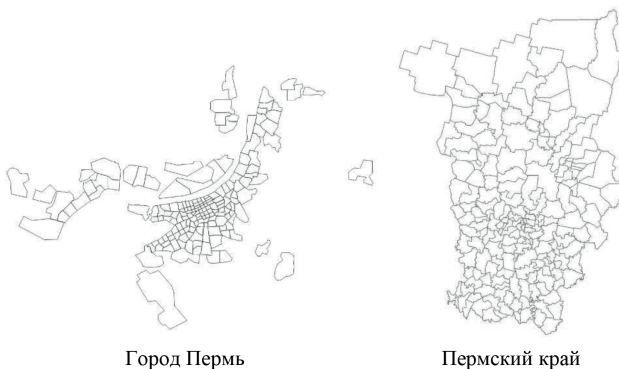
Вид передвижения	Среднее время
Пешком	20,5
Легковой автомобиль	30,6
Автобус	46,4
Двухколесный транспорт	21,5

В конечном итоге именно расстояние пешего перемещения и среднее время, затрачиваемое на такое перемещение, будут определять максимальные размеры единичного транспортного района и в целом уровень дискретизации всей исследуемой области – территории города.

Такой подход к дискретизации определил основные параметры районирования для большинства городов и регионов России и мира (рис. 2.2).

Однако в ряде европейских городов транспортный спрос рассчитывается на гораздо более мелких моделях городского расселения. Например, для города Карлсруэ (Германия) при населении около 300 тыс. человек модель формирования транспортного спроса состоит из 600 транспортных районов, а для маленького городка Ливвуд на севере США с населением 30 тыс. человек модель разбита на 150 транспортных районов.

Кроме различий в уровне детализации моделей транспортного спроса различных городов, существенно различаются общие подходы к формированию отдельных транспортных районов. Отличия наблюдаются, как в плане геометрии транспортных районов, так в принципах задания конфигурации их границ.



Город Пермь

Пермский край

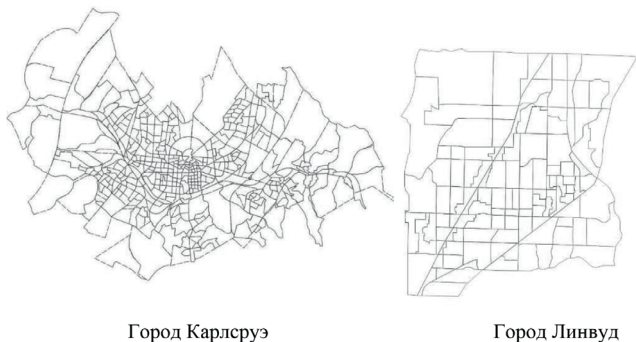


Рис. 2.2. Способы дискретизации территорий городов и регионов России и мира

Распределение элементов городской структуры по территории города в общем случае не подчиняется известным законам распределения случайных величин. Для установления его неравномерностей целесообразно использовать регулярное деление территории города, например, прямоугольной сеткой (рис. 2.3).

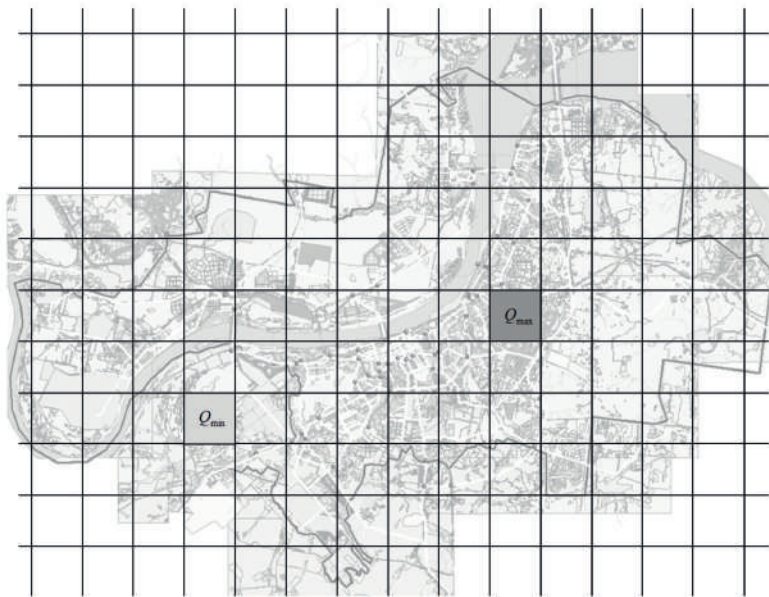


Рис. 2.3. Первый шаг деления территории города регулярной сеткой

Деление города производится в три этапа сетками различной плотности. Цель первого этапа – определение размеров транспортных районов с различным уровнем их освоения. После двух итераций на территории города получаем неравномерную сетку в качестве основы дальнейшего ручного формирования границ транспортных районов. Количество районов при таком делении оказывается приблизительно равным требуемому (в частности, для города Перми – 386). Формирование границ каждого транспортного района не имеет какого-либо принципиального значения для создания модели транспортного спроса, однако их удобнее формировать с учетом сложившегося квартального деления территории города и естественных границ, затрудняющих транспортный обмен между соседними транспортными районами – оврагов, рек, железнодорожных путей и т.п. На этом этапе территория города делится регулярной прямоугольной сеткой с количеством ячеек $N/4$, где N – предполагаемое количество транспортных районов в модели городской структуры.

На первом этапе определяются абсолютные значения, определяющие транспортный спрос параметра в каждой ячейке, например количество трудоспособного населения. Находятся два крайних значения – Q_{\min} и Q_{\max} .

Все ячейки, у которых значение определяющего спрос параметра больше, чем $(Q_{\min} + Q_{\max})/2$, делятся дополнительно еще на четыре равные части. Далее из ячеек сетки нового деления также находим минимальное и максимальное значение определяющего спрос параметра, и часть ячеек делим еще на четыре равные части (рис. 2.4).

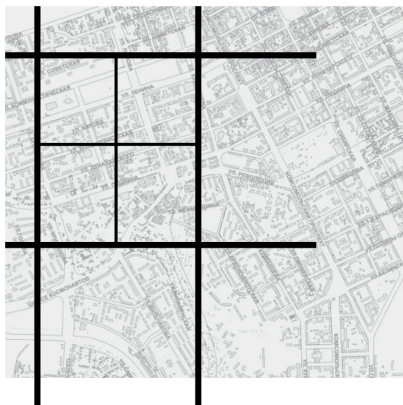


Рис. 2.4. Второй шаг деления территории города регулярной сеткой

Целью следующего, второго этапа районирования территории города и транспортных районов является поиск центра генерации и потребления транспортных потоков в каждом транспортном районе. Центры районов в конечном итоге будут определять затраты времени на все перемещения внутри одного транспортного района. От выбора местоположения этого центра, например, существенно зависит конечное перераспределение спроса на пассажирские передвижения с использованием транспорта общего пользования.

Технология определения дислокации центра каждого транспортного района заключается в получении и фиксации существенных среднеквадратических отклонений от средних величин, по которым производится построение модели транспортного спроса (плотности застройки, плотности населения и т.п.) на территории района в ячейках регулярной прямоугольной сетки (рис. 2.5).

Процедура выявления центра района представляет собой итерационную процедуру на сетках разной размерности с последующим уменьшением размеров ячейки. Найденные центры больших по площади периферийных районов должны в итоге размещаться не в геометрическом центре планировочного элемента, а чаще всего смещёнными в направлении центра города относительно геометрического центра планировочного элемента.

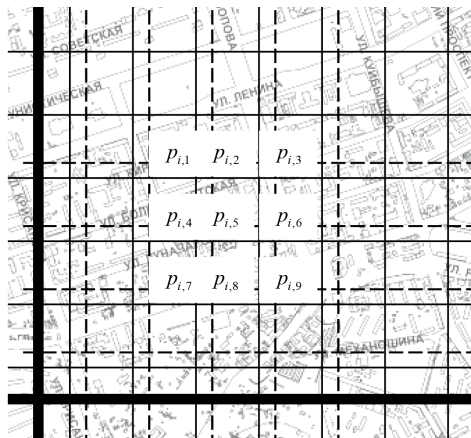


Рис. 2.5. Технология отыскания центров транспортных районов

С целью определения и фиксации транспортных районов для последующего построения модели транспортного спроса и формирования матриц – источников и целей транспортного движения, требуются отдельные (независимые) процедуры для районирования по пассажирским и грузовым перемещениям.

Итоговое геометрическое изображение модели городской структуры будет представлять из себя поле точек – центров генерации и потребления транспортных потоков каждого транспортного района (рис. 2.6).

Каждый транспортный район является источником (генератором) и потребителем транспортных потоков. Объемы этого потребления и генерации определяются сложившимися в настоящее время видами использования городских территорий, которые на протяжении длительного периода времени являются неизменными.

Модель городской структуры будет представлять собой универсальную систему хранения всей формализованной атрибутивной информации о параметрах использования территории города.



Рис. 2.6. Центры транспортных районов и их возможные связи с графом улично-дорожной сети города

В свою очередь эти параметры будут определять, как объемы имеющегося на данной территории транспортного спроса, так и теоретической возможности транспортной инфраструктуры и всей территории в целом удовлетворить этот спрос (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Данные статистики о транспортных районах

Задача исследования территории с позиции её возможностей удовлетворить транспортный спрос в последующем позволяет перейти к постановке задач управления транспортным спросом на данной территории. Для ее решения, кроме анализа использования территории и построения модели городской структуры, требуются отдельные исследования в области формирования транспортного спроса и исследования транспортного поведения людей.

Широко распространенные в зарубежной специальной литературе и периодике термины «управление транспортным спросом» (Transportation Demand Management – TDM) или «управление мобильностью» (Mobility Management – MM) имеют следующие определения: «TDM – обобщающий термин для стратегий, которые приводят к более эффективному использованию транспортных ресурсов» (Victoria Transport Institute, Канада); «...MM – ориентированный на спрос подход к пассажирскому и грузовому транспорту, использующий новые инструментарий и формы взаимодействия. Его цель состоит в том, чтобы поддержать и поощрять изменение отношения к устойчивым видам транспортного обслуживания. Инструментарий MM основан на информационных и организационных методах, координации...» (К.Н. Posch, координатор ЕРОММ). При этом особый акцент делает на рациональном использовании индивидуального автомобильного парка. Управление транспортным спросом активно применяется в европейских странах и стало объектом совместных европейских программ, выполняемых под эгидой организации European Platform on Mobility Management (ЕРОММ, <http://www.epommweb.org>) и самой Европейской Комиссии (www.ecomm2010.eu).

2.1.2. Методика анализа территориального баланса городских территорий

Современный город состоит из множества взаимосвязанных элементов городской структуры – здания, территории общего пользования, рекреации, транспортные сооружения и т.п. Все эти элементы имеют свои атрибуты, характеризующие их качественные и количественные характеристики, а также географические координаты их дислокации на исследуемой территории.

Первичным этапом проведения баланса городской территории является создание инструмента для получения картограмм про-

странственного распределения элементов городской структуры. Территория города разбивается на области с помощью регулярной сетки с квадратными ячейками со стороной 500 м. Параметр дискретности разбиения территории города зависит и от его площади, и от количества элементов городской структуры. В частности, для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми сетка с шагом 500 м. была признана оптимальной при площади города 800 кв. км (около 44 тысяч объектов недвижимости). В результате деления его территория разбита регулярной прямоугольной сеткой: 80 x 70 ячеек.

Для выполнения анализа были сгенерированы координаты центров и узлов решетки следующим образом: Пусть вершины i -ой ячейки обозначены a_i, b_i, c_i, d_i , а центр i -ой ячейки – o_i . Координатами первой ячейки, которая находится в левом нижнем углу, являются:

$$\begin{aligned} a_1 &= (-25000, -15000), & b_1 &= (-25000, -14500), \\ c_1 &= (-24500, -14500), & d_1 &= (-24500, -15000), \\ o_1 &= (-24750, -14750) \end{aligned}$$

Тогда координаты для ячеек $i = 2$ до 80 и т.д. $i = i + 80$ будут рассчитываться:

$$\begin{aligned} Xa_{i+1} &= Xa_i + 500, & Ya_{i+1} &= Ya_i \\ Xb_{i+1} &= Xb_i + 500, & Yb_{i+1} &= Yb_i \\ Xc_{i+1} &= Xc_i + 500, & Yc_{i+1} &= Yc_i \\ Xd_{i+1} &= Xd_i + 500, & Yd_{i+1} &= Yd_i \\ Xo_{i+1} &= Xo_i + 500, & Yo_{i+1} &= Yo_i \end{aligned} \tag{2.1}$$

Координаты ячейки $i = 81$ и т.д. $i = i + 80$ будут рассчитываться:

$$\begin{aligned} Xa_{i+1} &= Xa_i, & Ya_{i+1} &= Ya_i + 500 \\ Xb_{i+1} &= Xb_i, & Yb_{i+1} &= Yb_i + 500 \\ Xc_{i+1} &= Xc_i, & Yc_{i+1} &= Yc_i + 500 \\ Xd_{i+1} &= Xd_i, & Yd_{i+1} &= Yd_i + 500 \\ Xo_{i+1} &= Xo_i, & Yo_{i+1} &= Yo_i + 500 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Сетка была вставлена в модель в виде объектов «области». На рис. 2.8 перпендикулярными линиями выделены ячейки сетки, светло-серым – здания, черным – улично-дорожная сеть.

Для каждой полученной области (ячейки, сетки) определяются суммарные параметры элементов городской структуры: суммарных площадей проезжих частей улиц, зданий, водных объектов, а также количество населения, рабочих мест, студентов, учебных мест, автомобилей.

Формирование итоговых сумм рассмотрим на примере объектов недвижимости. Выделим отдельную ячейку сетки (элемент застроенной городской территории) (рис. 2.9.).

Для выбранной ячейки создается параметр $S_{зд}$, который оценивает объем площадей зданий, входящих в контур ячейки. Для каждого контура здания происходит проверка принадлежности его контуру ячейки:

- если здание попадает в контур целиком с площадью S_i , то параметр $S_{зд} = S_{зд} + S_i$;
- если здание попадает в контур частично, то вычисляется площадь S_i той части здания, которая попадает в рассматриваемый контур ячейки. Тогда $S_{зд} = S_{зд} + S_i$;
- если здание не попадает в контур, то $S_{зд} = S_{зд}$.

Аналогично для остальных исходных данных вводят параметры и обрабатывают данные на принадлежность той или иной ячейке.

Когда для каждой ячейки параметры рассчитаны, строят картограммы распределения исходных данных по территории города. Например, картограммы плотности распределения различных элементов городской структуры, являющиеся генераторами и потребителями транспортных потоков российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, приведены на рисунках 2.10 – 2.14 (см. цветную вклейку).

Аналогично строятся картограммы пространственного распределения остальной базовой информации, определяющей величину и структуру транспортного спроса на урбанизированной территории.

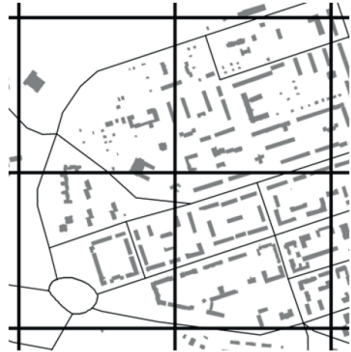


Рис. 2.8. Фрагмент территории города с нанесенными объектами: здания, дороги, сетка

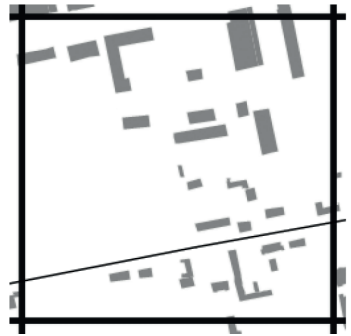


Рис. 2.9. Фрагмент территории города 50x500 м

Нельзя решать задачи развития территорий и транспортных систем, не зная первопричин и источников поведения людей и законов развития общества, городов и территорий. Нередко эти знания лежат за гранью технической науки, представители которой в настоящий момент трудятся по всему миру над решением задач сбалансированного развития транспортных систем городов.

Главная идея настоящей главы – показать первоочередную важность и теоретическую возможность проведения достаточно глубоких исследований транспортных систем городов и регионов исключительно на основании анализа транспортного спроса на территории.

Наиболее важным представляется интерес к спросу на территорию при реализации транспортного движения с точки зрения удовлетворения транспортных потребностей людей, даже не проживающих на ней (имеется в виду ее пропускная способность, а также способность «переварить» потенциальное моторизованное движение).

Таким образом, первоочередной интерес представляют технологии и алгоритмы оценки территории с точки зрения возможности удовлетворения транспортного спроса.

2.1.2.1 Транспортный спрос в городах. Сегменты транспортного спроса. Особенности представления транспортного спроса на территории. Виды городов, конфигурации

Транспортный спрос как объект исследования формализуется посредством анализа взаимодействия транспортных районов. Транспортный район является элементарным носителем информации, определяющей впоследствии объем транспортного спроса для всего города.

Источниками получения необходимой информации обычно являются базы данных избирательных участков городских избирательных комиссий; базы данных регистрации индивидуального автомобильного транспорта; базы данных, формируемые органами государственной статистики субъектов Федерации.

Представляется интересным уделить внимание формированию базы данных по количеству учащейся студенческой молодежи для каждого транспортного района города. Формализация дислокации мест ее жительства при формировании отдельного слоя спроса на перемещения, связанные с посещением учебных мест, представляет собой нетривиальную задачу.

Натурные и теоретические исследования, проведенные на статистических материалах нескольких городов Приволжского федерального округа, позволили получить методику формирования такой базы данных [149]. Для того чтобы определить количество студентов в транспортном районе, была выдвинута следующая гипотеза: количество студентов в транспортном районе коррелирует с уровнем благосостояния жителей, которое, в свою очередь, наглядно представлено уровнем автомобилизации. Таким образом, существует некая зависимость количества студентов в транспортном районе от уровня автомобилизации.

Необходимо найти количество студентов в каждом здании, поэтому введем обозначения S_i .

Алгоритм его нахождения: нужно рассчитать количество студентов с учетом коэффициентов, которые рассчитываются в зависимости от количества жителей в здании в возрасте от 18 до 23 лет, численность автомобилей и уровня автомобилизации.

Общий алгоритм расчета состоит из четырех шагов. На каждом шаге уточняется количество студентов в зависимости от перечисленных параметров.

Первый шаг алгоритма расчета количества студентов в каждом жилом здании состоит в том, что оно определяется в зависимости от количества всех жителей, проживающих в доме в возрасте от 18 до 23 лет, а затем нормируется относительно общего количества студентов в городе.

Для каждого жилого здания определяем долю населения в возрасте от 18 до 23 лет, проживающего в доме, от общего количества населения в возрасте от 18 до 23 лет, проживающего в городе:

$$k_{i_i} = \frac{m_i}{M} \quad (2.3)$$

где k_{i_i} – коэффициент, учитывающий количество жителей студенческого возраста, проживающих в здании, относительно количества жителей города студенческого возраста; m_i – население i -го здания в возрасте от 18 до 23 лет; M – население в возрасте от 18 до 23 лет в городе.

Рассчитываем количество студентов, проживающих в здании, пропорционально доле населения в возрасте от 18 до 23 лет:

$$S_i^* = S \times k_{i_i} \quad (2.4)$$

где S_i^* – количество студентов в здании, определенное пропорционально доле населения в возрасте от 18 до 23 лет; S – общее ко-

личество студентов, проживающих в городе; k_{1i} – коэффициент, учитывающий количество жителей здания в студенческом возрасте.

На *втором шаге алгоритма* при расчете количества студентов необходимо учесть долю количества зарегистрированных индивидуальных автомобилей в жилом здании от общего количества автомобилей, зарегистрированных в городе, и существующего уровня автомобилизации в городе, для этого находим уровень автомобилизации жителей каждого здания (в пересчете на одного жителя).

$$avt_i = \begin{cases} \frac{a_i}{n_i}, & n_i > 0 \\ 0, & n_i = 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

где avt_i – уровень автомобилизации жителей в каждом здании (в пересчете на одного жителя); a_i – количество зарегистрированных автомобилей в i -м здании; n_i – население i -го здания.

Затем определяем долю зарегистрированных автомобилей в здании от общего количества автомобилей в городе.

$$da_i = \frac{a_i}{A} \quad (2.6)$$

где da_i – доля количества зарегистрированных в здании автомобилей от общего количества автомобилей; a_i – количество зарегистрированных автомобилей в i -м здании; A – количество зарегистрированных автомобилей в городе.

Рассчитываем коэффициент k_{2i} , который будет учитывать количество студентов в зависимости от количества зарегистрированных в здании автомобилей:

$$k_{2i} = (avt_i + da_i) / 2, \quad (2.7)$$

где k_{2i} – коэффициент, учитывающий уровень автомобилизации в здании и количество автомобилей в здании; avt_i – уровень автомобилизации в каждом здании (на одного жителя); da_i – доля количества зарегистрированных в здании автомобилей от общего количества автомобилей.

Рассчитываем количество студентов в здании с учетом коэффициента k_{2i} :

$$s_i^{**} = s_i^* \cdot k_{2i} \quad (2.8)$$

где s_i^{**} – количество студентов, проживающих в здании, определенное пропорционально доле населения в возрасте от 18 до 23 лет

и уровню автомобилизации; s_i^* – количество студентов, проживающих в здании, определенное пропорционально доле населения в возрасте от 18 до 23 лет; k_{2i} – коэффициент, учитывающий уровень автомобилизации в здании и количество автомобилей в здании.

Третий шаг алгоритма:

Рассчитываем коэффициент, который учитывает и количество жителей в возрасте от 18 до 23 лет, и количество автомобилей в здании. Для этого находим долю каждого s_i^{**} от общего количества полученных студентов:

$$k_i = \frac{s_i^{**}}{\sum_i s_i^{**}} \quad (2.9)$$

где k_i – коэффициент, который учитывает жителей здания студенческого возраста и уровень автомобилизации одновременно; s_i^{**} – количество студентов, проживающих в здании, определенное пропорционально доле населения в возрасте от 18 до 23 лет и уровню автомобилизации.

Определим количество студентов, проживающих в здании, в соответствии с k_i :

$$s_i = k_i \cdot S, \quad (2.10)$$

где s_i – количество студентов, проживающих в i -ом здании; k_i – коэффициент, который учитывает жителей студенческого возраста, проживающих в здании и уровень автомобилизации жителей здания одновременно; S – общее количество студентов в городе.

Студентов назначим исходя из ограничения $s_i \leq m_i$.

$$s_i = \min(s_i, m_i), \quad (2.11)$$

где s_i – количество студентов, проживающих в i -ом здании; m_i – население i -го здания в возрасте от 18 до 23 лет.

Так как s_i является минимальным значением между s_i и m_i , то

$$\sum_i s_i < S.$$

На *четвертом шаге алгоритма* необходимо дополнить количество студентов в каждом здании так, чтобы выполнялось равенство $\sum_i s_i = S$, то есть чтобы рассчитанное количество студентов в городе совпадало с реальным количеством студентов, проживающих в городе. Для этого итоговое количество студентов получим путем распре-

деления разности $S - \sum_i s_i$ пропорционально доле разности $m_i - s_i$ от разности $M - \sum_i s_i$:

$$s_i = s_i + (S - \sum_i s_i) \cdot \frac{m_i - s_i}{M - \sum_i s_i}, \quad (2.12)$$

где s_i – количество студентов, проживающих в i -ом здании; m_i – население i -го здания в возрасте от 18 до 23 лет; S – общее количество студентов, проживающих в городе; M – население города в возрасте от 18 до 23 лет.

Пример распределения студентов для нескольких транспортных районов российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми приведен в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Характеристики спроса в транспортных районах

Номер транспортного района	Население района, чел.	Количество автомобилей, ед.	Количество студентов, чел.
1	1065	537	59
2	416	141	18
3	1305	478	45
4	91	48	6
5	1245	628	65
6	81	16	5
7	736	375	40
8	525	183	20
9	265	94	15
10	570	380	62

2.1.2.2. Методы формализации пространственного распределения структурных элементов городской среды при транспортном анализе территории

При пространственном сопоставлении полученных картограмм уже можно получать важнейшие выводы о расселении людей, теоретической подвижности населения и о прогнозных объемах километровой годовой подвижности всего населения города.

Не менее интересным представляется структурный анализ городского ядра, а впоследствии – всей городской территории по отдельным зонам, равноудаленным от центра городского ядра. Итогом такого анализа станут диаграммы плотности концентрации элементов городской структуры на разных удалениях от центра. Такой анализ призван, в первую очередь, оценить равномерность эффективности использования городских территорий и рассчитать предельные теоретические нагрузки транспортного движения в равноудаленных от центра и в центральных районах города.

Для поиска системы отсчета, исследуемых параметров городской структуры и последующего уточнения процедуры расчета матрицы корреспонденций, целесообразно математически описать сложившееся на территории города распределение параметров городской среды, влияющих на формирование транспортного спроса.

Каждый город имеет свои характеристики и особенности – физические, географические, социальные. Для исследования потенциальных характеристик функционирования транспортных систем городов представляется важным оценить взаимодействие географических и социальных характеристик территорий города, получить общие зависимости распределения населения, рабочих мест или зарегистрированного автомобильного транспорта в зависимости от концентрации объектов недвижимости и удаленности этих объектов от центра города.

При исследовании пространственного распределения каждого элемента городской структуры можно построить поверхность, которая будет отображать распределение того или иного элемента городской структуры по территории города с учетом его плотности на территории.

К рассматриваемым элементам можно отнести различные объекты и их характеристики, формирующие городскую структуру. Рассмотрим технологию такого анализа на следующих элементах:

- 1) распределение жилых домов с учетом населения, проживающего в них;
- 2) распределение жилых домов без учета населения;
- 3) распределение индивидуального транспорта, зарегистрированного на физических лиц (жителей города).

Каждый из элементов представляется в виде точки на карте города с координатами объекта недвижимости (X, Y) и количеством единиц заданного параметра (P) (например, населения в доме). Количество таких точек составляет – m . Объем распределенного пара-

метра для всего города равен – N , например, численность населения в городе.

Допустим, что распределение по территории города того или иного элемента городской структуры (жилые дома, индивидуальный транспорт и т.п.) подчиняется нормальному закону распределения. В таком случае, для расчета плотности нормального распределения воспользуемся соотношением:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} \times \exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\frac{(x-MX)^2}{\sigma_x^2} - 2\rho\frac{(x-MX)(y-MY)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-MY)^2}{\sigma_y^2}\right]\right\} \quad (2.13)$$

Эта функция двух аргументов представляет собой поверхность, где x, y – аргументы функции (координаты на плоскости – территории города).

Математические ожидания распределения величин рассчитываются как:

$$MX = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m X_i P_i \quad \text{и} \quad MY = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^m Y_i P_i, \quad (2.14)$$

где X_i, Y_i, P_i пространственные координаты распределенных единиц городской структуры и их вес соответственно.

Стандартные отклонения находятся как:

$$\sigma_x = \sqrt{MX^2 - (MX)^2} \quad \text{и} \quad \sigma_y = \sqrt{MY^2 - (MY)^2}. \quad (2.15)$$

Коэффициент корреляции между X и Y :

$$\rho = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.16)$$

$$\text{где } \text{cov}(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m (X_i - MX) \cdot (Y_i - MY).$$

Рассмотрим примеры построения поверхностей для распределенных параметров, таких как жилые дома с учетом населения, проживающего в них, и жилые дома без учета населения, на примере двух городов: Перми и Екатеринбурга. Для Перми дополнительно проанализируем распределение зарегистрированного индивидуального легкового транспорта на территории.

Определим вид функций плотности нормального распределения и их графическое представление для названных выше примеров.

Для Перми функция плотности нормального распределения для жилых зданий с учетом жителей примет вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot 7408,61 \cdot 4818,0796 \cdot \sqrt{1-0,65^2}} \times \quad (2.17)$$

$$\times e^{\left[\frac{-1}{2(1-0,65^2)} \left(\frac{(x+1172,616)^2}{7408,61^2} - 2 \cdot 0,65 \cdot \frac{(x+1172,616)(y+380,2037)}{7408,61 \cdot 4818,0796} + \frac{(y+380,2037)^2}{4818,0796^2} \right) \right]}$$

Графическое представление поверхности, образованной функцией (2.17), приведено на рис. 2.15 (см. цветную вклейку).

Для города Перми функция плотности нормального распределения для жилых домов без учета населения примет вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot 8294,9868 \cdot 5536,3244 \cdot \sqrt{1-0,39^2}} \times \quad (2.18)$$

$$\times e^{\left[\frac{-1}{2(1-0,39^2)} \left(\frac{(x-1158,8068)^2}{8294,9868^2} - 2 \cdot 0,39 \cdot \frac{(x-1158,8068)(y-1700,2714)}{8294,9868 \cdot 5536,3244} + \frac{(y-1700,2714)^2}{5536,3244^2} \right) \right]}$$

Графическое представление поверхности, образованной функцией (2.18), приведено на рис. 2.16.

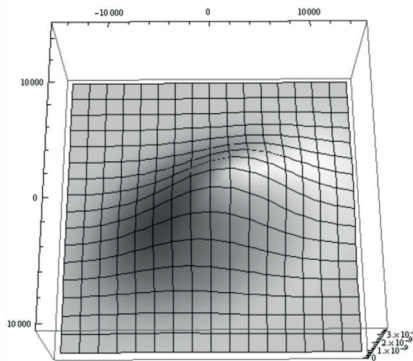


Рис. 2.16. Представление функции (2.18) в виде поверхности. Поверхность плотности нормального распределения городской застройки

Функция плотности нормального распределения для зарегистрированного транспорта на территории города Перми примет вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot 7046,3426 \cdot 4701,0601 \cdot \sqrt{1-0,58^2}} \times \quad (2.19)$$

$$\times e^{\left[\frac{-1}{2(1-0,58^2)} \left(\frac{(x+927,2094)^2}{7046,3426^2} - 2 \cdot 0,58 \cdot \frac{(x+927,2094)(y+478,1996)}{7046,3426 \cdot 4701,0601} + \frac{(y+478,1996)^2}{4701,0601^2} \right) \right]}$$

Графическое представление поверхности, образованной функцией (2.19), приведено на рис. 2.17.

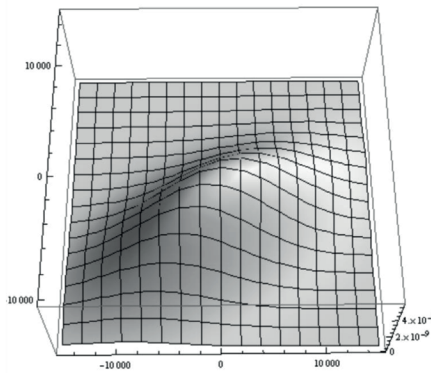


Рис. 2.17. Представление функции (2.19) в виде поверхности. Поверхность плотности нормального распределения дислокации индивидуального транспорта

Для Екатеринбурга функция плотности нормального распределения для жилых домов с учетом населения примет вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot 3625,0741 \cdot 4816,2895 \cdot \sqrt{1 - 0,24^2}} \times e^{\left[\frac{-1}{2(1-0,24^2)} \left(\frac{(x-1028,0776)^2}{3625,0741^2} + 2 \cdot 0,24 \cdot \frac{(x-1028,0776)(y+272,4556)}{3625,0741 \cdot 4816,2895} + \frac{(y+272,4556)^2}{4816,2895^2} \right) \right]} \quad (2.20)$$

Тогда функция плотности нормального распределения для жилых домов без учета населения примет вид:

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi \cdot 3861,1268 \cdot 4606,4346 \cdot \sqrt{1 - 0,24^2}} \cdot e^{\left[\frac{-1}{2(1-0,24^2)} \left(\frac{(x-918,868)^2}{3861,1268^2} + 2 \cdot 0,24 \cdot \frac{(x-918,868)(y+1291,2798)}{3861,1268 \cdot 4606,4346} + \frac{(y+1291,2798)^2}{4606,4346^2} \right) \right]} \quad (2.21)$$

Графическое представление поверхностей, образованных функциями (2.20) и (2.21), приведено на рис. 2.18 (см. цветную вклейку).

Опишем распределение исследуемых единиц городской структуры фигурами на плоскости. Сечение полученной поверхности плоскостью, параллельной координатной, на некотором расстоянии от нее даст эллипс. Расстояние плоскости эллипса от координатной плоскости позволит выявить необходимую вероятность при построении эллиптической модели города. Представим структуру распре-

деления объектов по территории города как эллипс, который получим сечением поверхности, описанной функцией (2.13), плоскостью, параллельной XOY .

Одним из сечений выберем такое, при котором 90% всех исследуемых единиц городской структуры попадут во внутреннюю область эллипса (вероятность $P=0.9$). Для построения сечения зададим произвольную плотность вероятности.

Обозначим значение плотности вероятности – λ . Для каждого значения λ существует геометрическое место точек $B(\lambda)$:

$$\frac{1}{2(1-\rho^2)} \cdot \left[\frac{(x-MX)^2}{\sigma_x^2} - 2\rho \frac{(x-MX)(y-MY)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-MY)^2}{\sigma_y^2} \right] = \lambda \quad (2.22)$$

Функция вероятности для геометрического места точек – $B(\lambda)$ представляется следующим образом: $P(x,y) = 1 - e^{-\lambda/2}$. Тогда для выбранной вероятности $P=0,9$ значение $\lambda = 4,61$.

$$\frac{(x-MX)^2}{\sigma_x^2} - 2\rho \frac{(x-MX)(y-MY)}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-MY)^2}{\sigma_y^2} = 2\lambda(1-\rho^2) \quad (2.23)$$

Полученное уравнение определяет геометрическое место точек – в данном случае это эллипс с центром в точке (MX,MY) .

Обозначим ϕ – угол между осью OX и большой осью эллипса, a – большая полуось, b – малая полуось, c – расстояние между центром и фокусами.

Чтобы избавиться от множителя $\frac{(x-MX)(y-MY)}{2\lambda\sigma_x\sigma_y}$, необходимо координатную ось повернуть на угол:

$$ctg(2\phi) = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}{2\sigma_x\sigma_y\rho} \quad (2.24)$$

Тогда параметры эллипса примут вид:

$$a = \sigma_y \sqrt{2\lambda(1-\rho^2)}, \quad b = \sigma_x \sqrt{2\lambda(1-\rho^2)}, \quad c = \sqrt{(\sigma_y^2 - \sigma_x^2)} \sqrt{2\lambda(1-\rho^2)}, \quad (2.25)$$

а координаты фокусов эллипса на плоскости:

$$F_1(c \cos \phi + MX, c \sin \phi + MY) \quad \text{и} \quad F_2(-c \cos \phi + MX, -c \sin \phi + MY) \quad (2.26)$$

Для приведенных функций (2.18) – (2.22) рассчитаем параметры эллипсов, которые охватывают с 90%-й вероятностью распределенные элементы городской структуры по территории города.

Для Перми эллипс 90%-й вероятности нормального распределения для жилых зданий с учетом жителей примет вид, изображенный на рис. 2.19 (красный цвет) (см. цветную вклейку).

Параметры эллипса, описывающего распределение жилых зданий, следующие: центр эллипса находится в точке: (-1172,616;-380,2037). Система координат – городская, плоская;

угол поворота эллипса между осью OX и большей полуосью эллипса b : $\phi = \frac{4\pi}{21}$;

полуоси эллипса: $a = 11117$, $b = 17095$;

расстояние между фокусами: $c = 12896$.

Для жилых зданий, расположенных на территории Перми, с учетом их площадей, параметры эллипса равны (синий цвет, рис. 2.19):

центр эллипса находится в точке: (1158,8068;1700,2714);

угол поворота эллипса между осью OX и большей полуосью эллипса b : $\phi = \frac{20\pi}{77}$,

расстояние между фокусами: $c = 17271$.

Распределение автотранспортных средств, принадлежащих гражданам и зарегистрированных на территории города Перми, описывает эллипс, имеющий следующие параметры (зеленый цвет рис. 2.19):

центр эллипса находится в точке: (-927,2094; -478,1996);

угол поворота эллипса между осью OX и большей полуосью эллипса b : $\phi = \frac{20\pi}{101}$;

полуоси эллипса: $a = 11628$, $b = 17429$;

расстояние между фокусами: $c = 12983$.

Для Екатеринбурга эллипс 90%-й вероятности нормального распределения для жилых зданий с учетом жителей примет вид, изображенный на рис. 2.20 (красный цвет) (см. цветную вклейку). Параметры эллипса, описывающего распределение населения по территории города, будут определены следующим образом:

центр эллипса находится в точке: (1028,0775;-272,4556);

угол поворота эллипса между осью OX и большей полуосью эллипса a : $\phi = \frac{7\pi}{9}$;

полуоси эллипса: $a = 14197$, $b = 10686$;

расстояние между фокусами: $c = 9347$.

Распределение жилых объектов недвижимости в Екатеринбурге описывается эллипсом на рис. 2.20 (синий цвет), имеющим следующие параметры:

центр эллипса находится в точке: (918,868;-1291,2798);

угол поворота эллипса между осью OX и большей полуосью эллипса a :

$$\phi = \frac{347\pi}{494};$$

полуоси эллипса: $a = 13578$, $b = 11381$;

расстояние между фокусами: $c = 7405$.

Рассмотрим графические представления различных распределенных величин для городов Пермь и Екатеринбург на одной координатной плоскости, без привязки к географическим картам (рис. 2.21) (см. цветную вклейку).

Нетрудно заметить, что эти города при сравнительно одинаковой численности населения, в территориальном плане существенно различны. Приведенное на рис. 2.21 графическое описание городской структуры представляет собой модель города, способную дать формализованное представление об основных характеристиках города, влияющих на потенциал и эффективность функционирования городских транспортных систем.

В качестве такой математической формализации может быть предложена эллиптическая модель города, которая представляет собой плотность нормального распределения двумерного вектора пространственно распределенных единиц городской структуры (например, плотности жителей города или городской застройки).

Параметрами данной модели будут межфокусное расстояние, азимут, сумма радиусов эллипса, либо соотношения длин полуосей эллипса.

Можно рассматривать различные единицы городской структуры:

- плотность застройки;
- численность населения;
- численность мест приложения труда;
- численность учащихся;
- численность зарегистрированного индивидуального транспорта.

Данные единицы городской структуры распределены по территории города неравномерно, поэтому в общем случае для каждого структурного элемента можно построить свою эллиптическую модель и с ее помощью найти, например, точку отчета для построения распределений интересующих параметров по территории в зависимости от удаления от центра.

По наглядному представлению города в эллиптической модели можно судить о протяженности активной части города. Например,

сравнение разных эллипсов в пределах одного города показывает, что население города Перми наиболее плотно распределено в его центре, поэтому протяженность активной части города меньше ее территориальных границ.

Для распределения населения в Екатеринбурге в настоящий момент характерно то, что оно в большей степени распределено на периферийной части города, поэтому красный эллипс по протяженности превышает синий, следовательно, можно говорить о том, что активные границы города шире, чем территориальные.

При проведении сравнительного анализа городов очевидно то, что Пермь является более протяженным, но с меньшим количеством населения, следовательно, он более затратный в плане совершения транспортных корреспонденций.

Полученную методику расчетов можно применять на практике для уточнения распределения неизвестных параметров. Например, имея точные и достоверные данные по распределению населения на территории города Перми, мы можем восстановить распределение данных по населению в другом городе, имеющем схожую структуру. Эти методики применимы для вывода определяющих соотношений, участвующих в дальнейшем анализе транспортного потенциала территорий и построении транспортных моделей городов.

Рассмотрим возможности пространственного анализа распределения городской структуры на основе построенных эллиптических моделей. Проведем анализ городского землепользования – для этого найдем изменения площадей дорог, зданий, водных объектов в зависимости от их расстояния до центра Перми (центра эллипса с координатами: -1172,616; -380,2037). Подобным образом определим зависимости количества населения, трудящихся, студентов, рабочих и учебных мест.

Для простоты расчета используем регулярное разбиение территории города в плоской декартовой системе координат в виде сетки последовательности квадратов-колец, как показано на рис. 2.22.

Ряды определяются как удаленные от центра, первый на расстоянии 500 м (ближние от центра 4 ячейки), второй -1000 м (12 ячеек) и т.д. Для каждого ряда суммируются параметры, характеризующие тот или иной вид анализируемых исходных данных.

Для диаграммы 2.23 (см. цветную вклейку) суммируются по рядам параметры площадей жилой застройки (коричневый цвет), параметры площадей дорог (серый цвет), параметр водных объектов (синий цвет), затем данные выстраиваются в зависимости от расстояния.

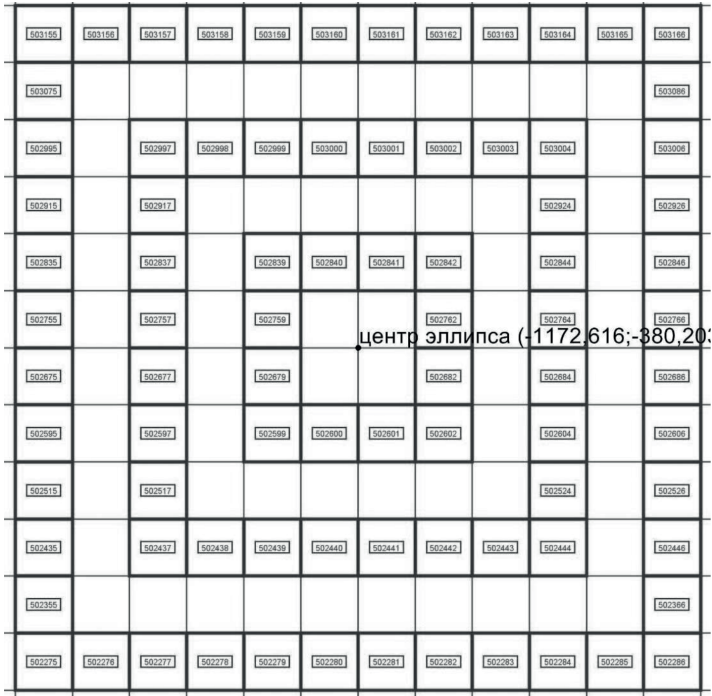


Рис. 2.22. Разбиение территории города регулярной сеткой на ряды – кольца в зависимости от расстояния до центра города

Для диаграммы (рис. 2.24, см. цветную вклейку) суммируются по рядам рассчитанные суммы количества населения, рабочих мест, студентов, учебных мест, а также количество зарегистрированных автомобилей. Результаты расчета суммируются по ячейкам, равноудаленным от центра. Итоговые значения сумм строятся в виде диаграмм в зависимости от расстояния от центра.

Предварительный визуальный анализ диаграмм на рис. 2.23 и 2.24 позволяет заметить существенную неравномерность использования территории города. Это исторически определяется последовательностью этапов формирования от момента основания до современного вида.

Очевидно, что Пермь, как и многие города, основанные на транспортных коммуникациях, сформирован отчасти искусственным образом: путем объединения ряда поселений в территориальное образование с общим центром муниципального управления. Кроме того, нетрудно заметить, что распределение потенциальных терри-

торий генераторов и потребителей (истоков и стоков) транспортных потоков, в свою очередь, также неравномерно.

В дополнение к этому можно отметить, что распределение населения по территории города не совпадает с распределением объектов недвижимости. Это существенно влияет на обобщенные показатели функционирования транспортной системы города, определяя значительный объем неравномерных в течение суток транспортных потоков по основным магистралям, связующим городское ядро и территории города, отстоящие от центра на 10 – 15 км. Эти закономерности позволяют на этапе построения модели транспортного спроса (а именно функции предпочтений дальности совершения поездки) корректно учитывать выявленную неравномерность.

2.2. Анализ транспортной подвижности населения

Объем и структуру транспортного спроса в городах принято считать довольно статичными параметрами, мало меняющимися по территории в связи с локальными изменениями режимов ее использования, как новое строительство объектов недвижимости или объектов транспортной инфраструктуры. Однако анализ статистики уровня автомобилизации и объемов дорожного движения наглядно показывает, что существуют довольно ярко выраженные изменения общих объемов транспортного спроса, а также способы его реализации.

Можно проследить, как изменяется уровень автомобилизации в городах, растет интенсивность дорожного движения на улично-дорожной сети. Но простое интерполирование статистических зависимостей этого роста на долгосрочную перспективу, очевидно, не будет обладать достаточной степенью достоверности. Представляется интересным получить необходимые для построения прогнозных моделей транспортного спроса в городах параметры, характеризующие общую подвижность жителей, на основе анализа статистики более развитых по уровню автомобилизации европейских стран.

Поставим задачу: определить основные параметры транспортного спроса в крупном российском городе (до 2040 года). Прогноз параметров транспортного спроса будет проводиться в двух направлениях (рис. 2.25): прогноз подвижности населения и прогноз разделения (расщепления) всего объема транспортных корреспонденций по видам транспорта (Modal Split).

В качестве основы для прогнозов далее в разделах 2.2.1 и 2.2.2 будут использоваться статистические данные о параметрах подвиж-

ности, а также уровне использования различных видов транспорта для городов Германии, предоставленные компанией Poгу [141,142] (<http://www.pougy.com/>), статистическая информация по городам Италии от компании Systematica [127,142] (<http://www.systematica.net/>) и данные Евростата¹¹.



Рис. 2.25. Принципиальная схема построения прогнозных моделей объемов транспортного спроса в городах

2.2.1. Анализ автомобилизации и общей подвижности населения городов

Для построения модели и прогнозирования подвижности населения использованы данные немецких исследователей, полученные в результате статистического анализа и наблюдений в различных городах Германии (табл. 2.4, рис.2.26 и 2.27).

Таблица 2.4

Статистические данные количества населения, уровня автомобилизации и среднегодового пробега автомобиля для городов Германии

Год	Численность населения, тыс. чел.	Количество автомобилей, тыс.	Уровень автомобилизации, авто / 1000 жителей	Средний годовой пробег, тыс. км	Применительно к городам России
1960	55433	4490	81,0	16,3	
1965	59012	9267	157,0	15,5	
1966	59638	10302	172,7	15,5	
1967	59873	11016	184,0	15	

¹¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database>. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/population-demography-migration-projections/data/database>.

Год	Численность населения, тыс. чел.	Количество автомобилей, тыс.	Уровень автомобилизации, авто / 1000 жителей	Средний годовой пробег, тыс. км	Применительно к городам России
1968	60184	11683	194,1	14,7	Российские города ≈ 2008
1969	60848	12585	206,8	14,7	
1970	60651	13941	229,9	14,4	
1971	61302	15115	246,6	14,2	
1972	61672	16055	260,3	13,8	
1973	61976	17023	274,7	13,5	
1974	62054	17341	279,5	13,1	
1975	61829	17898	289,5	13,7	
1976	61531	18920	307,5	13,5	Российские города ≈ 2016
1977	61400	20020	326,1	13,3	
1978	61327	21212	345,9	13,2	
1979	61359	22535	367,3	12,9	
1980	61566	23192	376,7	12,8	
1981	61682	23730	384,7	11,9	Российские города ≈ 2021
1982	61638	24105	391,1	12,2	
1983	61423	24580	400,2	12,4	
1984	61175	25218	412,2	12,5	
1990	79365	35502	447,3	12,2	Российские города ≈ 2030
1991	79984	-	-		
1992	80570	-	-		
1993	81187	32652	402,2	15,9	
1994	81422	39765	488,4	12,7	
1995	81661	40404	494,8	12,5	Российские города ≈ 2035

Год	Численность населения, тыс. чел.	Количество автомобилей, тыс.	Уровень автомобилизации, авто / 1000 жителей	Средний годовой пробег, тыс. км	Применительно к городам России
1996	81896	40987	500,5		
1997	82061	41372	504,2		
1998	82024	41674	508,1		
1999	82101	42324	515,5		
2000	82213	42423	516,0		Российские города ≈ 2040
2001	82350	43772	531,5		
2002	82489	44383	538,1		
2003	82541	44657	541,0		
2004	82517	45023	545,6		
2005	82470	45376	550,2		
2006	82377	46090	559,5		
2007	82267	46570	566,1		
2008	82110	41184	501,6		
2009	81901	41321	504,5	14,4	
2010	81751	41738	510,5		
2011	80233	42302	527,2		
2012	80399	42930	534,0		
2013	80767	43397	537,3		
2014	81198	43851	540,1		
2015	82176	44403	540,3		
2016	82522	45071	546,2		
2017	82792	45804	553,2		
2018	83019	46475	559,8		
2019	79365	47096	566,3		Российские города ≈ 2059

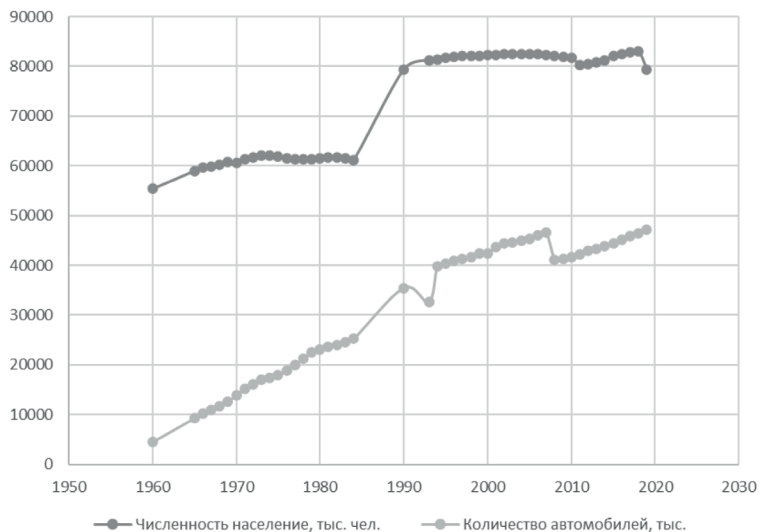


Рис. 2.26. График изменения численности населения и количества автомобилей, зарегистрированных в городах Германии (по годам)

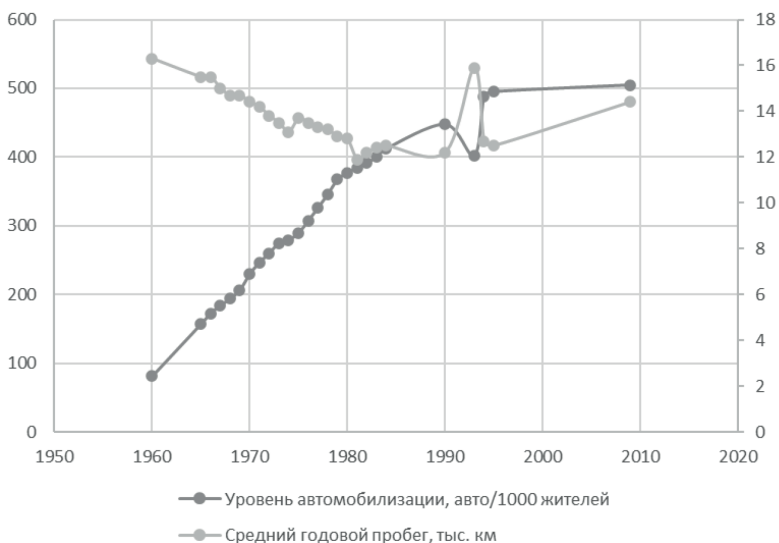


Рис. 2.27. График изменения уровня автомобилизации и среднего годового пробега в Германии (по годам)

Статистические данные, представленные в (табл. 2.4, рис. 2.26-2.27), имеют некую неравномерность, резкие скачки и отсутствие ре-

гулярности данных на некоторых временных интервалах. Подобные погрешности в построении графиков и таблиц вызваны изменениями в форме сбора национальных данных в Германии, касающихся учета автомобилей и режимов их эксплуатации. Кроме того, сбором и анализом представленных на графиках данных занимались в разное время разные организации и научные школы, что также нашло отражение в определенной нестройности и нестыковке отдельных участков кривых в ряде временных отрезков.

Оценку изменения подвижности будем проводить по интегрированному показателю – суммарному пробегу всех автомобилей за сутки (км/сутки). Для этого представим исходные данные в виде суточного пробега автомобиля и затем подсчитаем общий пробег всех автомобилей.

За точку отсчета возьмем 1968 год. Этот год в Германии по основным параметрам, определяющим функционирование транспортных систем, соответствует 2008 г. для крупных российских городов. Суммарный пробег для этого года составил: $14700\text{км}/365\text{ суток} \times 11683000\text{ авто} = 506847945\text{ км/сутки}$. 1976 г. соответствует по основным достигаемым показателям 2016 г. для крупных российских городов. Суммарный пробег составил: $13500\text{км}/365\text{суток} \times 18920000\text{ авто} = 699780822\text{ км/сутки}$.

Таким образом, с 1968 по 1976 год, по данным наблюдений в городах Германии, отношение количества автомобилей на 1000 жителей увеличилось в $307,5/194,1=1,584$ раза, общее количество автомобилей увеличилось в $18920/11683=1,62$ раза, суммарный пробег всех автомобилей увеличился в $699780822/506847945=1,38$ раза.

Выполнив аналогичные действия для всех предыдущих периодов времени каждого года, получим результаты суммарного пробега автомобилей в сутки (табл. 2.5).

Таблица 2.5

**Значения суммарного пробега всех автомобилей
в пересчете на сутки из статистического анализа
наблюдений по городам Германии**

Год	Численность населения, тыс. чел.	Количество автомобилей, тыс.	Уровень автомобилизации. авто/1000 жителей	Средний годовой пробег, тыс. км	Суммарный пробег всех автомобилей в сутки, км
1960	55433	4490	81	16.3	200 512 329

Год	Численность населения, тыс. чел.	Количество автомобилей, тыс.	Уровень автомобилизации. авто/1000 жителей	Средний годовой пробег, тыс. км	Суммарный пробег всех автомобилей в сутки, км
1965	59012	9267	157	15.5	393 530 137
1966	59638	10302	172.7	15.5	437 482 192
1967	59873	11016	184	15	452 712 329
1968	60184	11683	194.1	14.7	470 520 822
1969	60848	12585	206.8	14.7	506 847 945
1970	60651	13941	229.9	14.4	550 001 096
1971	61302	15115	246.6	14.2	588 035 616
1972	61672	16055	260.3	13.8	607 010 959
1973	61976	17023	274.7	13.5	629 617 808
1974	62054	17341	279.5	13.1	622 375 616
1975	61829	17898	289.5	13.7	671 787 945
1976	61531	18920	307.5	13.5	699 780 822
1977	61400	20020	326.1	13.3	729 495 890
1978	61327	21212	345.9	13.2	767 118 904
1979	61359	22535	367.3	12.9	796 442 466
1980	61566	23192	376.7	12.8	813 308 493
1981	61682	23730	384.7	11.9	773 663 014
1982	61638	24105	391.1	12.2	805 701 370
1983	61423	24580	400.2	12.4	835 046 575
1984	61175	25218	412.2	12.5	863 630 137
1990	79365	35502	447.3	12.2	1 186 642 192
1993	81187	32652	402.2	15.9	1 422 374 795
1994	81422	39765	488.4	12.7	1 383 604 110
1995	81661	40404	494.8	12.5	1 383 698 630
1996	81896	40987	500.5		
1997	82061	41372	504.2		
1998	82024	41674	508.1		
1999	82101	42324	515.5		

Год	Численность населения, тыс. чел.	Количество автомобилей, тыс.	Уровень автомобилизации. авто/1000 жителей	Средний годовой пробег, тыс. км	Суммарный пробег всех автомобилей в сутки, км
2000	82213	42423	516		
2001	82350	43772	531.5		
2002	82489	44383	538.1		
2003	82541	44657	541		
2004	82517	45023	545.6		
2005	82470	45376	550.2		
2006	82377	46090	559.5		
2007	82267	46570	566.1		
2008	82110	41184	501.6		
2009	81901	41321	504.5	14.4	1 630 198 356
2010	81751	41738	510.5		
2011	80233	42302	527.2		
2012	80399	42930	534.0		
2013	80767	43397	537.3		
2014	81198	43851	540.1		
2015	82176	44403	540.3		
2016	82522	45071	546.2		
2017	82792	45804	553.2		
2018	83019	46475	559.8		
2019	79365	47096	566.3		

Полученные значения суммарного пробега парка автомобилей используются для ретроспективного прогнозирования уровня подвижности населения городов Германии в течение 1985 – 2019 гг. В последующем полученные данные используем для расчета параметров подвижности населения в крупном российском городе на 2040 год. Построим функциональные зависимости для наблюдаемых параметров. Для аппроксимации выберем логарифмический вид функции.

По результатам многочисленных исследований определили, что логарифмическая зависимость наиболее точно описывает основные параметры роста автомобилизации и транспортной подвижности населения городов. График итоговой логарифмической функции представлен на рис. 2.28.

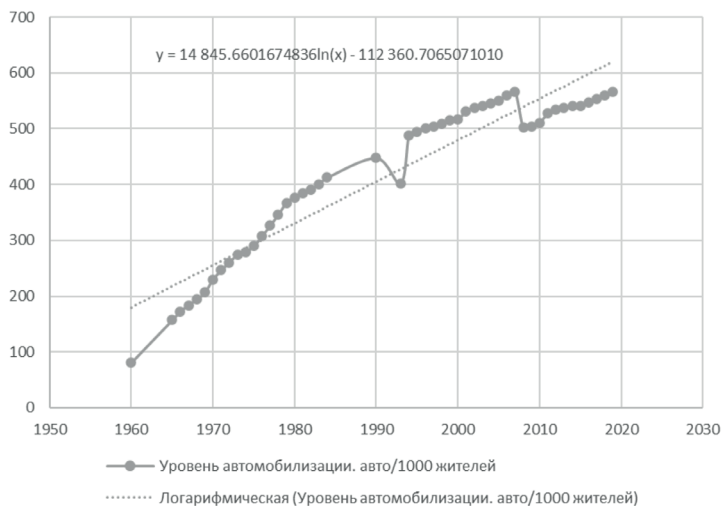


Рис. 2.28. Аппроксимация уровня автомобилизации логарифмической функцией

В результате аппроксимации получен следующий вид функции уровня автомобилизации в зависимости от года:

$$y = 14845,6601674836 \cdot \ln(x) - 112360,706507101, \quad (2.27)$$

где x – прогнозируемый период (год).

Так как имеющаяся статистика по Германии покрывает период до 2019 года, что соответствует 2055 году для России, для прогнозирования уровня автомобилизации в крупных российских городах имеет смысл использовать статистические данные. Полученную логарифмическую зависимость имеет смысл использовать для прогнозирования для периода после 2055 года.

Аналогично аппроксимируем и экстраполируем данные для суммарного суточного пробега (рис. 2.29).

Результат аппроксимации для функции суммарного суточного пробега:

$$y = 61612449,6776867 \cdot \ln(x) - 466853647,661851, \quad (2.28)$$

где x – прогнозируемый период (год).

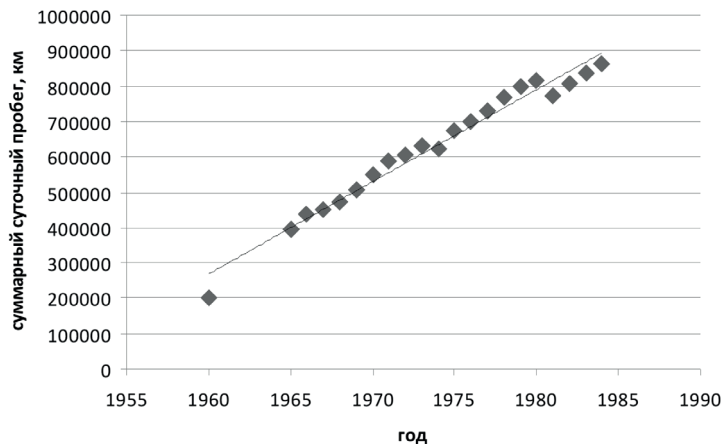


Рис. 2.29. Аппроксимация суммарного суточного пробега логарифмической функцией

Проведя интерполяцию для годов, за которые отсутствуют данные, и экстраполяцию до 2019 г., получим следующие значения (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Экстраполированные значения суммарного суточного пробега автомобилей в городах Германии

Год	Суммарный пробег всех автомобилей в сутки, тыс. км
1960	200512.3
1965	393530.1
1966	437482.2
1967	452712.3
1968	470520.8
1969	506847.9
1970	550001.1
1971	588035.6
1972	607011.0
1973	629617.8
1974	622375.6
1975	671787.9
1976	699780.8

Год	Суммарный пробег всех автомобилей в сутки, тыс. км
1977	729495.9
1978	767118.9
1979	796442.5
1980	813308.5
1981	773663.0
1982	805701.4
1983	835046.6
1984	863630.1
1985	992737.7
1986	1023768.9
1987	1054784.5
1988	1085784.5
1989	1116768.8
1990	1186642.2
1993	1422374.8
1994	1383604.1
1995	1383698.6
1996	1333224.3
1997	1364084.6
1998	1394929.4
1999	1425758.7
2000	1456572.6
2001	1487371.2
2002	1518154.3
2003	1548922.1
2004	1579674.5
2005	1610411.5
2006	1641133.3
2007	1671839.7
2008	1702530.8
2009	1630198.4
2010	1763867.3
2011	1794512.6
2012	1825142.7

Год	Суммарный пробег всех автомобилей в сутки, тыс. км
2013	1855757.6
2014	1886357.3
2015	1916941.8
2016	1947511.1
2017	1978065.2
2018	2008604.2
2019	2039128.1

Таким образом, проведя соответствие между расчетными годами и показателями подвижности, получим следующие расчетные данные для прогнозирования этих параметров в крупных российских городах для трех периодов прогнозирования (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Значения уровня автомобилизации и относительного изменения суммарного пробега для крупных российских городов

Год	Уровень автомобилизации	Относительное изменение суммарного пробега по отношению к 2021 году
2021	385	1
2030	447	1,53
2035	495	1,76
2040	516	1,96

Для расчета уровня изменения подвижности будем использовать зависимости изменения суммарного пробега, так как этот показатель учитывает в себе как изменение уровня автомобилизации, так и степень (частоту) использования автомобиля (рис. 2.30). Рост количества автомобилей в собственности граждан опережает рост суммарного пробега всех зарегистрированных автомобилей. Это связано со следующими двумя факторами:

- во-первых, наблюдается снижение интенсивности использования личных автомобилей;
- во-вторых, наблюдается падение средней длины поездки, приходящейся на один зарегистрированный автомобиль.

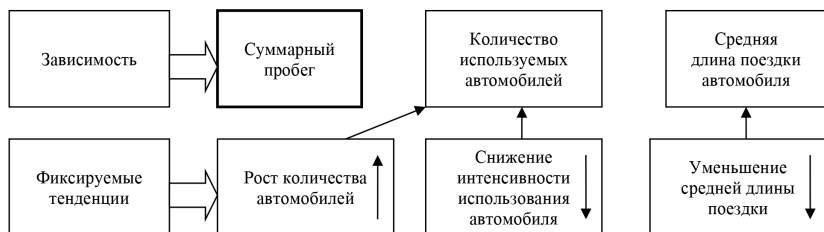


Рис. 2.30. Принципиальная схема общего вклада в показатели подвижности городского населения различных характеристик транспортного спроса

Оценить уменьшение средней длины поездки, приходящейся на один автомобиль, можно из стремления водителями сохранить ощущаемое время поездки в определенных рамках, поэтому при падении скорости движения вследствие увеличения интенсивности и загрузки участков улично-дорожной сети водители сокращают общую длину каждой поездки с целью экономии своего личного времени.

Соответствующие поправки, учитывающие данный факт, необходимо вносить в транспортную модель городов на этапе генерации транспортного спроса.

2.2.2. Анализ разделения (расщепления) транспортных корреспонденций по видам транспорта (Modal Split)

Для построения модели расщепления и исследования изменения отношения Modal Split считаем возможным использовать данные, представленные компанией Systematica, а также данные органов статистики Италии и статистических порталов¹² (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Данные, предоставленные компанией Systematica (Италия)

Год	Количество автомобилей, авт.	Население, чел.	Автомобилей на 1000 жителей	Всего корреспонденций, тыс. корр./сутки	Корреспонденций на индивидуальном транспорте, тыс. корр./сутки
2001	33 239 029	56 960 692	584	124 827	74 094
2002	33 706 153	56 993 742	591	118 497	66 705
2003	34 310 446	57 321 070	599	122 664	74 418

¹² По данным портала <https://www.statista.com/> и государственной статистики Италии <https://www.istat.it/>.

Год	Количество автомобилей, авт.	Население, чел.	Автомобилей на 1000 жителей	Всего корреспонденций, тыс. корр./сутки	Корреспонденций на индивидуальном транспорте, тыс. корр. /сутки
2004	33 973 147	57 888 245	587	115 419	63 397
2005	34 667 485	58 462 375	593	118 285	71 471
2006	35 297 282	58 751 711	601	117 371	74 475
2007	35 680 097	59 131 287	603	127 940	84 127
2008	36 105 183	59 619 290	606	128 968	83 620
2009	–	60 045 068	–	116 981	78 882
2017	39 072 600	60 484 000	646	97 600	69 784

Из представленных данных можно определить изменение Modal Split по годам для Италии (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Изменение Modal Split в городах Италии по годам

Год	Доля транспортного спроса, реализуемая на индивидуальном транспорте в городах Италии	Доля транспортного спроса, реализуемая на общественном транспорте в городах Италии
2001	0,594	0,406
2002	0,563	0,437
2003	0,607	0,393
2004	0,549	0,451
2005	0,604	0,396
2006	0,635	0,365
2007	0,658	0,342
2008	0,648	0,352
2009	0,674	0,326
2017	0,715	0,285

Доля корреспонденций индивидуального транспорта рассчитана как отношение количества корреспонденций индивидуального транспорта к общему количеству корреспонденций. Доля корреспонденций общественного транспорта рассчитана как отношение количества корреспонденций общественного транспорта к общему количеству корреспонденций.

На основе данных по городам Италии можно аппроксимировать значения для объема корреспонденций в виде логарифмической функции (рис. 2.31).

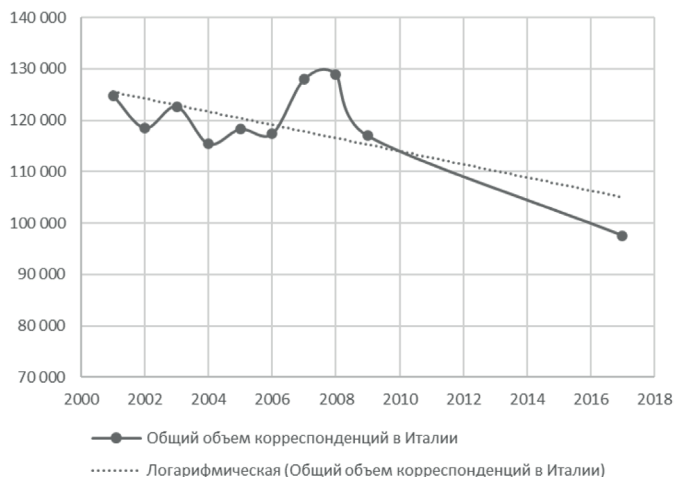


Рис. 2.31. Аппроксимация общего объема корреспонденций в Италии логарифмической функцией

В итоге был получен следующий вид функции:

$$y = -2567169,30417468 \cdot \ln(x) + 19639598,5574715 \quad (2.29)$$

где x – прогнозируемый период (год).

Мы провели ретроспективную экстраполяцию статистических данных для городов Италии и получили данные по уровню автомобилизации в соответствии с данными, полученными для Германии. Таким образом, данные по уровню автомобилизации по Италии для 2007 г. соответствуют данным по Германии 1994 г. Следовательно, временное соотношение искомых параметров между городами Италии и России выстроится как соответствие 1994 г. к 2021 г.

Затем мы получили общее количество транспортных корреспонденций по крупным российским городам для прогнозных временных отрезков как пропорциональное изменение относительно 2021 г. (табл. 2.10). Пропорциональные соотношения строились относительно исходных данных по городам Италии.

Таким образом, к 2040 г. общий объем транспортных корреспонденций уменьшится на 19% относительно 2021 г. Важно понимать, как изменится соотношение между корреспонденциями ИТ и ОТ внутри этого объема.

Проследим, как меняются доли корреспонденций на индивидуальном транспорте от общего количества корреспонденций по данным, приведенным в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Общее количество корреспонденций

Год		Общее количество транспортных корреспонденций по городам Италии, тыс. корр./сутки	Общее количество транспортных корреспонденций в крупном российском городе, корр./сутки
Италия	Россия		
1989	2016	140953	1950000
1994	2021	134508	1860837
2003	2030	122664	1696983
2008	2035	128968	1784195
2009	2040	116981	1618362

Проведем экстраполяцию для долей корреспонденций на индивидуальном транспорте (табл. 2.11), для которой выберем линейный вид функции (рис. 2.32).



Рис. 2.32. Аппроксимация доли корреспонденций, реализуемых на индивидуальном транспорте в Италии, логарифмической функцией

В результате аппроксимации получилась функция вида:

$$y = 0,00976035391229 \cdot x - 18,9565765956252 \quad (2.30)$$

где x – прогнозируемый период (год).

Таблица 2.11

**Доля корреспонденций на индивидуальном транспорте
(по годам)**

Год		Доля корреспонденций, реализуемых на индивидуальном транспорте
Италия	Россия	
1989	2016	0,55
1994	2021	0,59
2003	2030	0,61
2008	2035	0,65
2009	2040	0,67

Приведем еще один способ получения суммарного суточного пробега парка автомобилей для крупного города. Определять его будем в результате выполнения следующих последовательных действий:

1. Поделим среднегодовой пробег одного автомобиля на 365 и получим среднесуточный пробег одного автомобиля.

2. Умножим показатель среднесуточного пробега одного автомобиля на количество автомобилей и получим суммарный суточный пробег всех зарегистрированных в городе автомобилей.

Для того чтобы получить среднегодовой пробег на прогнозные годы для крупного российского города, проведем экстраполяцию данных по среднегодовому пробегу в Германии. Полученные данные будем использовать для вычислений по алгоритму, описанному выше в пунктах 1 и 2.

Основное отличие такого подхода от приведенного в начале главы способа получения суммарного суточного пробега путем экстраполяции самого суточного пробега заключается в том, что производится экстраполяция исходных данных (то есть годового пробега автомобиля), а не значений, полученных в результате последующих вычислений. Так как суммарный суточный пробег всех автомобилей зависит от двух параметров – количества автомобилей и среднесуточного пробега одного автомобиля, то предполагается, что наиболее достоверные данные получатся, если экстраполировать каждый из параметров отдельно, а не их произведение.

Проведем экстраполяцию для среднегодового пробега одного автомобиля (рис. 2.33) В этих целях будем использовать логарифми-

ческий вид функции (рис. 2.31). Для среднегодового пробега одного автомобиля получилась функция следующего вида:

$$y = -0,0508481286730683 \cdot x + 114,306542530196 \quad (2.31)$$

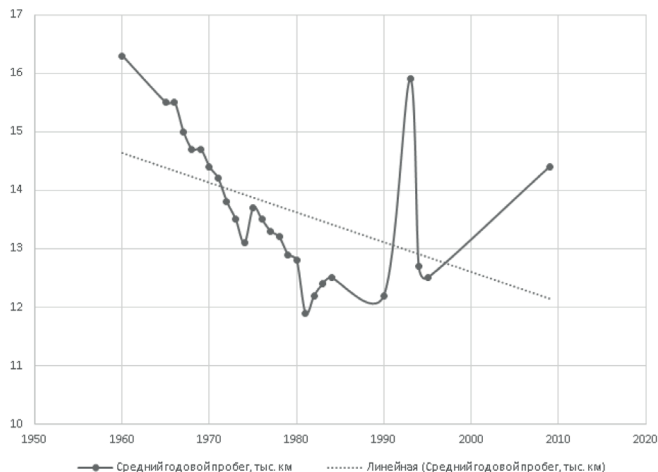


Рис. 2.33. Экстраполяция среднего годового пробега одного автомобиля

Численное значение экстраполируемых данных о среднегодовом пробеге одного автомобиля приведено в табл. 2.12 и выделено в рамку.

Таблица 2.12

Среднегодовой пробег одного автомобиля

Год		Среднегодовой пробег одного автомобиля, тыс. км
Для городов России	Для городов Германии	
2016	1976	13.5
2017	1977	13.3
2018	1978	13.2
2019	1979	12.9
2020	1980	12.8
2021	1981	11.9
2022	1982	12.2
2023	1983	12.4
2024	1984	12.5
2025	1985	13.4

Год		Среднегодовой пробег одного автомобиля, тыс. км
Для городов России	Для городов Германии	
2026	1986	13.3
2027	1987	13.3
2028	1988	13.2
2029	1989	13.2
2030	1990	12,2
2031	1991	13.1
2032	1992	13.0
2033	1993	15.9
2034	1994	12.7
2035	1995	12.5
2036	1996	12.8
2037	1997	12.8
2038	1998	12.7
2039	1999	12.7
2040	2000	12.6

На основе экстраполированных данных был рассчитан среднесуточный пробег одного автомобиля и суммарный суточный пробег всех автомобилей для крупного российского города по состоянию на базовый 2016 г. и на последующие годы (табл. 2.13).

Таблица 2.13

**Суммарный суточный пробег и суточный пробег
одного автомобиля**

Год для российских городов	Среднесуточный пробег одного автомобиля, км	Суммарный суточный пробег, км
2016	37,0	11391781
2021	32,6	12542274
2030	33,4	14950849
2035	34,2	16945205
2040	34,5	17812603

Все полученные параметры транспортной подвижности сведены в итоговую таблицу (табл. 2.14).

Таблица 2.14

**Итоговые значения параметров транспортной подвижности населения
крупного российского города по годам**

Год	Параметр						Кол-во корреспонденций на индивидуальном транспорте
	Уровень автомобилизации, авт./тыс. жителей	Среднесуточный пробег одного автомобиля, км	Суммарный суточный пробег всех автомобилей, км	Общее количество корреспонденций	Доля корреспонденций на индивидуальном транспорте	Произведение доли корреспонденций на индивидуальном транспорте и общего кол-ва корреспонденций	
2008	206	44,0	9 077 539	1 995 000	0,55	1 097 250	
2016	308	37,0	11 391 781	1 860 837	0,61	1 135 111	
2021	385	32,6	12 542 274	1 696 983	0,59	1 001 220	
2030	447	33,4	14 950 849	1 784 195	0,61	1 088 359	
2035	495	34,2	16 945 205	1 618 362	0,65	1 051 935	
2040	516	34,5	17 812 603	1 860 837	0,67	1 246 761	
Источник	Данные по городам Германии		Расчет	Данные по городам Италии		Расчет	
Способ получения	Соответствие по годам	Соответствие по годам + экстраполяция исходных данных	Произведение среднесуточного пробега одного автомобиля и кол-ва автомобилей	Экстраполяция исходных данных, их пропорциональное изменение данных для годов России	Экстраполяция исходных данных	Произведение доли корреспонденций на индивидуальном транспорте и общего кол-ва корреспонденций	

В табл. 2.14 представлены прогнозные значения параметров транспортной подвижности населения крупного российского города, а также перечислены источники информации, на основе которых был выполнен расчет прогнозных значений параметров транспортной подвижности.

Изменение подвижности населения для городов Российской Федерации спрогнозировано до 2030 г. Уровень автомобилизации к этому времени достигнет показателя 509 автомобилей на 1000 жителей. Среднесуточный пробег одного автомобиля сократится до 30 км. Соотношение объемов транспортных корреспонденций достигнет уровня 60% на индивидуальном транспорте и 40% транспортных корреспонденций будет осуществляться на общественном транспорте.

Полученные соотношения являются базовыми параметрами для построения моделей изменения транспортной подвижности населения крупных городов во времени. Можно предположить, что найденные зависимости статичны по отношению к большинству макроэкономических показателей жизни общества в современных крупных индустриальных городах Европы и России. Полученные параметры и их прогнозы на перспективу позволят исследователям в области транспортного планирования и организации дорожного движения давать качественные и количественные оценки эффективности тех или иных проектов в области развития транспортных систем городов.

2.3. Система мониторинга состояния и режимов функционирования дорожно-транспортного комплекса крупных городов

Для создания качественных инструментов выработки управленческих решений по формированию эффективной, безопасной и устойчивой транспортной системы крупного города необходимо решить три методические задачи:

- создать модель транспортного спроса;
- создать модель транспортного предложения;
- разработать систему мониторинга состояния и условий движения на улично-дорожной сети.

Решение этих трех задач открывает возможность разработки прикладных математических моделей, необходимых при решении задач развития транспортных систем городов, транспортного планирования и организации дорожного движения.

Оценка состояния и условий движения на улично-дорожной сети – необходимый этап при создании системы моделирования и прогнозирования транспортных потоков, состояния загрязнения атмосферы городов, шумового загрязнения, моделирования и прогнозирования параметров транспортной безопасности. От качества, полноты и достоверности исходной информации напрямую зависят как адекватность создаваемой модели, так и результаты моделирования и прогнозирования многих процессов [101,151].

Возникает необходимость в создании методики ведения непрерывного мониторинга состояния и условий движения на УДС города, обладающей максимальной функциональностью и применимостью для разрешения наибольшего количества проблем, возникающих при эксплуатации транспорта в условиях большого города.

Методика оценки состояния и условий движения на улично-дорожной сети города должна удовлетворять ряду основных требований:

1. Требование универсальности.

Количество и перечень оцениваемых параметров о составе транспортных потоков и условий их движения по улично-дорожной сети города, равно как и точность, и степень дискретизации всех необходимых для расчета параметров, не должны зависеть от каких-либо пространственных или временных факторов.

2. Требование непрерывности и системности.

Методика сбора любой необходимой информации должна обеспечивать возможность ведения непрерывного наблюдения за всеми параметрами в режиме постоянного мониторинга. Степень дискретизации, полнота и точность информации, характеризующей состояние и условия движения на улично-дорожной сети, должны позволять построение адекватных и непрерывных во времени математических моделей поведения каждого исследуемого параметра.

3. Требование минимизации стоимости натуральных исследований.

Учитывая тот факт, что величина затрат на создание системы моделирования и прогнозирования транспортных систем городов напрямую зависит от затрат на сбор необходимой исходной информации в ходе проведения натуральных исследований, методика сбора показателей должна обеспечивать получение максимума информации при минимуме материальных затрат.

Выбор основных параметров, включенных в систему мониторинга транспортных потоков на улично-дорожной сети города, основывался на следующих принципах:

1. Состав и количество параметров должны максимально полно и однозначно определять характер и степень удовлетворения существующего на территории транспортного спроса имеющимся в распоряжении сообщества транспортным предложением.

2. Технология сбора выбранных показателей должна обеспечивать максимальную достоверность собираемой информации. Выполнение этого требования в большей степени определяет итоговую ошибку получаемых на основе такой информации математических моделей.

Например, в ходе замеров показателей интенсивности транспортных потоков можно задать цель измерения мгновенной скорости транспортного потока или замер некоторых параметров ездовых циклов отдельных групп автомобилей, а также автоматически на этапе подсчета количества транспорта более детально делить весь транспортный поток на отдельные группы.

Все эти шаги способствуют более полному и детальному изучению характера движения и, как следствие, приводят к более качественным и достоверным результатам. Однако проведенные многочисленные эксперименты по учету и замерам ряда дополнительных параметров транспортных потоков заставили отказаться от учета многих, без сомнения полезных, параметров, характеризующих движение транспортного потока.

Проанализировав собранную в процессе проведения пробных замеров информацию о некоторых дополнительных параметрах транспортных потоков, исследователи обнаруживают крайне низкую стабильность результатов наблюдений, небольшой коэффициент автокорреляции между сходными по смыслу параметрами, существенную величину случайной ошибки. Подобные объективные трудности при сборе информации по ряду параметров заставили отказаться, например, от замеров количества автомобилей, находящихся в очереди перед регулируемым перекрестком, а также автоматического деления транспортного потока на мелкие составные группы по видам транспорта, как требует того ряд известных методик.

Состав и количество параметров, механизм, технология и методика сбора необходимой исходной информации, как и дальнейшее получение расчетной информации должны отвечать принципу минимизации затрат на их проведение. Работы по проведению натуральных обследований структуры и интенсивности транспортных потоков чрезвычайно дорогостоящие и требуют привлечения большого количества людей. Поэтому увеличение количества измеряемых показателей, как и ужесточение методик по сбору информации, авто-

матически приводит к увеличению числа учетчиков, принимающих участие в исследованиях или к росту продолжительности проведения исследований.

В предлагаемой методике предусмотрены различные варианты, позволяющие максимально сократить прямые затраты на сбор информации о параметрах транспортных потоков.

Комплексное выполнение всех этих принципов позволяет создать функционально независимую систему. Наиболее полно и детально методика сбора, описания и анализа информации о характере функционирования улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми изложена в [4,126].

В данной главе приводятся основные результаты проведенных многочисленных обследований состояния и условий движения на улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, а также основные закономерности поведения ряда параметров, определяющих величину выбросов загрязняющих веществ транспортным потоком во времени.

Система мониторинга состояния и условий движения на улично-дорожной сети города включает в себя:

- анализ количественного состава и технического состояния парка АТС города;
- анализ режимов работы улично-дорожной сети города с использованием современных геоинформационных систем.

Анализ режимов работы улично-дорожной сети города проводится отдельно по четырем группам перегонов города:

1) участки УДС городского центра (зона А) (1 зона):

- для зон данного типа характерна максимальная деловая активность;

2) участки УДС в центральных районах города, прилегающие к городскому центру (зона В) (4 зоны):

- для зон данного типа характерна преобладающая высотная застройка и многофункциональное использование территории;

3) участки УДС в удаленных районах (зона С) (3 зоны):

- зоны данного типа имеют собственные центры деловой и социальной активности. Перспектива – преобразование данных участков в самостоятельные поселения и их автономизация;

4) участки УДС на въездах и выездах из города.

При этом исследуются суточная интенсивность транспортных потоков, недельные и сезонные колебания интенсивности, а также структура и скоростные параметры транспортных потоков.

2.3.1. Анализ объемов транспортного предложения в крупных городах

Проведем анализ состояния транспортной системы российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, отдельно рассмотрев транспортное предложение, а также основные закономерности функционирования транспортной системы города.

2.3.1.1. Анализ состава парка транспортных средств крупных городов

Анализ количественного состава парка АТС проводится на основании данных Росстата за несколько лет по основным видам транспорта: грузовые автомобили, легковые автомобили, автобусы.

Особенностью современного периода является непрогнозируемый и неконтролируемый рост парка легкового индивидуального транспорта. По данным 1970 г., парк автомобилей в мире составлял около 250 млн. единиц, к 2005 г. он достиг 892 млн. единиц, к 2015 г. – 1282 млн. единиц¹³.

В России по состоянию на 2019 г. количество зарегистрированных легковых автомобилей составило 48 430 тысяч единиц¹⁴. Таким образом, количество легковых автомобилей, приходящихся на 1000 жителей страны, составляет 309 единиц (для сравнения: уровень 10 летней давности – 232 единиц транспортных средств на 1000 жителей).

Рост общей численности автотранспортных средств в Российской Федерации происходит в основном за счет легкового транспорта, кроме того, из года в год повышается доля автотранспорта, принадлежащего индивидуальным владельцам (физическим лицам).

На графике (рис. 2.34) видно, что за последние 5 лет количество автомобилей в Российской Федерации увеличилось на 11%. Этот прирост происходит в основном за счет увеличения количества легкового транспорта. Анализируя статистическую информацию о динамике изменения автомобильного парка страны, можно построить функциональные зависимости количества зарегистрированных автомобилей по годам за последние 20 лет. Уравнение (2.32) описы-

¹³ International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, <https://www.oica.net/>.

¹⁴ Росстат, <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/o7FwgVNN/nalich.xls>.

вает закономерность роста парка автомобилей в Российской Федерации.

$$y = 1762,18 \cdot x - 3501233,49 \quad (2.32)$$

где y – количество зарегистрированного автотранспорта, млн. единиц; x – год (2000, 2001, ...).

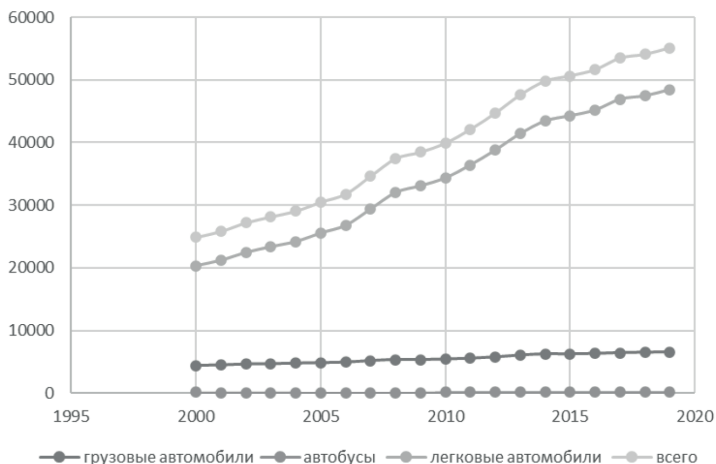


Рис. 2.34. Количество зарегистрированного транспорта на территории Российской Федерации

Прогнозирование увеличения автомобильного парка на следующие несколько лет показывает с достоверностью 95%, что при таких темпах роста к 2031 г. число автомобилей в Российской Федерации может достигнуть величины более 77 800 000 единиц.

На рис. 2.34 также показано, что рост автомобильного парка происходит в основном за счет легковых автомобилей, доля которых в общем количестве автомобилей составляет около 87,8%.

Такая ситуация с изменением количественного и качественного структурного состава парка транспортных средств привела к лавинообразному росту интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети городов, при этом особенно тяжелое положение складывается в центральных частях крупных городов.

Повышение интенсивности транспортных потоков с одновременным снижением пропускной способности отдельных транспортных связей вследствие значительного паркования транспортных средств в системе УДС приводит к ухудшению качественных показателей функционирования улично-дорожной сети. Следствием такой ситуа-

ции является снижение эффективности функционирования улично-дорожной сети, увеличение времени нахождения транспортных средств на улично-дорожной сети, повышение путевого расхода топлива всех транспортных средств, составляющих транспортный парк. Все это приводит к ухудшению качества жизни на исследуемой территории.

Косвенно о техническом состоянии автомобильного парка крупных городов можно судить по среднему возрасту транспортных средств, зарегистрированных на территории Российской Федерации: так, к концу 2020 г. средний возраст АТС составляет 14 лет¹⁵. На рис. 2.35 приведена диаграмма количества легковых автомобилей разных годов выпуска, зарегистрированных на территории Российской Федерации.

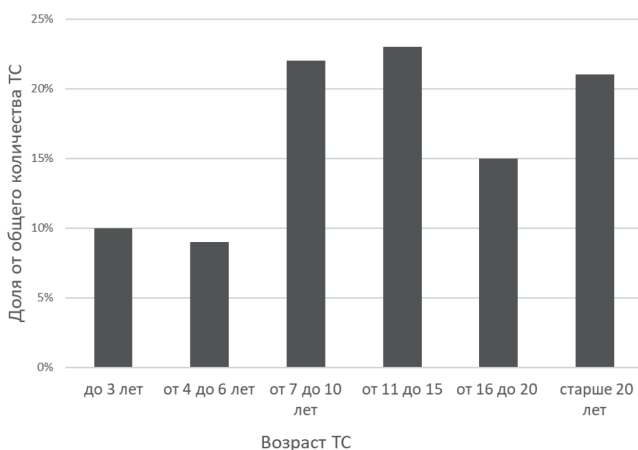


Рис. 2.35. Диаграмма соотношения количества автомобилей разного возраста, зарегистрированных на территории Российской Федерации

Техническое состояние АТС, движущихся в транспортном потоке, оказывает серьезное влияние на показатели эффективности функционирования всей транспортной системы города.

2.3.1.2. Анализ подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования

По данным ГИБДД, представленным в 2020 г., на территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города

¹⁵ <https://www.autostat.ru/infographics/47787/>.

Перми зарегистрировано 2420 автобусов. Количество используемого на территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми общественного транспорта представлено в табл. 2.15.

Таблица 2.15

Парк транспортных средств, используемых на маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2018	2019	2020
Общее количество единиц подвижного состава общественного транспорта	1464	1493	1453	1498	1524	1493	1346	1065	922	833
Трамвая	222	219	223	221	209	198	193	151	88	88
Троллейбуса	131	129	130	127	120	113	126	105	–	–
Автобуса	1111	1145	1100	1150	1195	1182	1027	809	834	745

По состоянию на 2019 год средний возраст используемых средств общественного транспорта превышал средний возраст всех зарегистрированных транспортных средств почти на 10 лет. Нестабильность и неудовлетворительное состояние общественного транспорта стимулировали пассажиров пересаживаться на легковые автомобили. В последние годы произошло стремительное обновление парка подвижного состава, работающего на маршрутах регулярных перевозок. Так, по состоянию на конец 2020 года средний возраст подвижного состава составляет 4 года. Аналогично повысился экологический класс подвижного состава, с менее 2 в 2010 году он вырос до 3,1 к 2018 году и до 4,6 в 2020.

2.3.1.3. Техническое состояние и динамика развития улично-дорожной сети

Основой дорожно-транспортного комплекса городов является улично-дорожная сеть города. Требуются надежные источники информации об основных технических характеристиках УДС, а также инструментальные способы формализации этой информации. Чтобы более полно охарактеризовать ситуацию с загрязнением автотранспортом атмосферы города, рассмотрим современное состояние

УДС российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

Состояние улично-дорожной сети предлагается оценивать по следующим показателям:

- протяженность улично-дорожной сети и её элементы различного назначения;
- средняя плотность дорог в различных частях города;
- пропускная способность участков сети, различные системы транспорта;
- основные технические характеристики элементов сети, заданные эксплуатационные ограничения.

Общая протяженность улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми составляет около 1269,8 км. На рис. 2.36 приведена диаграмма изменения протяженности улично-дорожной сети с 2001 по 2020 г.



Рис. 2.36. Изменения протяженности улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми с 2001 по 2020 г.

По данным управления внешнего благоустройства администрации города Перми, площадь автомобильных улиц и дорог по категориям изменялась с 2001 по 2020 г. следующим образом (табл. 2.16).

Категории участков дорог и улиц в городе определяют исходя из уровня содержания. На диаграмме (рис. 2.37) отражено процентное соотношение разных категорий автомобильных дорог в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

Таблица 2.16

Площадь дорог по содержанию в 2001, 2006, 2010 и 2020 гг.

Категории	2001 г.		2006 г.		2010 г.		2020 г.	
	Площадь, тыс. м ²	Процент Категории от общей площади	Площадь, тыс. м ²	Процент Категории от общей площади	Площадь, тыс. м ²	Процент Категории от общей площади	Площадь, тыс. м ²	Процент Категории от общей площади
I	287,46	4	652,36	6,9	1021,505	10,7	1468,665	15,1
II	1286,6	18	1986,98	21,0	1913,291	20,1	2012,687	20,7
III	4601,1	64,7	4260,26	45,1	3700,975	38,9	3239,695	33,3
IV	941,35	13,2	2544,41	26,9	2885,577	30,3	3018,493	31,0

В российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми ситуацию с протяженностью автомобильных дорог нельзя назвать критической. Средняя плотность улично-дорожной сети на всей площади города (799,68 км²) составляет 1,59 км на км², без учета площади городских лесов и водных объектов этот показатель равен 3,1 км на км², тогда как оптимальной величиной считается значение 2,2 – 2,4 км на км².

Значит, можно сделать вывод о том, что уменьшения нагрузки автотранспорта на экологию города необходимо добиваться путем правильной организации дорожного движения.

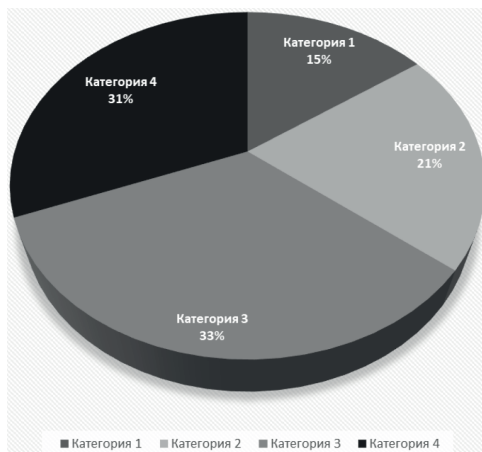


Рис. 2.37. Процентное содержание разных категорий автомобильных дорог в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми по состоянию на 2020 г.

2.3.2. Анализ режимов работы улично-дорожной сети города с использованием современных геоинформационных систем

В качестве основы для проведения анализа режимов работы УДС крупных городов использованы данные экспериментальных исследований параметров транспортных потоков, собранных на УДС российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в 2001-2020 гг.

Под режимами работы УДС в нашем случае будем понимать совокупность всех формализуемых параметров, описывающих состояние транспортного потока во времени и УДС в пространстве, влияющих в итоге по факту на показатели эффективности функционирования транспортной системы и определяющих их.

Исследуемые параметры, характеризующие состояние и условия движения на улично-дорожной сети городов, в свою очередь, зависят от целого ряда формализуемых, а также не формализуемых параметров. Они в целом образуют два класса параметров, изменяющихся:

- в пространстве;
- во времени.

Введение какой-либо классификации для параметров транспортных потоков, имеющих пространственную принадлежность, в самом общем случае сопряжено с одной существенной проблемой, а именно: далеко не всегда возможно сформулировать четкие и понятные принципы деления различных участков улично-дорожной сети на какое-то ограниченное число классов по территориальной принадлежности. Кроме того, именно на этом этапе при последующем моделировании транспортных систем городов теряется самое главное – общность подходов.

Каждый город по-своему уникален, что делает абсолютно бесперспективным попытки разработки универсальных моделей, описывающих поведение транспорта в городах. Как следствие, теряется общность, возможность масштабирования и переноса создаваемых математических моделей на другие города.

Попытки описания различных параметров, определяющих как поведение транспортных потоков, так и изменение состояния сети во времени, гораздо более успешны. Давно является бесспорным фактом то, что поведение транспортных потоков – это полное отражение состояния деловой активности населения городов. Как и в других сферах человеческой деятельности, здесь существуют спады и подъемы деловой активности, связанные, в первую очередь, с объективно существующими законами, определяющими ритм жизни человека. На самом низком уровне они определяют суточные, недельные и сезонные колебания интенсивности транспортных потоков.

Конечная прикладная задача получения функциональных зависимостей интенсивности транспортных потоков в различных циклах их колебаний – это возможность прогнозирования на всей улично-дорожной сети города в любой момент времени.

Необходимая информация для проведения анализа режимов работы УДС и разработки математических моделей, описывающих состояние сети во времени, получена из четырех основных источников:

- натурных наблюдений при помощи учетчиков;
- из районных отделов ГИБДД;
- с камер видеонаблюдения, установленных на перекрестках города;
- с GPS – навигаторов индивидуальных владельцев автомобилей с последующей обработкой треков.

В качестве основных характеристик элементов УДС города использованы данные о геометрических параметрах сети и некоторых средствах регулирования (в том числе и технических) дорожного движения.

Кроме основных параметров, определяющих эффективность функционирования транспортной системы города (интенсивности, структуре и скорости транспортного потока), проанализировано влияние ряда дополнительных параметров, влияющих на параметры функционирования всей транспортной системы. К дополнительным предлагается отнести параметры, характеризующие:

- УДС: величину продольного профиля участков дорог (перегонов);
- транспортный поток: загрузку транспортных средств; величину задержек транспортного потока; ездовые циклы различных групп АТС в потоке.

Регистрацию параметров транспортных потоков выполняли одновременно на 247 перекрестках города (811 перегонов улично-дорожной сети города) в течение 13 часов – с 7:00 до 20:00. В качестве основного инструмента для обработки и анализа собранной информации выбрана геоинформационная система (ГИС) «Вега». Информация о параметрах транспортных потоков занесена в базу данных и затем при помощи ГИС «Вега» привязана к электронному плану города. ГИС подразумевает наличие основы – цифровой карты территории, к которой привязана информация, содержащаяся в базах данных. ГИС хранит информацию о городе и его УДС в виде набора тематических слоев, объединенных на основе географических координат.

Собранная информация позволила:

- в целом оценить состояние и условия движения на улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми;
- спрогнозировать ситуацию с дорожным движением в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми на ближайшую перспективу;
- получить ряд качественных и количественных показателей, характеризующих эффективность функционирования УДС и влияние автомобильного транспорта на загрязнение атмосферы города.

Детально методика сбора и анализа информации о режимах работы УДС российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми изложена в специальной литературе [4,126].

Система мониторинга состояния и условий функционирования транспортной системы города, кроме своей самостоятельной ценности, является необходимым звеном в построении транспортных моделей городов.

На заключительном этапе – калибровке транспортной модели – производится сопоставление натуральных и статистически установленных параметров функционирования транспортной системы с расчетными параметрами, появившимися в результате моделирования.

Ценность информации, получаемой в результате мероприятий по мониторингу, определяется не столько возможностью прогнозировать ее во времени, сколько тем, насколько адекватной в последующем будет созданная на основе этой информации (после процедуры калибровки) прогнозная транспортная модель города.

2.3.2.1. Анализ общего роста интенсивности дорожного движения на УДС города

Анализ общего роста интенсивности дорожного движения на УДС выполнен по результатам обследований характеристик транспортных потоков (ТП), проводимых с 2013 по 2020 гг.

При проведении анализа под *транспортным потоком* будем понимать совокупность всех АТС, находящихся на проезжей части определённого участка УДС.

Под *структурой* ТП будем понимать марочный состав потока, то есть долю автомобилей каждой марки и модели в общем количестве АТС, составляющих ТП.

Интенсивность транспортного потока определяется количеством АТС, проследовавшим по перегону за определённый промежуток времени. Под *перегоном* понимается часть дороги, ограниченная с обеих сторон перекрестками, по которой осуществляется движение автомобилей в одну сторону [4].

По результатам обследования был проведен сравнительный анализ прироста интенсивностей в 2020 году относительно 2019, 2016 и 2013 годов. Анализ проводился отдельно для каждой части города, а также в целом по городу.

В таблице 2.17 представлены значения интенсивностей в 2013, 2016, 2019, 2020 годах на перекрестках, входящих в состав центрального городского ядра.

Таблица 2.17

**Интенсивности транспортных потоков
на перекрестках центрального городского ядра**

Перекресток	Утренний час пик (8:30 – 9:30)				Вечерний час пик (18:00-19:00)			
	2013	2016	2019	2020	2013	2016	2019	2020
Сибирская – Ленина	1362	1098	1242	1131	1308	1146	1194	1113
25-го Октября – Ленина	1618	666	1270	973	1760	1440	832	797
Николая Островского – Ленина	1866	1068	1152	1067	1668	1488	988	801

Таким образом, в утренний час пик количество транспорта на территории центрального городского ядра в 2020 году уменьшилось на 34% относительно 2013 года и на 13,5% относительно 2019 года, в вечерний час пик – уменьшилось на 42% относительно 2013 года, на 33,5% относительно 2016 года и 10% относительно 2019 года. Уменьшение интенсивностей в часы пик и за день может быть связано с уменьшающейся подвижностью населения вследствие пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Был проведен анализ изменения интенсивностей для отдельных перекрестков центрального городского ядра. Визуально изменение интенсивностей на данных перекрестках представлено на рисунке 2.38.

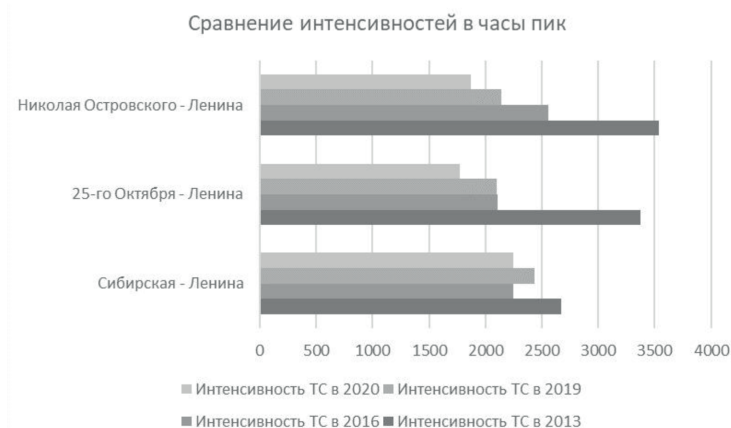


Рис. 2.38. Изменение интенсивностей на перекрестках центрального городского ядра

Из диаграммы видно, что интенсивность движения на всех исследуемых перекрестках с каждым годом снижается.

В таблице 2.18 представлены значения интенсивностей перекрестков, входящих в состав центрально-планировочного района в 2015, 2016, 2019 и 2020 годах.

Таблица 2.18

**Интенсивности транспортных потоков
на перекрестках центрально-планировочного района**

Перекресток	утро				вечер			
	2013	2016	2019	2020	2013	2016	2019	2020
Попова – Ленина	1980	1692	4587	4044	2412	2238	5088	4300
Борчанинова – Ленина			1619	1363	1428	3060	1911	1586
Крисанова – Ленина	2964	2106	2289	2725	3792	3132	2855	2669
Плеханова – Ленина			1184	1143	2868	3162	1124	1013
Попова – Екатерининская	1050	906			1398	966		
Куйбышева – Ленина	3066	2232	1740	1378	3780	2946	1734	1457
Комсомольский проспект – Ленина	2805	2226	3918	3726	2688	2874	3812	4380

Таким образом, в утренний час пик количество транспорта на территории центрального планировочного района по сравнению с 2013 и 2016 годом увеличилось в утренний и вечерний часы пик. В сравнении с 2019 годом интенсивность на территории центрального планировочного района уменьшилась на 5%. Уменьшение интенсивности в часы пик в 2020 году относительно 2019 года может быть так же связано с уменьшающейся подвижностью населения вследствие пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Был проведен анализ изменения интенсивностей для отдельных перекрестков центрально-планировочного района. Визуально изменение интенсивностей на данных перекрестках представлено на рисунке 2.39.

Из диаграммы видно, что интенсивность движения на отдельных перекрестках имеет разнонаправленную динамику. На части перекрестков интенсивность растет, на части – уменьшается.

В таблице 2.19 представлены значения интенсивностей на перекрестках периферийной части города в 2015, 2016, 2019 и 2020 годах.

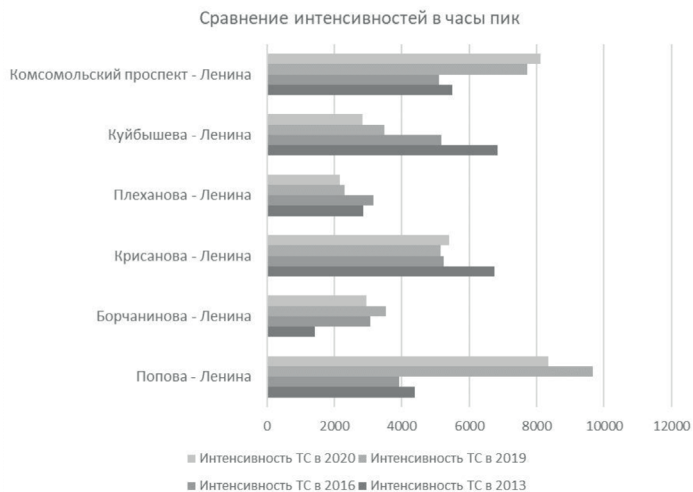


Рис. 2.39. Изменение интенсивностей на перекрестках центрально-планировочного района

Таблица 2.19

Интенсивности транспортных потоков на перекрестках периферийной части города

Перекресток	утро				вечер			
	2015	2016	2019	2020	2015	2016	2019	2020
Советской Армии – Мира	1626	1122	1349	1300	1800	1584	1465	1493
Космонавта Леонова – Архитектора Связьева	2460	1296	-	3064	3372	1770	-	3116
Космонавтов шоссе – Стахановская	3756	1404	2118	-	3978	3240	2491	-
Космонавтов шоссе – Малкова	3402	3426	2252	2304	3456	3822	3167	3180
Подлесная-Советской Армии-Шоссе Космонавтов	-	-	8762	-	2448	1800	8734	-
Героев Хасана – Чернышевского	3066	1134	3228	3123	3054	1302	3033	3186
Героев Хасана – Чкалова	3201	2790	6306	6406	3708	2286	5614	6429
Плеханова (Кронштадтская) – Космонавтов шоссе	3252	1404	4852	3844	4164	2838	3363	3681

Перекресток	утро				вечер			
	2015	2016	2019	2020	2015	2016	2019	2020
Бульвар Гагарина – Ушинского	3702	1524	2019	-	4944	3288	2949	-
Карпинского – Космонавтов шоссе	2709	2748	4118	4432	3603	3360	4067	4557
Мильчакова – Космонавтов шоссе	3696	3072	1876	1892	3714	3684	2316	2085
Восточный обход – Лядовская	2676	3276	2334	2970	3912	3468	2571	2718
Карпинского-Мира-Стахановская	5100	2418	3359	2981	5412	4194	3243	3175
Архитектора Свиязева – Карпинского	912	2268	2268	3926	1302	2580	2298	4347
Братьев Игнатовых – Мира	4344	2370	2263	22290	2700	2832	2263	2427
Промышленная – Оверятская – Космонавтов шоссе	5316	3762	4869	6087	5874	4938	5331	6228
Бульвар Гагарина – Старцева	5010	5922	5370	6450	6174	7248	6408	8382

Таким образом, в утренний час пик количество транспорта на территории на перекрестках периферийной части города увеличилось в утренний и вечерний часы пик. В утренний час пик интенсивность в 2020 году увеличилась на 8% относительно 2013 года, на 32,6% относительно 2016 года и на 7,7% относительно 2019 года. В вечерний час пик интенсивность в 2020 году увеличилась на 6% относительно 2013 года, на 16,8% относительно 2016 года и на 14,3% относительно 2019 года.

Был проведен анализ изменения интенсивностей для отдельных перекрестков периферийной части города. Визуально изменение интенсивностей на данных перекрестках представлено на рисунке 2.40.

Из диаграммы можно увидеть, что на наиболее нагруженных перекрестках интенсивность год от года увеличивается.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что в центральной части города наблюдается тенденция к уменьшению интенсивностей транспортных потоков, в периферийной части города – тенденция к увеличению транспортных потоков. Данные тенденции можно объяснить несколькими факторами. Так, происходит уменьшение объемов транзитного движения через центральную

часть города. Кроме того, изменяется транспортное поведение людей вследствие пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. В частности, часть работников переведена в режим удаленной работы, что приводит к уменьшению доли трудовых корреспонденций, которые составляли значительную часть объема транспортного спроса в центральной части города.

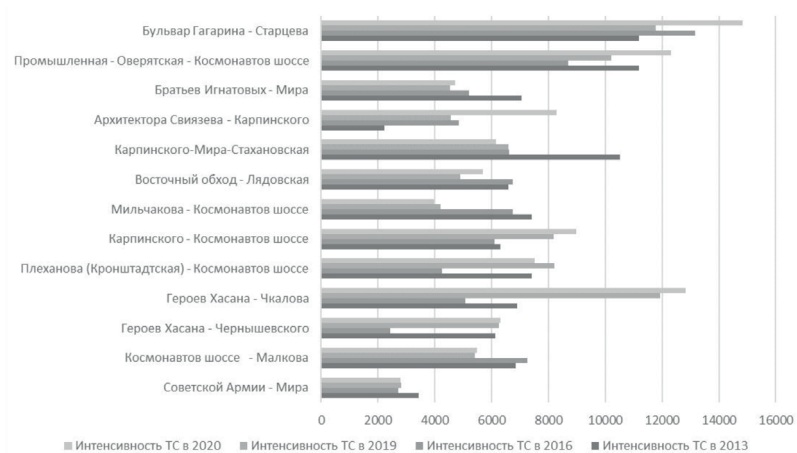


Рис. 2.40. Изменение интенсивностей на перекрестках периферийной части города

2.3.2.2 Динамика изменения пиковой интенсивности транспортных потоков

Исходными данными для определения времени максимальной часовой интенсивности транспортных потоков (часа пик) являются данные об интенсивности транспортных потоков, следующих по исследуемому участку улично-дорожной сети города в течение всего дня (с 07:00 до 20:00). Сбор и фиксация исходных данных осуществляется в каждый получасовой интервал в течение дня.

Для последующего анализа получаемых исходных данных строится функция дневной неравномерности, которая аппроксимируется полиномиальной линией тренда $y = f(x)$. При этом в полученном уравнении x принимает значения в интервале от 7 до 20, что соответствует моменту времени в часах, в который оценивается интенсивность транспортных потоков. Данные об интенсивности транспортных потоков фиксируются по оси y и измеряются в получасовых интервалах.

Для анализа степени загруженности участков сети использует-ся понятие час пик. Час пик – это часовой интервал времени буднего дня, в течение которого наблюдается максимальная интенсивность транспортных потоков на исследуемом перегоне улично-дорожной сети (группе перегонов) [17].

Начало часа пик – t (в часах) для функции $y = f(x)$ находится из соотношения:

$$p(t) = \max \int_t^{t+1} f(x) dx = \max \left[\int_0^{t+1} f(x) dx - \int_0^t f(x) dx \right] \quad (2.33)$$

где

t – время начала часа пик, час;

$t + 1$ – время конца часа пик, час;

$p(t)$ – максимальное значение часовой интенсивности в дневном интервале, ТС (транспортных средств);

x – переменная, по которой проводится интегрирование полиномиальной функции $y = f(x)$, соответствует временному параметру, час (от 7 до 20);

$f(x)$ – полиномиальная линия тренда, полученная в результате аппроксимации исходных данных об интенсивности транспортных потоков, ТС.

Первым шагом вычисляется интеграл

$$\int_t^{t+1} f(x) dx \quad (2.34)$$

Далее необходимо продифференцировать полученное выражение по t (верхнему пределу)

$$f(t+1) - f(t) = 0 \quad (2.35)$$

После этого необходимо найти нули функции и знаки производной в каждом интервале. В точках, где производная сначала возрастала, а потом начала убывать, определяется максимум функции – эти точки и будут являться началом часа пик [1].

Описанные теоретические подходы будут применяться для расчета часов пик для различных районов российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми для 2001, 2006, 2013, 2014, 2015, 2017, 2019, 2020 гг. наблюдений.

Структура анализа неравномерности характеристик движения транспортных потоков по отдельным территориям российского города с населением 1 млн. жителей на примере города

Перми. Выявление закономерностей и распределения интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети города в течение дня в различных районах города необходимо для разработки схем организации и регулирования дорожного движения, моделирования ситуаций с движением транспорта в различные часы суток и прогнозирования условий дорожного движения [1-4].

Для этих целей российский город с населением 1 млн. жителей на примере города Перми был поделен на три территории:

1. Центральное городское ядро – ограничено улицами: Комсомольский проспект, ул. Пушкина, ул. Островского и ул. Окулова.

2. Центральнo планировочный район – ограничен дамбами, реками и железнодорожными путями, проходит по границам улиц: Окулова, Пушкина, Куйбышева, Белинского, Островского.

3. Периферийные районы – оставшаяся часть города.

Графически разделение территории города приведено на рисунке 2.41 (рис. 2.41).

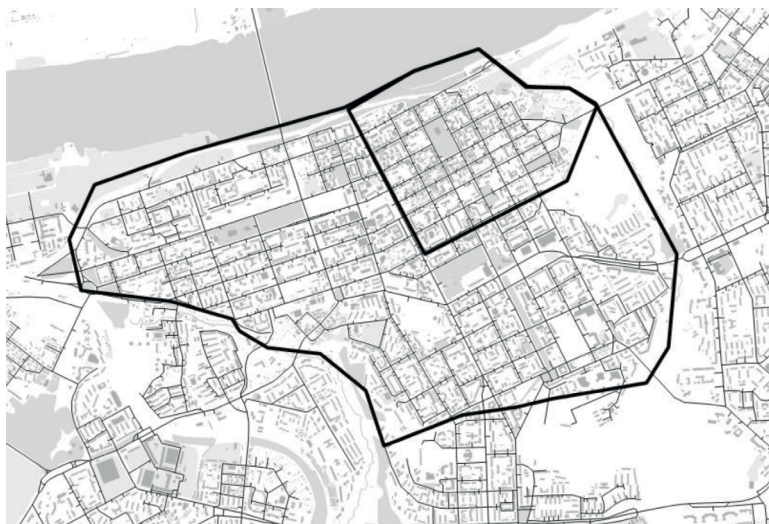


Рис. 2.41. Картограмма территориального разделения российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Далее был проведен анализ дневных неравномерностей отдельно для каждой территории.

Центральное городское ядро российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

На перегонах центральной части города следует отметить высокую насыщенность автомобильных потоков в период с 8:00 до 20:00, не наблюдается ярко выраженных спадов и пиков интенсивности потоков транспорта.

Рассмотрим суточные колебания интенсивности за 2020 год, усредненные по всем перегонам центральной части города для разных временных срезов.

Динамика суточной интенсивности наилучшим образом описывается полиномиальной линией тренда пятой степени в соответствии с уравнением (2.36). Коэффициент детерминации при аппроксимации кривой составляет 0,8529:

$$y = 0,0435x^5 - 2,966x^4 + 78,915x^3 - 1024,4x^2 + 6490,5x - 15813, \quad (2.36)$$

где y – количество транспортных средств, проходящих через перегон за 30 мин; x – время обследования.

Для анализа степени загруженности участков сети будем использовать понятие «час пик» – часовой интервал времени, в течение которого наблюдается максимальная интенсивность на данном перегоне (группе перегонов) улично-дорожной сети. Анализ графика показывает, что поток транспорта, проходящий в течение часа пик, составляет 9,77% от дневного потока.

Одним из показателей, характеризующих транспортные потоки – коэффициент суточной неравномерности для суммарного потока – соотношение (2.37). Он представляет собой отношение максимального часового потока к среднему часовому потоку:

$$K_H^{sym} = \frac{P_{max}^{sym}}{P_{cp}^{sym}} \quad (2.37)$$

где P_{max}^{sym} – максимальный часовой поток транспорта в сутки, авт./ч;

P_{cp}^{sym} – средний часовой поток транспорта в сутки, авт./ч.

Для перегонов центральной части города эта величина составляет 1,17. На наш взгляд, неравномерность незначительна, в дневное время использование улично-дорожной сети в центральных районах города практически постоянно, так как поездки делового характера совершаются в рабочее время.

Еще одним показателем, характеризующим транспортные потоки, является коэффициент неравномерности движения по направлениям. Он вычисляется для каждого перегона, как частное от деления

интенсивности движения в одном направлении к интенсивности движения в противоположном направлении, и затем усредняется для всего района:

$$K_{напр}^{cp} = \frac{P_{пр.напр}^{cp}}{P_{обр.напр}^{cp}} \quad (2.38)$$

где $P_{пр.напр}^{cp}$ – средний часовой поток транспорта в прямом направлении, авт./ч.; $P_{обр.напр}^{cp}$ – средний часовой поток транспорта в обратном направлении, авт./ч.

На перегонах центрального городского ядра этот коэффициент близок к 1, что свидетельствует о равномерности загрузки улично-дорожной сети по направлениям. Объясняется это тем, что деловая активность населения равномерно распределена по центральной части города.

Рассмотрим изменение времени начала часов пик в центральной части города по годам. На рисунке 2.42 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в Центральном городском ядре за период с 2013 по 2020 год [8, с. 702-703].

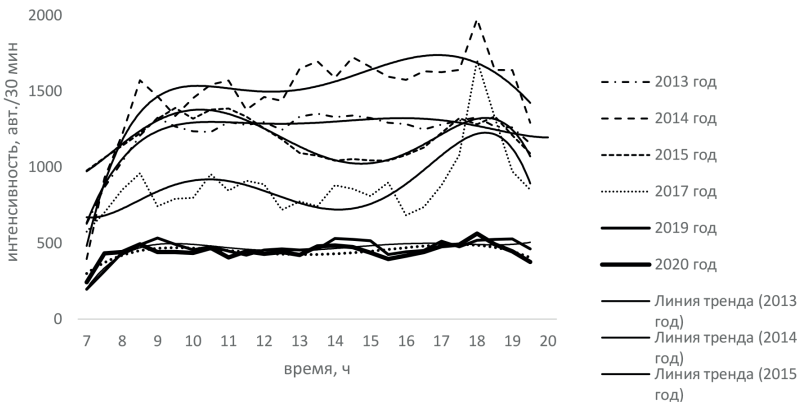


Рис. 2.42. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в Центральном городском ядре в 2013-2020 гг.

На графике «2013 год – 2020 год» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2013 год) – Линия тренда (2020 год)» – полиномиальные линии тренда пятой степени в различные временные периоды.

Проведенные вычисления по нахождению часового интервала времени, в течение которого наблюдается максимальная интенсивность транспортных потоков, в Центральном городском ядре в утреннее время и вечернее время для обследований в 2001-2020 г.г. приведены в таблице 2.20 (табл. 2.20).

Таблица 2.20

Часы пик для Центрального городского ядра

Год	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019	2020
Утренний час пик	10:41-11:41	12:21-13:21	10:33-11:33	10:10-11:10	9:01-10:01	8:49-9:49	9:41-10:41	9:10-10:10
Вечерний час пик	16:36-17:36	16:26-17:26	16:34-17:34	16:50-17:50	17:48-18:48	17:46-18:46	17:30-18:30	17:21-18:21

Из таблицы 2.20 видно, что в утреннее время в последние несколько лет час пик в Центральном городском ядре возникает все более в ранние сроки. Интенсивность движения в Центральном городском ядре в течение дня не имеет явно выраженных пиковых нагрузок. Так, пиковыми часами в 2001-2013 гг. являются дневные часы с 10:33 до 12:21 в первой половине дня и с 16:26 до 16:36 во второй половине дня. С 2014 года по 2019 год пиковые часы в Центральном городском ядре стали более выраженными в утренний период с 8:49 до 9:41, а вечерний час пик с 16:50 до 17:48.

Центрально-планировочный район российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

В час пик в среднем по всем перегонам данной группы проходит 8,87 % от дневного потока автомобилей. Коэффициент суточной неравномерности (2.37) составляет 1,25.

На магистралях коэффициент неравномерности движения транспорта по направлениям колеблется в пределах 1,09–1,23 (большее значение соответствует утреннему и вечернему времени) и составляет в среднем 1,15.

Таким образом, на этой группе перегонов, также как и на перегонах центрального городского ядра, наблюдается примерно одинаковая степень загруженности дорог в обоих направлениях, хотя и в меньшей степени, чем в центральном городском ядре. Это можно объяснить движением транспортного потока к центру города в начале рабочего дня и его оттоком к периферии – в конце.

Рассмотрим изменение времени начала часов пик в центрально-планировочном районе города по годам. На рисунке 2.43 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в Центрально-планировочном районе за период с 2013 по 2020 год.

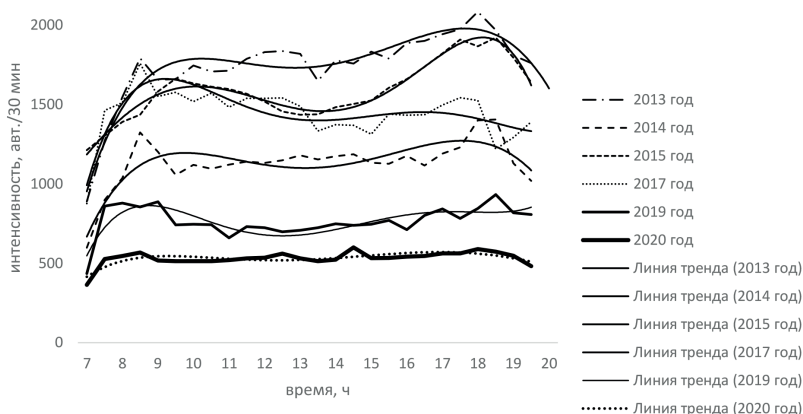


Рис. 2.43. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в Центрально-планировочном районе в 2013-2020 гг.

На графике «2013 год – 2020 год» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2013 год) – Линия тренда (2020 год)» – полиномиальные линии тренда пятой степени в различные временные периоды.

Данные о часах пик для 2001-2020 гг. приведены в таблице 2.21 (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Часы пик для Центрально-планировочного района

Год	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019	2020
Утренний час пик	9:48-10:48	9:34-10:34	9:55-10:55	9:26-10:26	9:01-10:01	9:08-10:08	8:40-9:40	8:49-9:49
Вечерний час пик	17:33-18:33	17:21-18:21	17:11-18:11	17:07-18:07	17:34-18:34	17:02-18:02	17:37-18:37	16:42-17:42

Из таблицы 2.21 видно, что за последние пять лет в утреннее время час пик в Центрально-планировочном районе наступает в бо-

лее ранний срок, чем в Центральном городском ядре (исключение составил 2013 и 2017 год). В вечернее время час пик в Центрально-планировочном районе начинается позже, чем в Центральном городском ядре. Можно отметить, что активность в Центрально-планировочном районе в 2020 году начинается в 8:49 и заканчивается в 17:42, что связано с деловой активностью населения.

Периферийная часть российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

В среднем в час пик по перегонам периферийных районов проходит 10,7 % от дневного потока.

Коэффициент суточной неравномерности составляет 1,25, а неравномерности по направлениям движения – 1,15. Такой характер колебаний интенсивности транспортных потоков указывает на рабочий характер поездок: в утреннее время поток направляется из спального района к центральной части города, а вечером – возвращается.

На рисунке 2.44 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в периферийной части российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

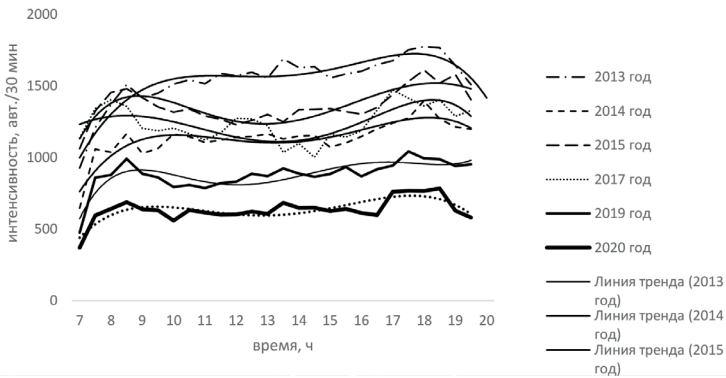


Рис. 2.44. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в периферийной части российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в 2013-2020 гг.

На графике «2001 год – 2020 год» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2001 год) – Линия тренда (2020 год)» – полиномиальные линии тренда пятой степени в различные временные периоды.

Данные о часах пик для 2001-2020 гг. приведены в таблице 2.22 (табл. 2.22).

Таблица 2.22

Часы пик для периферийной части города

Год	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019	2020
Утренний час пик	9:09-10:09	9:26-10:26	10:31-11:31	9:37-10:37	8:47-9:47	7:58-8:58	9:12-10:12	8:54-9:54
Вечерний час пик	17:47-18:47	17:24-18:24	17:07-18:07	17:38-18:38	17:50-18:50	17:46-18:46	17:29-18:29	16:55-17:55

Из таблицы 2.22 видно, что для периферийной части города явно выраженного тренда к смещению часа пик в период с 2001 по 2020 гг. не выявлено. В утреннее время в среднем начало часа пик наблюдается в период с 7:58 до 10:31, в вечернее время – в период с 17:07 до 18:50 [12,17].

В целом по российскому городу с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. На рисунке 2.45 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в целом по российскому городу с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

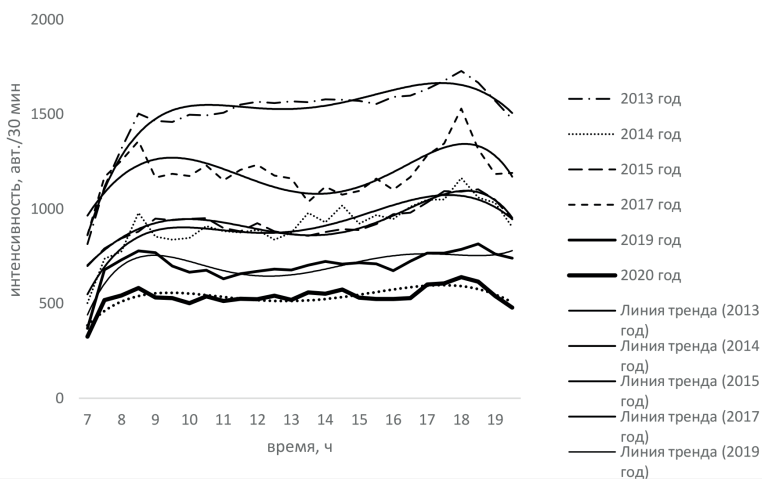


Рис. 2.45. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в целом по российскому городу с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в 2011-2020 гг.

На графике «2001 год – 2020 год» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2001 год) – Линия тренда (2020 год)» – полиномиальные линии тренда пятой степени в различные временные периоды.

Данные о часах пик для 2001-2020 гг. приведены в таблице 2.23 (табл. 2.23) и на рис. 2.46 (рис. 2.46).

Таблица 2.23

Часы пик для города в целом

Год	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019	2020
Утренний час пик	10:02-11:02	10:22-11:22	10:17-11:17	9:37-10:37	9:01-10:01	8:46-9:46	9:06-10:06	8:59-9:59
Вечерний час пик	17:14-18:14	17:13-18:13	17:03-18:03	17:12-18:12	17:35-18:35	17:32-18:32	17:33-18:33	17:32-18:32

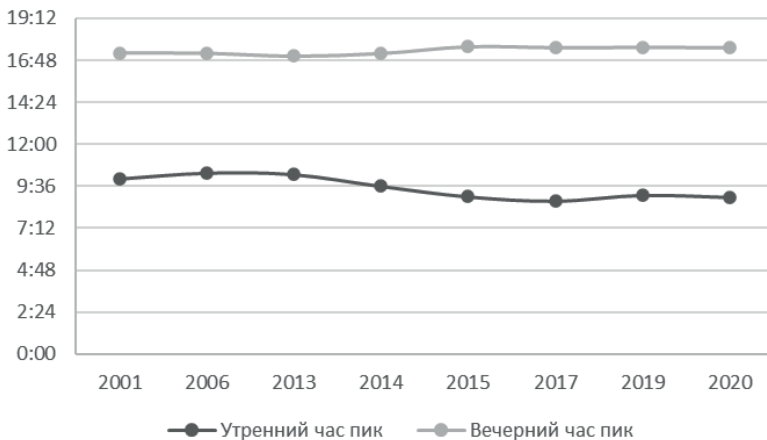


Рис. 2.46. График изменения начала «часов пик» в целом по российскому городу с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в 2001-2020 гг.

Из таблицы 2.23 и рисунка 2.46 видно, что за последние пять лет утренний час пик наступает все раньше; вечерний час пик за последние пять лет с каждым годом сдвигается на более позднее время.

Таким образом, с каждым годом все больше увеличивается промежуток времени, в течение которого люди заняты активной деятельностью, вовлечены в трудовые отношения и в полной мере реализуют при помощи транспорта свои объективно обусловленные транспортные потребности. С точки зрения функционирования го-

родской транспортной системы это означает, что с каждым годом повышается эффективность функционирования улично-дорожной сети, так как промежуток времени, в течение которого она максимально используется, постоянно увеличивается. Это соответствует общемировым тенденциям изменения структуры экономики, роста производительности труда и вовлечения все большего количества людей из сферы материального производства в сферу обработки информации, которая нагружает транспортную систему все в более длительный промежуток времени между утренним и вечерним часом пик. Следует ожидать продолжения подобных тенденций при планировании транспортной системы крупных российских городов с населением 1 млн. жителей.

2.3.2.3. Структурный анализ транспортного потока

Для получения наиболее полной картины режимов работы дорожно-транспортного комплекса города необходимо провести анализ структуры наблюдаемых транспортных потоков. Данные о процентном содержании различных типов транспортных средств в общем потоке, дополненные информацией об их загруженности, могут позволить точнее оценить объемы транспортной работы в системе.

На перегонах центральной части города потоки достаточно однородны. По данным 2020 г., удельный вес грузовых автомобилей в потоке составляет 3,19%, в 2010 г. доля грузовых автомобилей была около 3,5% от всего транспортного потока, в 2001 г. доля грузового потока составляла 7%. Снижение процентного содержания грузовых автомобилей в общем потоке произошло из-за увеличения использования индивидуального транспорта.

Доля общественного транспорта в транспортном потоке по центральным улицам в процентах составляет в среднем 5,75% от суммарного потока. Доля общественного транспорта в среднем по всем перегонам в суммарном потоке по данным 2010 г составляла 6,2 %. По этому показателю также наблюдается тенденция к снижению с 2001 г., когда процент общественного транспорта в общем потоке составлял 7,34%. Снижение доли общественного транспорта в потоке напрямую коррелирует со ежегодным снижением пассажиропотока общественного транспорта.

Грузовая составляющая транспортного потока на перегонах в зоне, прилегающей к городскому центру (зона В), по данным 2020 г. составляет 7,53%. В 2010 г. доля грузового транспорта в зоне, приле-

гающей к городскому центру, составляла в среднем 7,79% от общего транспортного потока, по сравнению с 2001 г., когда этот показатель был 9,39 %. Как и на центральных улицах, заметно снижение доли грузового транспорта в общем потоке.

По данным 2010 г., автомагистрали, являющиеся продолжением внешних автомобильных дорог (въезды в город), характеризовались относительно высоким уровнем грузовой составляющей – около 15 % от общего потока и невысокой составляющей общественного транспорта – в среднем около 4,5 %. В 2001 г. фиксировались соизмеримые показатели: соответственно 17 и 5,5%. В 2020 году продолжилась тенденция снижения доли грузового и общественного транспорта в общем транспортном потоке. По данным 2020 г., доли грузового и общественного транспорта на въездах в город составили, соответственно, 7,89% и 4,31%.

2.3.2.4. Недельные колебания интенсивности транспортных потоков

В результате проведенных исследований по каждому классу перегонов были выявлены некоторые закономерности в недельных колебаниях для различных групп магистралей города.

После построения функциональных зависимостей интенсивностей движения от времени (день недели) оказалось:

- среди перекрестков центральных районов города (зоны А и В) идентичными (одинаковыми) были зависимости для разных перекрестков, разных направлений движения транспортных потоков;
- среди перекрестков периферийных (спальных) районов (зона С) идентичными оказались зависимости интенсивности движения на разных перекрестках в разное время суток;
- среди перекрестков дорог въезда в город и выезда из города идентичными оказались зависимости интенсивности движения на разных перекрестках, а на направлениях выезда из города идентичными оказались зависимости интенсивности движения на разных перекрестках и интенсивности движения в разное время суток.

Наблюдения, для которых зависимости интенсивности транспортных потоков идентичны, будем считать однородными, выборка составляет 18 наблюдений.

Затем определяем средние значения идентичных зависимостей интенсивности и строим их объединенные графики недельных колебаний.

Расчет и получение коэффициентов пересчета суточной интенсивности транспортных потоков для назначенных групп участков улично-дорожной сети. Для получения прогнозных значений недельных колебаний интенсивности транспортных потоков для всей улично-дорожной сети необходимо значения параметров суточной интенсивности транспортного потока каждого перекрестка умножить на переводные коэффициенты.

Переводные коэффициенты определяем следующим образом:

1. Находим расчетные значения среднесуточной интенсивности транспортных потоков, полученные из уравнения тренда, построенного по объединенным графикам недельной интенсивности одного типа транспортных средств. Для этого в уравнение линии тренда поочередно подставляем в качестве аргумента численные значения, определяющие каждый из дней недели (1- понедельник; 2- вторник и т.д.).

Для каждого объединенного графика строим матрицу переводных коэффициентов. По горизонтали располагаются дни недели, в которые проводили замер суточной интенсивности данного перекрестка, по вертикали – дни недели, в которых нужно получить результат. Ячейки матрицы заполняются значениями переводных коэффициентов. Для этого необходимо найти отношение интенсивности транспортного потока в нужный день недели к интенсивности транспортного потока в замеренный день недели.

Чтобы найти суточную интенсивность транспортного потока в первой половине дня понедельника у перекрестка, суточная интенсивность которого обследована в четверг, надо каждый замер суточной интенсивности в первой половине дня умножить на соответствующий переводной коэффициент. Графики изменения интенсивностей транспортных потоков по дням недели и матрицы переводных коэффициентов для разных групп перегонов приведены.

Используя матрицы переводных коэффициентов и данные по интенсивности транспортных потоков за один день недели, можно с достаточной точностью определить интенсивность в любой день недели.

2.3.2.5. Анализ скоростных параметров транспортных потоков

Характерной чертой развития процесса дорожного движения является стремление осуществлять передвижение с возможно более высокой скоростью. Скорость представляет собой одно из важней-

ших качеств дорожного движения, определяющих его эффективность. Скорость транспортного потока – это наиболее важная характеристика для анализа режимов работы УДС, используемая для определения плотности транспортного потока.

Средняя плотность транспортных потоков на перегоне определяется отношением средней, суммарной по всем видам транспорта, интенсивности к средней скорости этого потока, а их максимальная плотность – отношением максимальной, суммарной по всем видам транспорта, интенсивности к средней скорости этого потока.

Плотностью транспортного потока оценивают степень использования пропускной способности дороги и в зависимости от этого определяют, исчерпала ли дорога свою расчетную пропускную способность или нет.

В соответствии с требованиями Приказа Министерства транспорта РФ от 18 апреля 2019 г. № 114 «Об утверждении Порядка мониторинга дорожного движения», ежегодно необходимо проводить обследование дорожного движения, в том числе обследование скоростных параметров транспортных потоков. Анализ скоростных потоков, согласно требованиям Приказа, следует проводить с применением контрольных транспортных средств, оборудованных ГЛОНАСС/GPS приборами, записывающими треки поездок. Такие замеры производятся для разных временных периодов суток. После проезда контрольных транспортных средств в результате обработки сигналов ГЛОНАСС/GPS определяется средняя скорость движения транспортных средств на обследуемой сети дорог в течение каждого из временных периодов.

По данным отчета о выполнении Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы» за 2010-2019 гг. одним из показателей выполнения Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы» является средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик (табл. 2.24). За период с 2010 по 2019 гг. средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик выросла на 64,7% с 17 км/ч до 28 км/ч. Наибольший рост средней скорости транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик наблюдался в 2014 году, в этом году средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик увеличилась резко на 26,2% с 21 км/ч до 26,5 км/ч. В 2015 году напротив средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утрен-

ние и вечерние часы пик снизилась на 9,4% до 24 км/ч. В последующие годы с 2015 г по 2019 г. средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик постепенно возрастала на один-два км/ч ежегодно до 28 км/ч. В 2020 году по данным отчета о выполнении Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы» средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик составляет 31 км/ч.

Таблица 2.24

Значение средней скорости транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик в 2010-2020 гг.

Показатель/ Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Средняя скорость транспортных средств на вылетных магистралях в утренние и вечерние часы пик, км/ч	17	17	17	21	26,5	24	26	27	27	28	31

В марте 2021 года в сети Интернет был проведен опрос автолюбителей города Москвы. Опрос проводился среди пользователей социальных сетей. Выборка составила 200 человек, возраст опрошенных от 18 до 76 лет. Респондентам был задан вопрос о том, какая средняя скорость движения по городу Москве в течение дня по данным бортового компьютера их автомобиля. На основании ответов респондентов, средняя скорость передвижения на автомобиле по городу Москве в марте 2021 года составила 26,88 км/ч.

Получаемые в результате выполнения программы мониторинга скоростные параметры транспортных потоков также служат исходными данными для калибровки транспортных моделей городов.

Сопоставление расчетных и натурных данных о скорости транспортных потоков позволяет уточнять заданные величины пропуск-

ной способности отдельных элементов УДС города, а также отдельные параметры функций сопротивлений участков сети, перекрестков и отдельных маневров на перекрестках.

2.3.2.6. Анализ количества ежедневно эксплуатируемого автотранспорта

Определим количество транспортных средств, одновременно движущихся по всей улично-дорожной в дневной межпиковый период. Для этого воспользуемся соотношением (2.39):

$$S_{\text{движ}} = L \cdot Q_{\text{сред}} \quad (2.39)$$

где $S_{\text{движ}}$ – сумма всех транспортных средств, одновременно движущихся по всей улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в данный момент (автомобилей); L – протяженность улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, км; $Q_{\text{сред}}$ – плотность транспортного потока (авт./км).

Определим среднюю плотность транспортного потока:

$$Q = N/V \quad (2.40)$$

где Q – плотность транспортного потока на дороге с двумя полосами движения в одном направлении (авт./км); N – суммарная интенсивность транспортного потока по двум полосам движения (авт./ч); V – средняя скорость транспортного потока (км/ч).

Используя соотношение (2.39), можно найти сумму всех транспортных средств, одновременно движущихся по улично-дорожной сети в каждый получасовой интервал времени. Из соотношения (2.39) сумма всех транспортных средств, одновременно движущихся по УДС, находится как произведение протяженности УДС на среднюю плотность транспортного потока.

После этого определим, какой процент от общего количества зарегистрированных автомобилей одновременно движется по дорогам города. Для этого найдем отношение среднего количества движущихся ТС по всей УДС города к общему количеству зарегистрированных автомобилей.

Зная среднюю плотность транспортных потоков и критическую плотность для двухполосной в одном направлении дороги, нетрудно определить, при каком количестве ТС, находящихся на дорогах города, начнутся заторы. Эту величину определяют по формуле (2.41):

$$S_{крит} = S_{факт} \cdot \frac{q_{крит}}{q_{факт}}, \quad (2.41)$$

где: $S_{крит}$ – количество ТС, находящихся на дорогах города, при котором начнутся заторы; $S_{факт}$ – количество ТС, находящихся на дорогах города в этот день; $q_{крит}$ – критическая плотность транспортных потоков 120 авт./км; $q_{факт}$ – фактическая средняя плотность транспортных потоков на УДС города.

Плотность парковки определяется отношением:

$$q_{парк} = \frac{S_{парк}}{L_{УДС}}, \quad (2.42)$$

где: $q_{парк}$ – плотность парковки; $S_{парк}$ – сумма припаркованных автомобилей; $L_{УДС}$ – длина УДС в данном районе.

Количество ТС, припаркованных вне мест постоянного хранения не в центральной части города, определяется как:

$$S_{парк} = q_{парк} \cdot (L_{УДС} - L_{УДС}^{центр}), \quad (2.43)$$

где: $q_{парк}$ – плотность парковки; $S_{парк}$ – сумма припаркованных автомобилей; $L_{УДС}$ – длина всей УДС в городе; $L_{УДС}^{центр}$ – длина всей УДС в центральной части города.

Затем определим количество транспортных средств, одновременно двигавшихся по всей улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в дневной межпиковый период в 2020 г. Воспользуемся соотношением (2.39). По данным 2020 г. интенсивность транспортного потока по двум полосам движения в среднем составляет 16,4 авт./мин. Определим среднюю плотность транспортного потока по формуле (2.40):

$$Q = 16,4 \text{ авт. / мин} \cdot 60 \text{ мин} / 22,7 \text{ км / ч} = 43,3 \text{ авт. / км} \quad (2.44)$$

Приведем среднесуточную плотность движения по одной полосе по разным временным срезам с 2001 по 2020 гг. Данные представлены на рис. 2.47.

Используя соотношение (2.39), находим сумму всех транспортных средств, одновременно движущихся по улично-дорожной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в каждый получасовой интервал времени. Из соотношения (2.39) сумма всех транспортных средств, одновременно движущихся по УДС, находится как произведение протяженности УДС на среднюю плотность транспортного потока (43,3 ТС/км). По данным 2020 г., протяженность улично-дорожной сети российского города

с населением 1 млн. жителей на примере города Перми – 1269,8 км, соответственно количество одновременно движущихся транспортных средств будет составлять 54 982 единицы в среднем по городу.

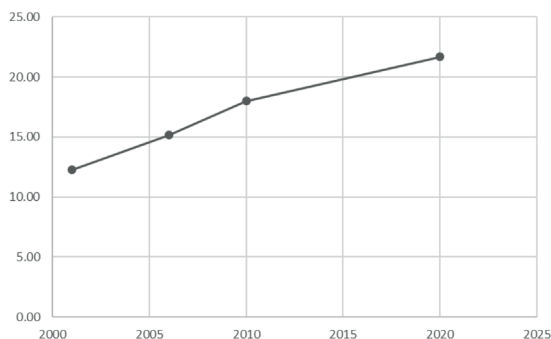


Рис. 2.47. Среднесуточная плотность движения по одной полосе, ТС/км

Сравнив этот показатель с 2001 г., когда этот параметр составлял 12 564 ТС, в 2006 – 16760 ТС, в 2010 – 31 248, можно сделать вывод о том, что количество одновременно движущихся транспортных средств на УДС российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми возросло в 1,8 раза по сравнению с 2010 г., в 3,3 раза по сравнению с 2006 г. и в 4,3 раза по сравнению с 2001 г. На рис. 2.48 приведен график изменения количества одновременно движущихся транспортных средств на УДС города по различным временным срезам.

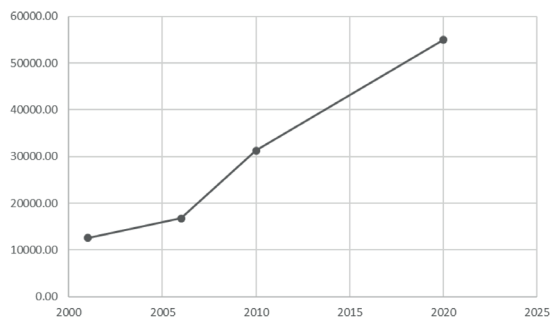


Рис. 2.48. Изменение количества одновременно движущихся транспортных средств, по данным 2001, 2006, 2010 и 2020 гг.

Определим, какой процент от общего количества автомобилей, зарегистрированных в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, одновременно движется по дорогам

города. Найдя отношение среднего количества движущихся ТС по всей УДС города (54 982 ТС) к общему количеству автомобилей, зарегистрированных в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (481,2 тыс. ТС), получим 11,4 %. Зная среднюю плотность транспортных потоков (43,3 авт./км) и критическую плотность для двухполосной в одном направлении дороги (120 авт./км), установим, при каком количестве ТС, находящихся на дорогах города, начнутся заторы. Определим значение этой величины для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми по формуле (2.41):

$$S_{крит} = 54982 \text{ авт.} \cdot (120 \text{ авт.} / \text{км}) / (43,3 \text{ авт.} / \text{км}) = 152375 \text{ авт.}$$

Количество ТС, находящихся на дорогах города, при котором начнутся заторы равно 152 375 автомобилей, что составляет 31,7% от парка зарегистрированных в городе автомобилей (481,2 тыс. ТС). Число 152 375 носит приближенный характер, и для его уточнения требуются дополнительные обследования, в частности в области определения критических плотностей транспортного потока для городских дорог разного типа.

Для определения характера пользования всем транспортом необходимо проанализировать и те ТС, которые в данный момент времени не движутся, а припаркованы вне мест постоянного хранения. В качестве исходных данных используем данные о парковке автомобилей в центральной части города (зона А) и данные об изменении количества припаркованных ТС в течение дня с получасовым интервалом. Эти упрощения были приняты исходя из трудоемкости выполнения подсчета припаркованных ТС на всей УДС города.

Произведя подсчет припаркованных автомобилей в зоне А, определили, что в 15:00 здесь были припаркованы 2 490 автомобилей. Плотность парковки для зоны А определяем по формуле (2.42):

$$q_{парк} = 2490 \text{ авт.} / 18,9 \text{ км} = 131,74 \text{ авт.} / \text{км}$$

Теперь, зная характер изменения количества припаркованного автотранспорта в зависимости от времени суток, допустим, что такой характер свойствен всей территории центральной части города (зоны А и В), и можем рассчитать, как изменяется плотность припаркованных ТС в центральной части города (зоны А и В) в зависимости от времени суток.

Зная суммарную длину улично-дорожной сети центральной части города, которая составляет 104 583,25 м, имеем возможность

определить количество ТС, припаркованных в центральной части города (зоны А и В) в каждый временной интервал. Средняя плотность парковки в центральной части города за день составляет 131,74 авт./км, а вне ее – в 7 раз меньше (в среднем 18,9 авт./км). Число 7 носит приближенный характер и требует дополнительных обследований. Учитывая, что нам известна протяженность УДС города и дорог в центральной части города, можем определить количество ТС, припаркованных вне мест постоянного хранения вне центральной части города (зоны А и В) по формуле (2.43):

$$S_{\text{парк}} = 18,9 \text{ авт./км} \cdot (1269800 \text{ м} - 104583,25 \text{ м}) / 1000 = 22023 \text{ авт.}$$

Просуммировав количество ТС, припаркованных вне мест постоянного хранения в центральной части города (зоны А и В), и количество ТС, припаркованных вне мест постоянного хранения за пределами центральной части, получим общее количество ТС, припаркованных вне мест постоянного хранения:

$$S_{\text{парк}} = 9030 \text{ авт.} + 22023 \text{ авт.} = 31053 \text{ авт.}$$

Таким образом, мы получили общее количество ТС, припаркованных вне мест постоянного хранения, которое составило 31 053 авт. или 6,5% зарегистрированных в городе автомобилей. В течение дня на улично-дорожную сеть выезжают не менее одного раза около 62 тыс. транспортных средств (18% парка зарегистрированных транспортных средств).

2.3.2.7. Анализ сезонной динамики изменения параметров движения в выбранных сечениях УДС

Сезон года косвенно влияет практически на все показатели, определяющие в той или иной степени параметры загрузки улично-дорожной сети, а значит на эффективность функционирования транспортной системы:

- скоростной режим движения автомобилей в транспортном потоке;
- тепловой режим работы автомобильных двигателей;
- загрузка транспортных средств;
- структура транспортного потока;
- интенсивность транспортного потока.

Зависимости сезонной динамики интенсивности транспортного потока были получены на основе статистических данных аппарат-

но-программных комплексов «Сова-2», установленных на трех стационарных постах ГИБДД на выездах из российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (рис. 2.49).

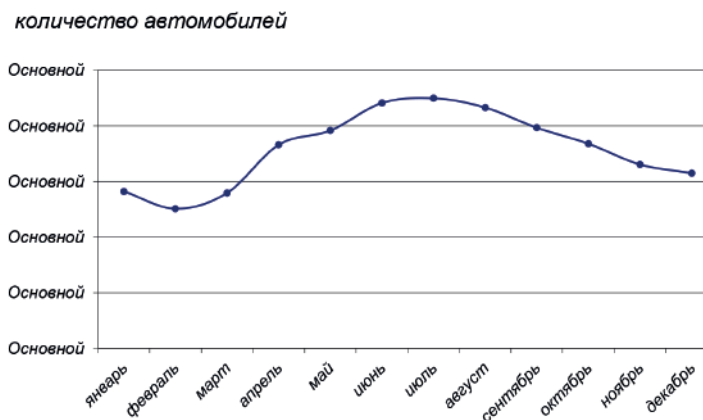


Рис. 2.49. Сезонные колебания среднесуточной интенсивности транспортных потоков на въездах в российский город с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, по данным АПК «Сова-2»

По графику видно, что суточная интенсивность транспортных потоков, начиная с сентября, падает, и в период с ноября по декабрь стабилизируется, а с марта опять наблюдается ее рост.

2.3.2.8. Анализ транспортной подвижности населения

Социологические исследования выполняются с целью оценки показателей транспортной подвижности населения. В результате проведенных социологических исследований должны быть определены следующие показатели:

- среднее количество поездок, по дням недели, часам суток;
- соотношение использования видов транспорта по дням недели, часам суток;
- соотношение целей поездок (слоев спроса) по дням недели, часам суток;
- затраты времени на поездку, в том числе по составляющим: время на подход к остановочному пункту (или к месту парковки), время ожидания прибытия транспорта, время поездки, время пересадки, время на подход от остановки (или от места парковки);
- среднее количество пересадок.

Распоряжение Минтранса России от 28.12.2016 №НА-197-р устанавливает примерную программу регулярных транспортных и транспортно-социологических обследований функционирования транспортной инфраструктуры поселений, городских округов в Российской Федерации. Распоряжение устанавливает рекомендуемую форму анкеты следующего содержания.

Данные интервьюера:

1. Место опроса
2. Дата
3. День недели

Данные о респонденте:

4. Пол: мужчина/женщина
5. Возраст, лет.
6. Социальная группа: работающий, безработный, студент, школьник, пенсионер, домохозяйка, иное.
7. Образование: начальное, неполное среднее, среднее, неполное высшее, высшее, ученая степень.
8. Сфера деятельности: (в свободной форме)
9. Число проживающих в семье, чел.
10. Наличие автомобиля в семье: да/нет
11. Количество автомобилей в семье: шт.
12. Адрес места жительства (район, улица, дом):
13. Наименование населенного пункта постоянного проживания:

14. Адрес места работы (район, улица, дом):
15. Адрес/наименование места прибытия в поселение, городской округ:

16. Расстояние от дома до места работы: __ км.

17. Способ прибытия:

18. Средние затраты времени на передвижение от места жительства до работы, мин
19. Время подъема
20. Время отхода ко сну.

Подробную характеристику перемещений респондента, включая:

1. № передвижения
2. Цель передвижения
3. Время начала передвижения
4. Адрес цели передвижения
5. Способ передвижения

6. Время окончания передвижения
7. Число пересадок
8. Затраты времени на передвижение, мин.

При отсутствии значительных факторов, влияющих на параметры транспортной подвижности населения (например, пандемия коронавирусной инфекции COVID-19 или существенное изменение экономической ситуации), рекомендуемая периодичность проведения социологических исследований – 3 года.

Социологические исследования рекомендуется проводить в форме анкетного опроса с применением квотированной выборки. Возможен сбор части анкет посредством онлайн-анкетирования, однако, при этом важно оценить соответствие полученной выборки онлайн-респондентов выделенным квотам генеральной совокупности.

Полученные в ходе социологического исследования параметры транспортной подвижности населения используются на всех этапах расчета транспортного спроса при актуализации прогнозных транспортных моделей городов. На этапе генерации транспортного спроса используются данные о среднем количестве поездок и распределении поездок по целям (слоям спроса). На основе данных показателей рассчитываются коэффициенты генерации транспортного спроса каждого транспортного района для каждого слоя спроса.

Результаты социологического исследования о распределении времени поездок по дням недели, времени суток и целям поездки используются при расчете функций предпочтения для каждого слоя транспортного спроса, характеризующих вероятность совершения поездки в зависимости от затрат на поездку. Для каждого слоя спроса на основе проведенного социологического исследования строится данная зависимость, которая далее аппроксимируется и рассчитываются коэффициенты функций предпочтения. На основе полученных параметров функций предпочтения в прогнозных транспортных моделях производится расчет матриц корреспонденций для каждого слоя спроса.

Результаты социологического исследования о распределении объемов поездок по видам транспорта и о распределении затрат на поездки по видам транспорта используются для актуализации параметров процедуры выбора режима. Происходит актуализация параметров функций предпочтения по слоям спроса и видам транспорта, рассчитываются матрицы корреспонденций по слоям спроса для каждого вида транспорта.

На этапе перераспределения транспортного спроса результаты социологического исследования о временных затратах используют

ся для актуализации функций сопротивления, характеризующих увеличение времени в пути в зависимости от загрузки с целью соответствия расчетного времени реализации корреспонденций реальным значениям.

Таким образом, социологические исследования позволяют актуализировать фундаментальную основу для расчета транспортного спроса – транспортное поведение людей. По результатам социологического исследования определяются базовые характеристики транспортного спроса: объем транспортного спроса, соотношение слоев спроса, баланс использования видов транспорта, дальность и время реализации корреспонденций, а также актуализируются определяющие соотношения, используемые при расчете транспортного спроса.

2.3.2.9. Программа мониторинга состояния и условий движения на улично-дорожной сети городов

Экономический смысл мероприятий по мониторингу состояния и условий движения на улично-дорожной сети городов предполагает использование его результатов в максимально широкой сфере применения. В связи с этим целями создания системы мониторинга транспортных потоков, кроме получения исходных данных для моделирования и прогнозирования развития ситуации с состоянием и условиями функционирования транспортной системы во времени, будут:

- разработка и внедрение макроскопических методов организации дорожного движения (организация грузового движения, одностороннего движения, зональные методы организации движения, информационное обеспечение участников движения и др.);
- разработка и уточнение поэтапных планов реконструкции и строительства новых элементов улично-дорожной сети;
- разработка и внедрение управленческих решений в сфере дорожного движения (регламентация объемов ввода объектов нового строительства, совершенствование структуры размещения мест притяжения грузовых и пассажирских перевозок, введение ограничений на транзитный транспорт, совершенствование парковочной политики, оценка потребности в автостоянках и др.);
- получение достоверных данных для прогнозирования дорожно-транспортной ситуации в городе;
- создание *системы моделирования* условий движения на улично-дорожной сети города.

Реализация указанных целей возможна с помощью системы, позволяющей предусмотреть:

- осуществление сбора показателей для трех основных элементов магистральной сети города: узлы, перегоны, магистрали в целом;
- систематизацию сбора данных по параметрам транспортных потоков с проведением натурных обследований с использованием счетчиков, применением детекторов транспорта, аэрофотосъемки, передвижной дорожной лаборатории и отчетно-статистических данных;
- перечень показателей в составе мониторинга в количестве 21 наименований;
- определение основных поставщиков и потребителей информации;
- установление для каждой организации – поставщика информации перечня показателей, единиц измерения и периодичности их представления;
- включение в мониторинг группы специальных показателей, отражающих влияние основных параметров транспортных потоков на различные сферы жизни города.

Все работы по сбору информации о параметрах ТП необходимо проводить регулярно с учетом динамически меняющейся ситуации на УДС города. Рекомендуемая периодичность проведения работ по мониторингу транспортных потоков российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, способ получения данных и список поставщиков информации по каждому показателю представлены в табл. 2.25. Представленный перечень показателей и периодичность их сбора сформированы в соответствии с требованиями Приказа Министерства транспорта РФ от 18 апреля 2019 г. № 114 «Об утверждении Порядка мониторинга дорожного движения».

Дальнейшие расчеты недостающих параметров ТП и актуализация информации основаны на замерах интенсивности и других характеристик движения автотранспорта по некоторым перекресткам города. Затем строятся интерполяционные полиномы для определения всех характеристик движения по нескольким замерам на всех остальных перекрестках по часам суток, дням недели и сезонам года.

Такой подход позволяет создать компактную базу по хранению основных параметров транспортных потоков и с минимальными затратами производить ее актуализацию на любой расчетный период.

Таблица 2.25
Периодичность проведения работ по мониторингу транспортных потоков, способ получения данных и список поставщиков информации

Показатель	Единица измерения	Метод сбора информации	Место сбора информации	Периодичность	Поставщик информации
Интенсивность движения (суточные колебания)	авт./мин	Натурные обследования с использованием счетчиков	280 узловых точек УДС города	Ежегодно	
Интенсивность движения (недельные колебания)	авт./мин	Натурные обследования с использованием счетчиков	6 узловых точек УДС города	Ежегодно	
Интенсивность движения (сезонные колебания)	авт./мин	Натурные обследования с использованием счетчиков	6 узловых точек УДС города	Ежегодно	Определяется на конкурсе
Суточная интенсивность структурированного транспортного потока (легк., груз., автоб.)	авт./мин	Натурные обследования с использованием счетчиков	280 узловых точек УДС города	Ежегодно	
Показатель перегруженности дорог	-	Натурные обследования с использованием счетчиков	280 узловых точек УДС города	Ежегодно	
Суточная интенсивность движения общественного транспорта	ед./мин	Отчетно-статистические данные	Маршруты движения	Ежегодно	Департамент транспорта

Показатель	Единица измерения	Метод сбора информации	Место сбора информации	Периодичность	Поставщик информации
Схема организации движения в узле (разрешенные направления движения)	-	Натурные обследования с использованием счетчиков и отчетно-статистические данные	Узлы и Перекрестки на УДС города	Ежегодно	Дирекция дорожного движения
Схема организации движения на перегоне (одностоянное движение, ограничение скоростного режима, стоянки и т.п.)	-	Отчетно-статистические данные	На перегонах		
Схема расстановки светофоров в узле, тип светофора	-	Отчетно-статистические данные	Узлы и регулируемые перекрестки на УДС города	Ежегодно	Определяется на конкурсе
Циклы и фазы светофорного регулирования	с	Отчетно-статистические данные	Узлы и регулируемые перекрестки на УДС города		
Средняя скорость транспортного потока (суточные колебания)	км/ч	Аэрофотосъемка, передвижные лаборатории	На перегонах, перекрестках	Ежегодно	Определяется на конкурсе
Средняя задержка транспорта	с	Передвижные лаборатории, натурные обследования с применением контрольных транспортных средств	На перегонах, перекрестках		

Показатель	Единица измерения	Метод сбора информации	Место сбора информации	Периодичность	Поставщик информации
Уровень обслуживания дорожного движения	-	Передвижные лаборатории, натурные обследования с применением контрольных транспортных средств	На перекрестках, на перекрестках	Ежегодно	
Временной индекс	-	Натурные обследования с	На перекрестках	Ежегодно	
Буферный индекс	-	Натурные обследования с использованием счетчиков	На перекрестках	Ежегодно	
Интенсивность пешеходов на пешеходных переходах	пеш./час	Натурные обследования с использованием счетчиков	На пешеходных переходах	Ежегодно	
Средняя задержка пешеходов на пешеходных переходах	с	Натурные обследования с использованием счетчиков	На пешеходных переходах	Ежегодно	
Уровень обслуживания на пешеходных переходах	-	Натурные обследования с использованием счетчиков	На пешеходных переходах	Ежегодно	Определяется на конкурсе
Количество транспортных средств, припаркованных вне мест постоянного хранения в течение дня	ед.	Натурные обследования с использованием счетчиков, аэрофотосъемка, космические снимки	УДС города	Ежегодно	
Количество транспортных средств, одновременно перемещающихся по магистралям города	ед.	Аэрофотосъемка	УДС города	Ежегодно	
Параметры транспортной подвижности населения	чел.	Проведение социологических исследований, в т.ч. в электронной форме		1 раз в 3 года	

2.4. Выводы по главе 2

В общем случае исследования транспортных систем городов необходимо оценить потенциал городской территории с точки зрения генерации транспортного спроса и потенциальных возможностей территории удовлетворить его. Способы и методики такой оценки предлагается назвать *транспортным анализом территории*. На этом этапе никак не оценивается, даже с качественных позиций, имеющееся на исследуемой территории транспортное предложение (УДС города, инфраструктура, подвижной состав), а также качество транспортного планирования и организации движения. Значимым на этом этапе исследования является оценка территориального баланса использования территории, характера поведенческой активности жителей и результатов функционирования транспортной системы посредством мониторинга условий передвижения.

Пространственный анализ различной территориально распределенной информации о городской структуре уже позволяет сделать первые выводы о потенциальных проблемах действующей транспортной системы. Это касается исследования объектов городской структуры, формирующих транспортный спрос.

Предложенные в ходе анализа универсальные подходы к оценке характера распределения элементов городской структуры, влияющих на транспортный спрос, позволяют в будущем расчетным образом формировать требуемые для создания прогнозных транспортных моделей массивы информации, касающиеся распределения транспортной подвижности населения по территории.

Наряду с закономерностями пространственного распределения объектов генерации транспортного движения существенно значимы и параметры транспортной подвижности населения, которые предложено формализовать по аналогии с городами развитых стран, прошедших уровень взрывной автомобилизации значительно раньше крупных городов России.

Кроме анализа и последующего построения характеристик транспортного спроса для создания качественных инструментов выработки управленческих решений по формированию эффективной, безопасной и устойчивой транспортной системы крупного города, необходимо создание системы мониторинга состояния и условий движения на улично-дорожной сети городов. Предложенная система мониторинга охватывает всю специфику функционирования транспортной системы города, и в дальнейшем результаты мониторинга

могут быть использованы на многих стадиях построения математических моделей транспортного спроса, транспортного предложения, их верификации и калибровки. От качества проводимого мониторинга по оценке состояния и условий движения на улично-дорожной сети напрямую зависят как адекватность создаваемых моделей, так и результаты моделирования, прогнозирования и оптимизации исследуемых процессов.

Глава 3

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ

3.1. Теоретико-прикладные основы создания прогнозных транспортных моделей городов

Методика формирования эффективной транспортной системы крупного города представляет собой набор методов, позволяющих строить математические модели функционирования транспортной системы города и на их основе давать доказательное обоснование выбранным инструментам повышения ее эффективности.

По аналогии с целями и задачами формирования эффективной транспортной системы крупного города как отдельного проекта можно выделить также несколько научных задач, представляющих собой необходимое звено в построении общей методики.

Каждая из задач сформулирована и раскрыта в виде отдельной главы. Основные научные задачи, а также последовательность их решения в построении общей методики можно сформулировать следующим образом:

- формирование подходов к анализу функционирования городских транспортных систем;
- разработка методов транспортного анализа городской территории. Мониторинг транспортной системы;
- разработка методов анализа эффективности функционирования городских транспортных систем;
- построение комплекса транспортных моделей для формирования эффективных транспортных систем городов, их решение и анализ.

Эти задачи отчасти основываются на уже известных научных подходах, которые применяются для решения локальных задач в области транспортного планирования, организации движения и в целом развития транспортных систем городов, при чем каждая из них представлена с позиции ее научного вклада в общую задачу формирования эффективной транспортной системы крупного города.

В настоящей главе особое внимание уделяется последовательному разбору создания и принципам функционирования прогнозных транспортных моделей на отдельных шагах и стадиях. В дальнейшем рассмотренная технология построения четырехшаговых прогнозных транспортных моделей будет использована в отдельных своих частях как самостоятельная основа постановки ограничений и целевой функции при создании математической модели оптимальной задачи построения эффективной транспортной системы крупного города.

В этом плане рассмотренная в настоящей главе прогнозная транспортная модель служит лишь инструментом, без которого невозможно создание математической модели оптимальной задачи. Все этапы создания и последующие шаги по верификации и оценке качества функционирования транспортной модели будут рассмотрены на примере транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, транспортная модель которого была создана авторами еще в 2008 г. Накопленный за это время опыт разработки модели и последующей её актуализации и калибровки позволил сформировать стройную и последовательную стратегию создания подобных моделей, которая является самостоятельной научной ценностью.

Задача прогноза загрузки транспортной сети обычно состоит в расчете усредненных характеристик движения, таких как объемы межрайонных передвижений, интенсивность потока, распределение автомобилей и пассажиров по путям движения и др. Имитационное моделирование ставит своей целью воспроизведение всех деталей движения, включая развитие процесса во времени. При этом усредненные параметры транспортных потоков и их распределение по различным путям движения считаются известными и служат исходными данными для этих моделей. Таким образом, прогноз интенсивности и имитационное моделирование являются дополняющими друг друга направлениями.

Имитационные модели позволяют оценить скорости движения, задержки на перекрестках, длины и динамику образования очередей (заторов) и другие характеристики движения. Применять такие мо-

дели целесообразно при разработке проектов организации дорожного движения, оптимизации светофорных циклов регулирования и т.п.

Решая задачу совершенствования организации дорожного движения в отдельном элементе улично-дорожной сети города, нельзя ориентироваться только на существующие в нем объемы движения. Изменение в транспортном предложении неминуемо повлечет за собой изменение спроса на этот участок сети других участников дорожного движения. Для решения задачи организации дорожного движения на отдельном элементе или узле может быть использована имитационная модель. Одновременно улучшение условий проезда по данному участку может привести к тому, что большее количество водителей будет выбирать маршруты проезда с использованием этой улицы, что в свою очередь приведет к ослаблению нагрузки на другие участки сети и к дальнейшему перераспределению потоков.

Таким образом, возникает задача о получении нового прогноза распределения транспортных потоков по городу, которое установится после проведения данного мероприятия. Эта задача будет решена при помощи уже прогнозных моделей. Новое распределение транспортного движения по сети и изменившиеся нагрузки и объемы движения на этом конкретном участке опять потребуют корректировок организации дорожного движения, настройки работы светофорных объектов, и такая последовательность операций может повторяться бесконечно.

Прогнозные и имитационные модели в своих алгоритмах уже учитывают основные определяющие предпочтения всех участников дорожного движения при выборе маршрутов движения по сети. Существует, однако, большое количество моделей, предназначенных для оптимизации функционирования транспортных сетей (оптимизационные модели). Точнее, они призваны решать локальные прикладные задачи, связанные с перевозочным процессом отдельных субъектов – пользователей автомобильных дорог (участников дорожного движения): оптимизировать маршруты пассажирских и грузовых перевозок, расписания движения транспорта, создавать оптимальную конфигурацию маршрутной сети и др.

Группы моделей подчиненно связаны друг с другом. Прогнозы интенсивности движения транспорта служат исходными данными для последующей имитации этого движения во времени. Имитация порождает видимую потребность в оптимизации того или иного транспортного процесса. Такая связь моделей различных групп и на-

значений позволяет говорить о некоторой модельной основе, так или иначе необходимой при создании каждой из них и объединенной одним термином «транспортная модель города».

3.1.1. Мировой опыт создания прогнозных моделей. Современные инструменты транспортного моделирования

Сложившийся подход к решению задач транспортного планирования и организации дорожного движения обычно находится в плоскости создания программ мониторинга состояния и условий движения на улично-дорожной сети городов. В дальнейшем на основе данных мониторинга строятся математические модели, описывающие изменение состояния транспортной системы во времени и ее влияние на состояние жизни в городах.

На основе этих моделей делаются попытки прогнозировать поведение транспортной системы во времени, но огромное число факторов, кроме основных – интенсивности и скорости транспортных потоков, делают эту задачу почти невыполнимой.

Для построения некоей стационарной усредненной модели поведения и функционирования УДС города требуются значительные во времени наблюдения за состоянием движения, после чего можно описать это поведение математически и постараться учесть максимальное количество факторов, влияющих на него. Но жизнеспособность таких моделей ничтожна: с таким трудом построенная модель работы транспортной системы города полностью разрушается при сколь угодно малом изменении транспортного предложения (например, при организации движения или строительстве новых элементов сети).

Движение транспортных потоков, описываемое рядом сравнительно легко получаемых параметров этого движения, само по себе не несет практически никакой информации для целей последующего моделирования этих процессов. Возникает вопрос о целях моделирования, ибо значимость модели можно оценить только прикладным характером. Построив модели поведения производных величин, мы не получим инструмента для реализации управленческих решений по воздействию на систему в целом, не зная причин и внутренних законов ее функционирования.

Основываясь на результатах наблюдений за действующей УДС, можно выявить только несбалансированность сети и устранить ее, уделяя при этом внимание не узким (проблемным) местам, а исключительно поиском резервов и разработке мероприятий по их задей-

ствованию, которые чаще всего решаются средствами организации дорожного движения.

Отсюда следует вывод: слабое место на УДС – это тот её участок, где есть резервы в использовании пропускной способности. Следовательно, риски в дорожном планировании (проектировании и строительстве) в первую очередь связаны с недополученной транспортной работой при реализации дорожного проекта. И эта ошибка в принятии решений почти всегда остается неустранимой, в отличие от проектов, в результате реализации которых может быть проделана большая транспортная работа даже при значительных транспортных издержках.

Прогнозные модели предназначены для моделирования объемов транспортной работы в сетях при известном размещении потокообразующих объектов города. С их помощью можно прогнозировать последствия изменений в транспортной сети города. Модели этого типа применяют для поддержки решений в области транспортного планирования города, анализа последствий тех или иных мер по организации движения, выбора альтернативных проектов развития транспортной сети и др.

Транспортные модели, основанные на принципах компьютерного моделирования распределения транспортных потоков, впервые созданы в 1960 г. в Великобритании. Они востребованы и в российских городах. В настоящее время в России сформировалось более 10 коллективов, которые с успехом используют отечественные и зарубежные пакеты прикладных программ для решения статических и динамических задач транспортного планирования и организации дорожного движения в городах. Большинство исследователей решают частные, локальные задачи на отдельных участках УДС, и лишь немногие задумываются об оценке эффективности транспортной системы в целом, влияющей на качество жизни, с учетом эволюции транспортной системы. Такие исследования очень важны не столько для решения текущих проблем, например транспортных заторов, сколько для выработки научно обоснованной стратегии развития транспортных систем городов на перспективу с учетом изменения транспортной мотивации людей под влиянием различных факторов, прежде всего связанных с изменением их потребностей.

Современные транспортные модели и сейчас используют основные определяющие соотношения поведения людей в процессе удовлетворения их транспортных потребностей, выведенные во второй половине XX в. Однако бурное развитие вычислительных мощностей современных компьютеров позволило за последние 20 лет

в десятки раз ускорить основные вычислительные процедуры, существенно уточнить и детализировать модели транспортных сетей городов, учесть в расчетах гораздо большее количество различных факторов, определяющих поведение современных участников дорожного движения.

К настоящему времени созданы транспортные модели всех крупных городов мира. В США есть модели всех городов с населением более 1 млн. жителей. В Германии и Нидерландах транспортные модели имеет каждый город с населением более 100 тыс. человек. С помощью коммерческих программных комплексов построены транспортные модели в таких городах, как Нью-Йорк, Лос-Анджелес, Лондон, Париж, Милан и другие, а также модель транспортной сети почти всей Европы от границ СНГ до Атлантического океана (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Фрагменты транспортных моделей Европы, городов Лос-Анджелес (США) и Карлсруэ (Германия)

К 2020 году в России созданы прогнозные транспортные модели всех городов Российской Федерации с населением более 300 тысяч человек (рис. 3.2).

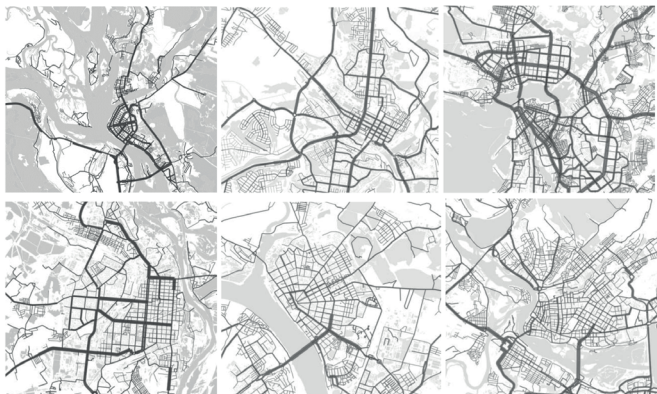


Рис. 3.2. Транспортные модели городов: Архангельск, Белгород, Казань, Киров, Кострома, Иркутск

Найденные еще в прошлом веке закономерности перераспределения транспортных потоков по улично-дорожной сети городов в наши дни достаточно подробно алгоритмизированы, запрограммированы и превращены в коммерческие программные продукты, которые, как и транспортные модели, можно разделить по назначению и типу решаемых задач на несколько классов. Однако производители программных продуктов в области транспортного моделирования и прогнозирования в условиях жесткой конкуренции на рынках программного обеспечения стремятся унифицировать свои продукты, создавая целые программные комплексы, охватывающие решение задач различного назначения и использующие транспортные модели разных классов.

Чаще в единые программные комплексы объединяются инструменты, реализующие задачи и работающие с моделями первого и второго класса, то есть в области транспортного планирования и организации дорожного движения. Для простоты восприятия назначения отдельных модулей программных комплексов производители используют классификацию, определяющую степень детализации модели и геометрические размеры моделируемых систем. Различают программные продукты макро- и микроуровня моделирования.

В мире только формируется рынок программных продуктов в области транспортного планирования (макромоделирования) и организации движения (микромоделирования). Одной из первых и наиболее известной в прошлом программ, реализующих четырехшаговую процедуру прогнозирования загрузки транспортных сетей, была программа ЕММЕ/2 (Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium или Мультимодальное Равновесие).

Впервые транспортные модели в ЕММЕ/2 созданы в Канаде и в Финляндии. ЕММЕ/2 была разработана как интерактивно-графическая гибкая среда моделирования для городского и регионального транспортного планирования.

Успешным результатом построения мультимодальной транспортной модели для большого города стала модель, построенная для Монреаля (Канада). Собственно, программный комплекс ЕММЕ/2 был разработан именно для этого города.

В начале двухтысячных годов на российском рынке почти одновременно появились две системы моделирования движения: *Vissim+Visum (PTV Vision)* и *Aimsun NG (TSS)*. По своим возможностям и области решаемых задач они практически идентичны и объединяют в себе полный пакет программного обеспечения для планирования, анализа и организации транспортного движения.

Наиболее широко в России представлены программные продукты компании PTV AG – *PTV Vision*® *VISUM* и *PTV Vision*® *VISSIM*. Они представляют собой единый комплекс, реализующий задачи макро- и микромоделирования транспортных систем.

Например, *PTV Vision*® *VISUM* объединяет в себе полный пакет программного обеспечения для планирования, анализа и организации транспортного движения, позволяет отображать все виды индивидуального и общественного транспорта в единой модели. Область применения *PTV Vision*® обширна: от подготовки проектов организации и анализа схем движения на перекрестках и развязках до исследований комплексных транспортных систем городов и регионов, включая создание перспективных интегрированных транспортных концепций для индивидуального и общественного транспорта. Одновременно с этим, *PTV Vision*® решает задачи оперативного и стратегического транспортного планирования.

Благодаря многообразию функций *PTV Vision*® круг его пользователей очень широк и разнообразен. К нему относятся проектировщики, чиновники транспортных министерств и ведомств, инженерные компании, транспортные управления, управления железных дорог и многие другие. Уже сегодня специалисты более чем 70 стран мира применяют *PTV Vision*®, а это свыше 1100 различных организаций по всему миру.

В модуле *PTV Vision*® *VISUM* реализован первый уровень моделирования – макромоделирование, в котором объектом моделирования служит транспортный поток. Основными пользователями данного модуля *PTV Vision*® *VISUM* являются городские и федеральные департаменты и комитеты по транспорту, транспортные компании – перевозчики, транспортные компании, предоставляющие услуги общественного транспорта, компании, специализирующиеся на транспортном консультировании, а также вузы.

Область применения *PTV Vision*® *VISUM*: разработка комплексных транспортных схем городов и регионов; планирование городского строительства; составление схем перевозок, в том числе мультимодальных; планирование и контроль деятельности транспортных предприятий, объединений и исполнителей заказов; прогнозирование рентабельности общественных пассажироперевозок с учётом интересов пассажиров.

Среди российского программного обеспечения можно выделить программный продукт Transnet (<http://www.isa.ru/transnet/>), разработанный Институтом системного анализа РАН (рисунок 3.3).

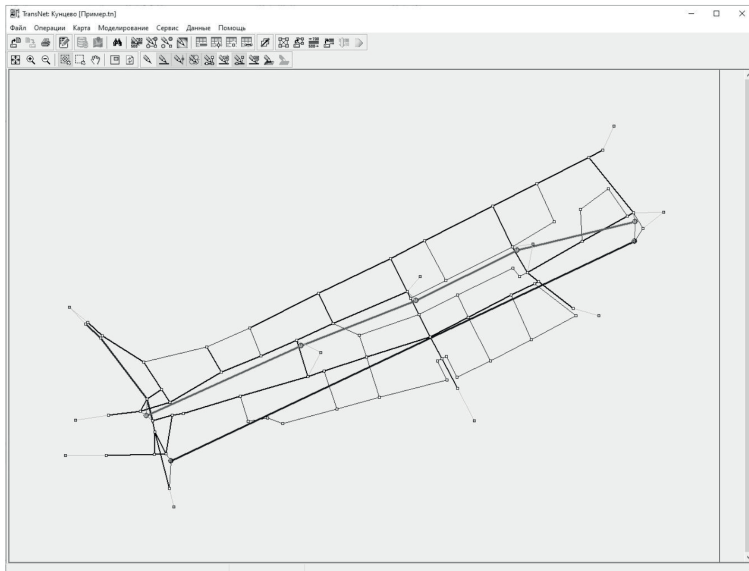


Рис. 3.3. Окно интерфейса программного комплекса Transnet

Transnet позволяет выполнять прогнозирование автомобильных и пассажирских потоков в транспортных сетях. Объектом моделирования может служить как транспортная система крупного города или городской агломерации, так и система дорог федерального или регионального уровня (включая платные дороги). Для расчета перераспределения индивидуального транспорта реализован алгоритм поиска равновесного распределения потоков с несколькими классами пользователей. Расчет пассажирских потоков на общественном транспорте может быть произведен как в «сетевой», так и в «маршрутной» форме, с использованием алгоритма оптимальных стратегий. Все алгоритмы используют концепцию «обобщенной цены» передвижения. В части работы с результатами расчетов доступны редактор таблиц, редактор для построения картограмм.

Кроме того, в мире существует множество специальных систем для микромоделирования транспортных потоков, например, VISSIM, TRANSIMS, PARAMICS, EMMЕ/2, SATURN.

3.1.2. Структурная схема прогнозной транспортной модели

Из всего разнообразия типов транспортных моделей, обзор которых изложен в специальной литературе [101,151], подробнее

остановимся на моделях, используемых в транспортном планировании городов. В отличие от задач организации дорожного движения, где находят широкое применение имитационные модели движения транспорта, в транспортном планировании используют прогнозные модели, которые оперируют следующими макроскопическими параметрами: скорость и интенсивность транспортного потока. интенсивность пассажиропотоков.

Основой моделирования городских транспортных систем обычно является решение задачи реализации пассажирских транспортных корреспонденций, доля которых в общем объеме транспортного движения крупного города составляет 85-95%.

Прогнозная транспортная модель в целом представляет собой программный комплекс, включающий в себя информационные и расчетные блоки. Информационные блоки составляют единую базу данных, предназначенную для хранения и обработки информации, необходимой для прогноза транспортных потоков. Расчетные блоки реализуют алгоритмы решения задач математического программирования, ориентированных на прогноз потребности в передвижениях и расчет реализующих ее транспортных потоков.

Любая математическая модель функционирования транспортной сети основывается на большом объеме исходных данных, получение которых вызывает серьезные затруднения. И это, в первую очередь, является основной трудностью на пути создания транспортных моделей крупных городов. Очевидно, что сбор исходных данных представляет собой наиболее трудоемкий и продолжительный по времени этап при построении транспортных моделей [5].

Алгоритм каждой из известных групп транспортных моделей в конечном итоге решает задачу о степени соответствия существующего транспортного спроса имеющему транспортному предложению. В связи с этим и создание основы модели, и наполнение ее исходными данными можно разделить на два независимых друг от друга этапа: создание транспортного предложения и создание (расчет) транспортного спроса.

На заключительном этапе, имея сформированные и формализованные параметры транспортного спроса и предложения, можно свести задачу к совершенствованию алгоритмов распределения транспортного спроса по существующему транспортному предложению и калибровке модели по собранным натурным данным, характеризующим основные параметры транспортного движения на действующей в настоящее время сети. При этом формализация параметров,

характеризующих существующее состояние дорожно-транспортного комплекса, будет первым этапом в создании транспортной модели города (создание транспортного предложения).

Второй этап в построении модели – создание или расчет транспортного спроса представляет собой куда более сложную и трудоемкую задачу. Схематично структура основных составляющих прогнозной транспортной модели представлена на рис. 3.4.

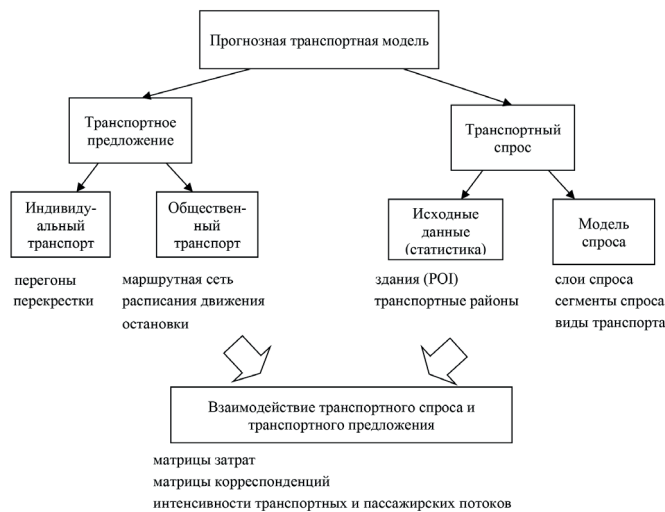


Рис. 3.4. Структура основных составляющих прогнозной транспортной модели

Транспортное предложение состоит из элементов, с помощью которых транспортная система (города либо региона) удовлетворяет существующий транспортный спрос и в итоге определяет, какой объем спроса и насколько качественно может удовлетворить транспортная система.

Транспортный спрос количественно и качественно обусловлен потребностью жителей города в перемещении.

Весь объем необходимых к формализации исходных данных в целях создания прогнозной транспортной модели состоит из большого числа составляющих.

Транспортное предложение:

- картографическая информация (цифровой план города);
- сеть путей движения для различных видов транспорта, ее свойства и условия движения, включая технические средства организации дорожного движения;

– типы улиц и дорог, среднегодовая суточная интенсивность, пропускная способность перегонов и перекрестков и т.д.

Транспортный спрос:

– данные статистики: сведения о населении, в том числе трудоспособном, о рабочих местах, включая сферу услуг, о количестве студентов и учебных местах;

– данные статистики о распределении корреспонденций по целям поездок;

– модель Split: общее разделение транспортных потоков по видам транспорта на исследуемой территории.

Расчет прогноза в такой транспортной модели осуществляется по четырехшаговому алгоритму, вследствие чего эти прогнозные транспортные модели называют «четырёхшаговыми». В создании и последующей работе такой модели можно выделить четыре этапа (шага):

1. *Генерация спроса (Trip Generation)*. Во время выполнения процедуры генерации транспортного спроса определяется объем движения источника и цели для каждого района по слоям спроса. Понятие слоя спроса тождественно понятию цели поездки (на учебу, домой, поездки по работе и т.д.). Расчет объемов производится на основе данных статистики.

2. *Распределение спроса (Trip Distribution)*. Во время выполнения процедуры распределения транспортного спроса производится расчет матриц корреспонденций для слоев спроса без учета способа их реализации (видов транспорта) на основе матриц затрат (или линейной комбинации матриц затрат для разных видов транспорта) и функций предпочтения. Функция предпочтения определяет вероятность совершения корреспонденции в зависимости от затрат, при этом каждому слою спроса может соответствовать своя функция предпочтения.

В настоящее время в транспортных моделях крупных городов используются 15 слоев спроса и соответственно 15 матриц корреспонденций (рис. 3.5).

3. *Выбор режима (Mode Choise)*. Во время выполнения процедуры выбора режима определяется способ реализации корреспонденции – на ИТ или на ОТ. Выбор происходит путем расщепления матрицы корреспонденций на две. Расщепление матриц корреспонденций также происходит на основе матриц затрат (или линейной комбинации матриц затрат для разных видов транспорта) и функций предпочтения. При этом функции предпочтения для выбора ре-

жима могут отличаться от функций предпочтения для распределения спроса.

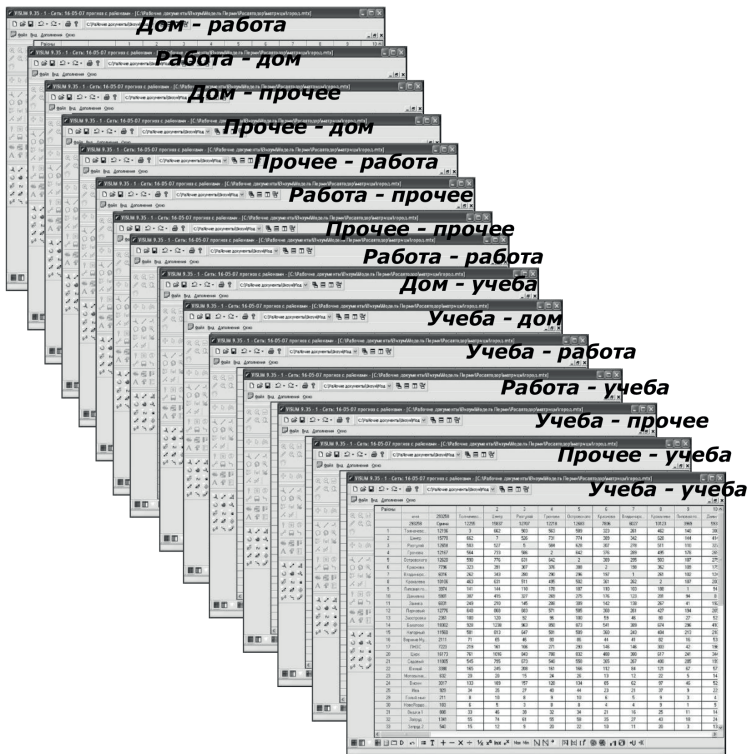


Рис. 3.5. Матрицы корреспонденций в транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

4. *Перераспределение (Assignment)*. Во время выполнения процедуры полученные матрицы корреспонденций по видам транспорта распределяются по транспортному предложению для выбора того или иного пути их реализации. Процедура перераспределения основывается на поиске алгоритмов, которые определяют маршруты или соединения между источником и целью. Поиск процедуры следует за ее выбором, который распределяет спрос отношений источник-цель на маршруты/соединения.

Процедуру перераспределения выполняют отдельно для индивидуального и общественного транспорта. Для индивидуального транспорта учитывают такие факторы, как ширина проезжей части, наличие светофорного регулирования и его режимы, наличие од-

ностороннего движения, запретов на проезд грузового транспорта по участкам УДС, запретов маневров на перекрестках, а также парковок, оказывающих влияние на условия движения транспорта.

При перераспределении общественного транспорта принимают во внимание все отдельные маршруты и расписание движения по ним. При этом учитывается не только время в пути для каждого варианта маршрута, пересадок, а также время пути пешком от центра тяжести района-источника до остановки и от остановки до центра тяжести района-цели.

Схема четырехшаговой модели представлена на рис. 3.6.

Транспортное предложение задается в виде узлов, отрезков (перегонов), примыканий (точек доступа в систему), а для каждого из элементов – свои характеристики. Транспортное предложение для системы городского пассажирского транспорта общего пользования, кроме перечисленных элементов, включает маршруты прохождения ОТ, остановки и расписания. В транспортных моделях этот вид транспорта представляет собой единую систему, формально не разделяемую на транспортные средства и транспортную инфраструктуру.

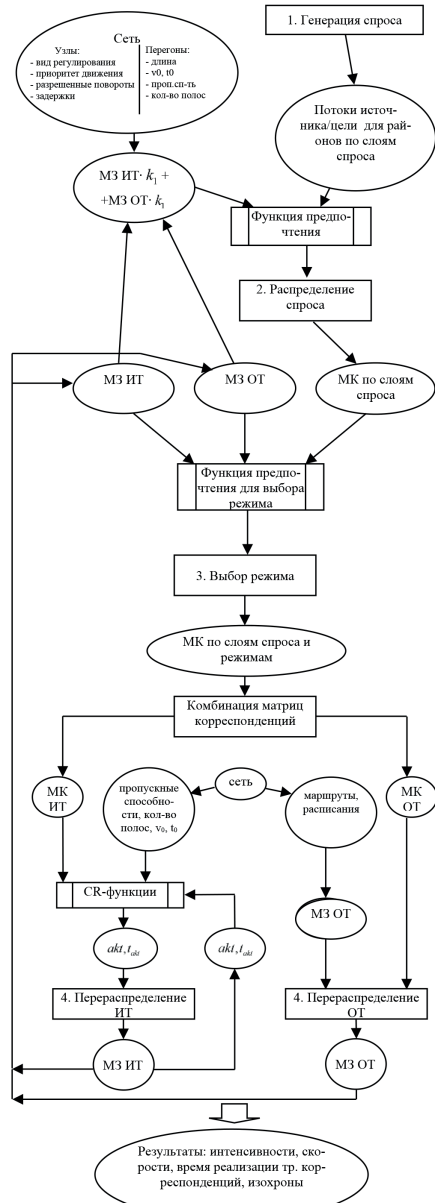


Рис. 3.6. Схема работы четырехшаговой модели расчета

Кроме информационной основы, модель транспортного предложения содержит некий набор определяющих соотношений, описывающих основные процессы взаимодействия транспортной инфраструктуры и транспортных средств, основу которых составляют функции сопротивления или функции затрат.

В процедурах *распределения* и *выбора режима* транспортное предложение участвует как источник формирования матриц затрат. На основе сформированных матриц затрат определяют временные затраты на совершение корреспонденций из района в район. Впоследствии сформированные матрицы затрат ИТ и ОТ используют при выполнении процедуры выбора режима.

На этапе *перераспределения* для индивидуального транспорта учитывают детализацию транспортного предложения: конкретные характеристики и конфигурация каждого из элементов УДС. Для каждого элемента УДС определяют значение функции сопротивления – задержки на элементе нагруженной сети в зависимости от интенсивности транспортного потока и пропускной способности элемента.

При перераспределении общественного транспорта аналогично индивидуальному транспорту каждой корреспонденции ОТ назначается свой путь в существующей маршрутной сети. В качестве критерия для выбора пути ОТ используют инфраструктурное сопротивление, то есть воспринимаемое время в пути, включающее в себя время пешеходного подхода, поездки, ожидания и пересадок.

3.1.3. Основные показатели качества транспортных моделей

После создания транспортной модели часто бывает необходимо оценить ее качество, основными показателями которого являются:

1. Размер модели (статистика), а именно количество:
 - узлов (дополнительно – детализация: учет метода регулирования перекрестка, разные задержки для поворотных маневров);
 - отрезков;
 - примыканий;
 - транспортных районов;
 - пунктов остановок ОТ;
 - маршрутов ОТ.
2. Детализация модели транспортного спроса:
 - количество режимов (ИТ или ОТ);
 - количество систем транспорта (ИТ – ЛА, ГА, ОТ – автобус, трамвай, троллейбус);

– количество слоев спроса;
 – количество используемых функций предпочтения (одна для разных слоев спроса или разные).

3. Качество результатов расчета модели, его значения:

- количество мест подсчета;
- коэффициент корреляции;
- средняя относительная ошибка;
- средняя абсолютная ошибка.

Таким образом, предложенные показатели качества транспортных моделей позволяют оценить, как объем и качество используемых для их создания исходных данных, так и качество функционирования модели, то есть степень ее достоверности. В табл. 3.1. приведены значения показателей качества транспортных моделей некоторых городов (рис. 3.7).

Таблица 3.1

Значение показателей качества транспортных моделей городов Перми, Екатеринбурга и Самары

Элементы сети	Количество элементов в модели		
	Пермь	Екатеринбург	Самара
<i>Размер модели (статистика)</i>			
Узлы	8851	3756	14056
Отрезки	21344	8732	32260
Примыкания	6406	2252	12352
Транспортные районы	722	339	294
Остановки	464	520	448
Зоны остановки	1023	1097	1110
Пункты остановки	1100	1246	1213
Маршруты ОТ	129	149	175
<i>Детализация модели транспортного спроса</i>			
Количество режимов	2	2	2
Количество систем транспорта	6	8	7
Количество слоев спроса	15	15	17
Количество используемых функций предпочтения	15	15	15

Статистика сети

Базовая сеть Сеть ОТ

Количество: 10	Фильтры	Общий	Фильтре	Выбрано	Акт
Пункты остановки	нет	1100	1100	1100	0
Зоны остановки	нет	1023	1023	1023	0
Остановки	нет	575	575	575	0
Системные пути	нет	0	0	0	0
Высшие маршруты	нет	0	0	0	0
Маршруты	нет	154	154	154	0
Варианты маршрута	нет	250	250	250	0
Профили времени движения	нет	250	250	250	0
Поездки по расписанию	нет	13428	13428	13428	0
Участки поездки по расписанию	нет	13428	13428	13428	0

Закреть

Рис. 3.7. Статистика сети в транспортной модели

3.1.4. Калибровка транспортных моделей

С совершенствованием методики и технологий разработки транспортных моделей городов на первое место выходят вопросы оценки их адекватности. Процесс калибровки – один из самых важных этапов в создании транспортной модели, в ходе которого необходимо добиться максимальной близости результатов, полученных на основе моделирования и данных, собранных в результате проведения обследований интенсивности транспортных потоков.

Термин «калибровка» заимствован из иностранного языка, как и часто употребляемые термины «верификация» и «валидация». С их помощью можно представить последовательность операций по повышению общего качества транспортных моделей. На рис. 3.8 представлен алгоритм последовательных шагов, проводимых разработчиками и пользователями транспортных моделей с целью их актуализации.

В первом приближении можно заключить, что процесс верификации относится к исходным данным, участвующим в модели, в то время как термин «валидация» – к проверке работоспособности непосредственно алгоритма расчета, то есть к качеству построенных определяющих соотношений. Заключительный этап создания транспортной модели именуется термином «калибровка», который

обозначает процесс, также затрагивающий набор определяющих соотношений транспортной модели, и представляет собой уточнение набора параметрических функций, заложенных в определяющие соотношения модели на основе собираемых натуральных данных и предварительно верифицированных входных данных модели.

Подходы к процессу повышения качества транспортных моделей можно отнести к двум составляющим: транспортному спросу и транспортному предложению. В каждой группе верифицируются и калибруются последовательно глобальные и локальные параметры, то есть характерные для всего объекта моделирования и распределенные в пространстве.

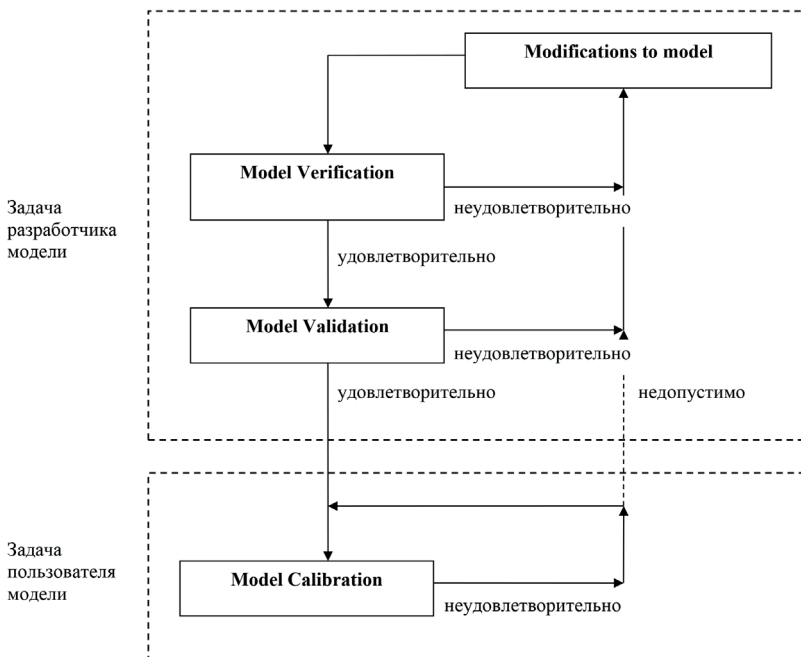


Рис. 3.8. Последовательность шагов повышения качества транспортных моделей

Целями мероприятий каждого этапа повышения качества транспортной модели являются:

верификация, цель которой заключается в проверке логики модели. На данном этапе выполняется проверка соответствия полученных результатов расчета модели набору входных параметров и определяется, насколько ожидаемы полученные результаты;

валидация, имеющая своей целью оценку способности модели соответствовать выбранным начальным значениям (аналитическое решение или натурные данные) для конкретной области применения.

Калибровка с целью добиться идентичности расчетных и натуральных характеристик функционирования транспортной системы города или процесс отбора лучшего набора параметров модели. Калибровка проводится на каждом шаге четырехшаговой транспортной модели.

3.1.5. Оценка качества транспортной модели

Для оценки адекватности и качества транспортных моделей используют общепринятые статистические критерии, которые позволяют быстро оценивать основные качественные параметры созданных моделей. Следует заметить, что в среде транспортных инженеров, занимающихся вопросами транспортного моделирования, сложились определенные доверительные границы, при которых на основании существующего набора статистических критериев созданная транспортная модель имеет право быть использованной в практических транспортных расчетах.

Оценку проводят по следующим параметрам:

Средняя абсолютная ошибка:

среднее отклонение абсолютных значений (разница между наблюдаемым и рассчитанным значением):

$$(\delta_a) = \frac{1}{N} \cdot \sum \text{abs}(Z_i - U_i) \quad (3.1)$$

где Z – наблюдаемое значение; U – значение, полученное из модели; N – количество точек наблюдения. Обозначения одинаковы для формул (3.2) – (3.6).

Средняя относительная ошибка:

среднее отклонение абсолютных значений, %:

$$(\delta_p) = \frac{\sum \text{abs}(Z_i - U_i)}{\sum Z_i} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

Абсолютное значение RMSE (root of mean squared error):

среднеквадратическое отклонение:

$$(\vartheta_a) = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(Z_i - U_i)^2}{N} \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

Относительное значение *RMSE* (root of mean squared error):
относительное среднеквадратическое отклонение:

$$(\rho_s) = \frac{\rho_a}{\sum Z_i / N} = \frac{\sqrt{\sum (Z_i - \bar{Z})^2 / (N - 1)}}{\sum Z_i / N} \quad (3.4)$$

Коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\sum (Z_i - \bar{Z}) \cdot (U_i - \bar{U})}{\sqrt{\sum (Z_i - \bar{Z})^2 \cdot \sum (U_i - \bar{U})^2}} \quad (3.5)$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{N} \cdot \sum Z_i, \quad \bar{U} = \frac{1}{N} \cdot \sum U_i \quad (3.6)$$

ГЕН-статистика:

$$GEH = \sqrt{\frac{(Z - U)^2}{Z + U}} \quad (3.7)$$

Значение *ГЕН* оценивается для каждого отрезка, для которого собраны натурные данные. Основная причина применения *ГЕН* для оценки качества прогнозной транспортной модели заключается в том, что данная функция является нелинейной, что позволяет учитывать в статистике данные разного порядка.

Как пример, приведем указанные параметры качества прогнозной транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Калибровку и последующую оценку качества прогнозной транспортной модели проводили при следующих основных характеристиках модели и натурных данных, используемых для калибровки (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Основные характеристики транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми и натурных данных, используемых для калибровки

Элементы сети	Количество элементов в модели
количество точек натурных обследований	400
среднее наблюдаемое значение \bar{Z}	11514 (авт./сутки)
среднее расчетное значение \bar{U}	10641 (авт./сутки)

В результате проведенной процедуры калибровки были получены следующие показатели качества прогнозной транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (табл. 3.3)

Таблица 3.3

Значения параметров качества расчета транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Параметр качества расчета модели	Значение параметра качества расчета
Средняя абсолютная ошибка	873
Средняя относительная ошибка	7,6%
Абсолютное значение RMSE	1058,0
Относительное значение RMSE	0,113
Коэффициент корреляции	0,957
ГЕН-статистика	85% (точек имеют значение ГЕН<5)

Стоит отметить, что невозможно добиться полного совпадения расчетных и натуральных данных. Это связано с использованием достаточно большого набора натуральных данных (385 точек наблюдения) и спецификой их сбора, так как данные обычно собираются не одномоментно, а в разные дни недели для разных точек наблюдения.

В связи с этим, используемый при калибровке набор натуральных данных имеет ряд несогласованностей, связанных с локальными условиями дорожного движения в той или иной точке наблюдения (во время их сбора на разных участках УДС происходили ДТП, ремонтные работы, были и другие факторы, влияющие на условия движения).

В результате при недостатке информации водители транспортных средств, участвующие в дорожном движении, принимают решения об изменении привычных маршрутов, которые не соответствуют используемому в расчетах алгоритму перераспределения.

В итоге расчетные объемы транспортного движения в той или иной области могут не совпадать с натурными данными. Основываясь на этом практическом наблюдении, для улучшения качества натуральных данных предлагаем проводить обследования транспортных потоков в максимально сжатые по времени сроки, в том числе за счет

использования автоматизированных средств сбора данных (датчиков и видеорегистраторов).

Все представленные относительные показатели для оценки качества прогнозных транспортных моделей имеют допустимый диапазон значений, при которых прогнозная транспортная модель может применяться для решения реальных задач. Допустимые значения параметров качества расчета транспортной модели представлены в таблице (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Допустимые значения параметров качества расчета транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Параметр качества расчета модели	Допустимое значение параметра качества расчета
Средняя относительная ошибка	$\leq 15\%$
Относительное значение RMSE	$\leq 0,2$
Коэффициент корреляции	$\geq 0,9$
ГЕН-статистика	для 85% точек значение $GEN \leq 5$

3.6.1. Возможности анализа результатов моделирования

Интерес исследователя, занимающегося прогнозированием параметров функционирования транспортной системы крупного города, обычно вызывают следующие элементы системы и показатели ее работы.

Отрезки: нагрузка индивидуального транспорта, пассажиропоток на общественном транспорте, время движения в пустой и нагруженной сети, коэффициент загрузки.

Маршруты ОТ: пассажиропоток, время движения между остановками.

Остановки: количество входящих пассажиров, выходящих, транзитных с остановкой (без остановки) по маршрутам (системам) транспорта (всего).

Перекрестки: распределение движения на перекрестке по направлениям.

На рис. 3.9. приведено окно редактора параметров отрезков транспортной модели Екатеринбурга, где представлены основные параметры: длина, разрешенная скорость, количество полос, пропускная спо-

способность, натурная интенсивность индивидуального транспорта. Подобный набор атрибутивной информации содержит каждый отрезок улично-дорожной сети в каждом из направлений движения. Данные параметры используются в работе алгоритма транспортной модели.

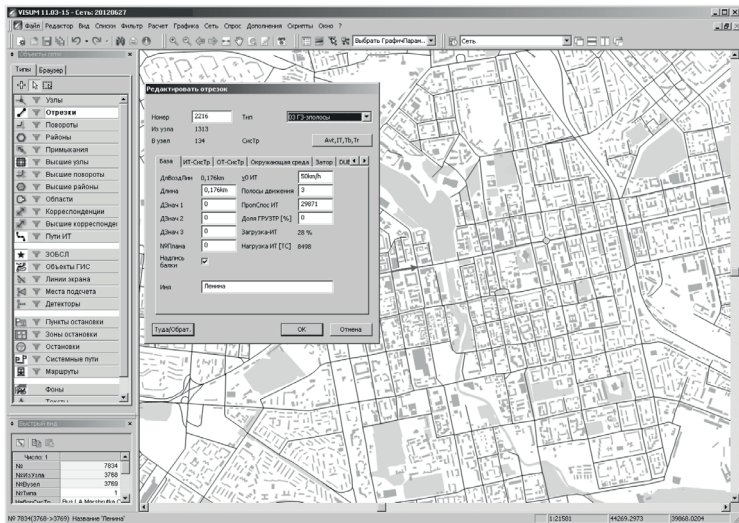


Рис. 3.9. Параметры отрезка: длина, разрешенная скорость, количество полос, пропускная способность, интенсивность ИТ. Транспортная модель Екатеринбурга

На рис. 3.10. представлено распределение интенсивности транспортных потоков по направлениям на перекрестке. Каждое число соответствует интенсивности транспортных потоков на определенном маневре через перекресток, а число ниже черты – интенсивности суммарного потока на въезде на перекресток.

Подобное отображение информации расчета транспортной модели используют преимущественно для последующего расчета и назначения параметров регулирования на данном перекрестке: общего цикла светофора, плана сигналов. Обычно такие расчеты проводят с помощью имитационного моделирования на микроуровне.

На рис. 3.11. приведен так называемый паук корреспонденций для конкретного участка УДС российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, который выделен светло-серой балкой. В данном случае это Коммунальный мост через р. Каму. Более темные балки отображают интенсивность транспортных потоков, которые движутся через исследуемый участок (по мосту).

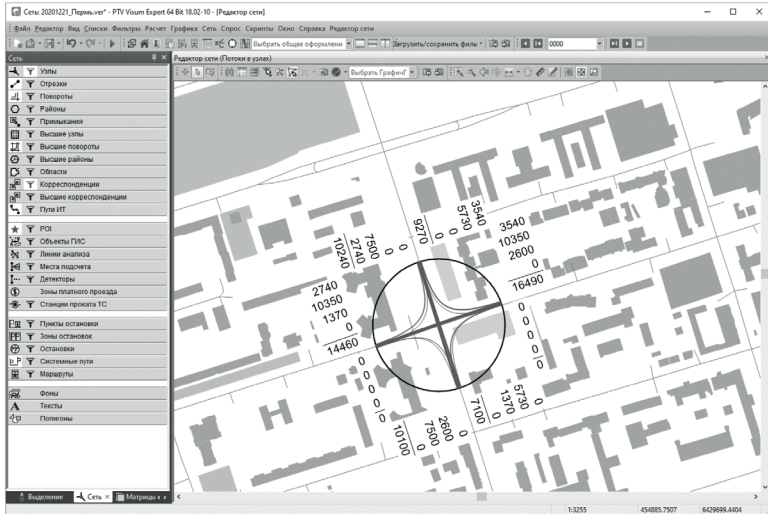


Рис. 3.10. Распределение интенсивности транспортных потоков по направлениям на перекрестке. Транспортная модель российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

По рисунку (рис. 3.11) можно проследить, какие маршруты движения преобладают на коммунальном мосту, кто и с какими целями использует данный участок инфраструктуры.

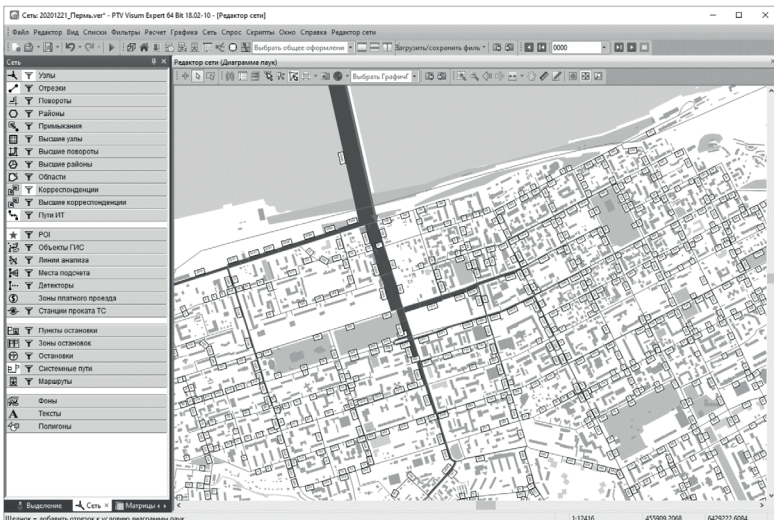


Рис. 3.11. Паук корреспонденций для участка УДС. Транспортная модель российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

На рис. 3.12 приведены балки интенсивностей пассажирских потоков для транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Данный результат расчета является основным критерием оценки качества функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования.

Цифры на отрезках показывают количество пассажиров, перевезенных по участку всеми видами и маршрутами транспорта, проходящими через него в течение дня. Кроме того, можно отобразить на балках пассажиропоток на отдельном маршруте или системе городского пассажирского транспорта общего пользования, а также в отдельный промежуток времени, в случае, если произведен соответствующий расчет.

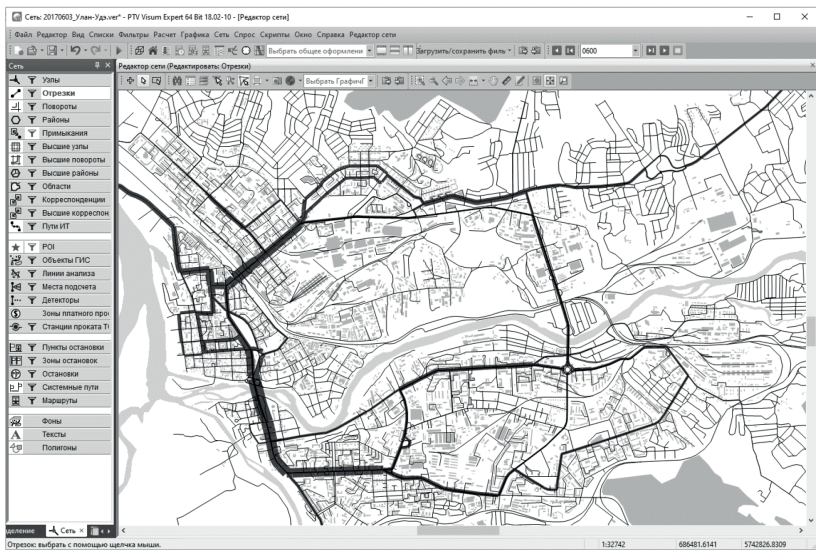


Рис. 3.12. Интенсивности пассажиропотоков. Транспортная модель Улан-Удэ

На рис. 3.13 приведено окно редактирования времени движения маршрута ОТ между остановочными пунктами. Данную процедуру обычно используют при анализе и прогнозировании увеличения, либо уменьшения количества графиков движения на одном из маршрутов, а также при изменении скорости движения на маршруте, например, после ремонта трамвайных путей. Результат расчета модели покажет, каким будет пассажиропоток после таких изменений объемов транспортной работы на маршруте.

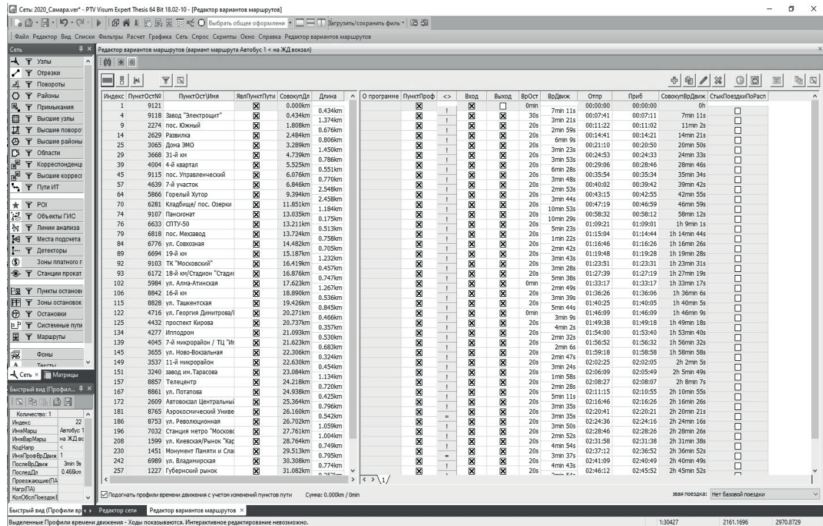


Рис. 3.13. Время движения между остановками на маршруте ОТ. Транспортная модель г.о. Самара

На рис. 3.14 цифрами показано общее количество входящих и выходящих пассажиров на остановочном пункте со всех единиц подвижного состава общественного транспорта, которые здесь останавливаются (г. Улан-Удэ). Чаще всего данный расчетный параметр служит основой калибровки модели в части транспортно-спроса на услуги городского пассажирского транспорта общего пользования.

При калибровке модели транспортного спроса этот расчетный показатель сравнивается с натурными данными, полученными при подсчете людей на остановке. Кроме информации о входящих и выходящих пассажиров, можно отображать информацию о количестве пересеживающихся и следующих транзитом пассажиров.

На рис. 3.15 приведен пример матрицы времени пешеходного перехода между зонами остановки. Формирование матрицы затрат на пересадку является основной процедурой при проектировании мультимодальных остановочных комплексов. Цифрами в таблице указано время пешего перехода от одной посадочной площадки до другой. Данное время в дальнейшем входит в матрицу затрат при реализации каждой корреспонденции, имеющей пересадку.

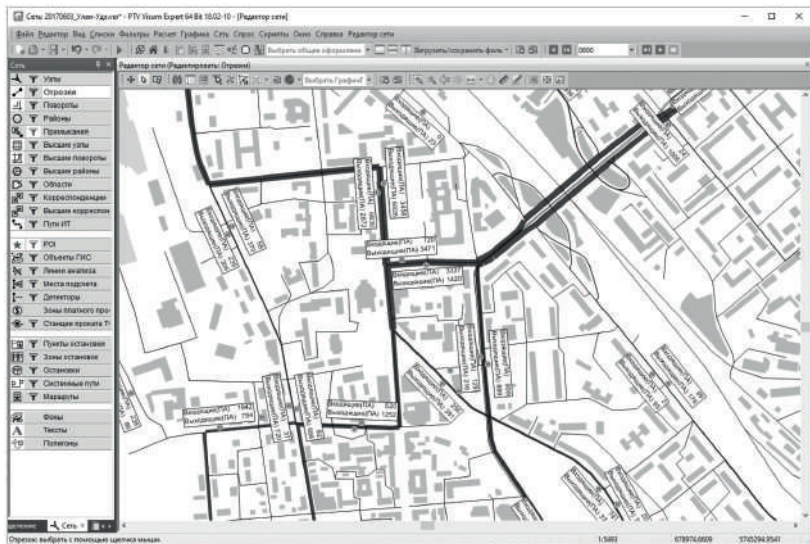


Рис. 3.14. Общее количество входящих и выходящих пассажиров на остановочных пунктах за сутки. Транспортная модель Улан-Удэ

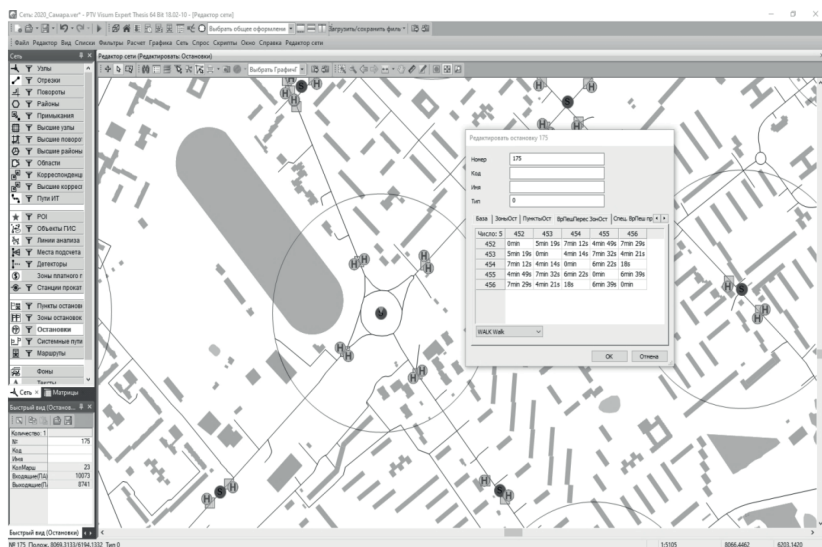


Рис. 3.15. Матрица времени пешеходного перехода между зонами остановки. Транспортная модель г.о. Самара

Транспортная модель, оперируя пространственно распределенными данными, несет в себе функции полноценной географической

информационной системы (ГИС) и позволяет отображать и делать картографический анализ большого количества входных и выходных данных модели.

Общее представление о характере транспортного спроса в системе дает анализ паука корреспонденций, построенных по воздушным линиям, соединяющим транспортные районы города. Аналогичным образом можно представить паука корреспонденций для отдельных элементов сети – узлов, отрезков, остановок, районов, построенных как для общественного, так и для индивидуального транспорта.

Различные способы отображения результатов прогнозов, выполненных на транспортной модели, изложены в специальной литературе [1,127].

На рис. 3.16. приведен паук транспортных корреспонденций для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, на рис. 3.17. – паук трудовых корреспонденций в общественном транспорте для г.о. Самара. Они помогают оценить величину транспортной обеспеченности той или иной территории города.

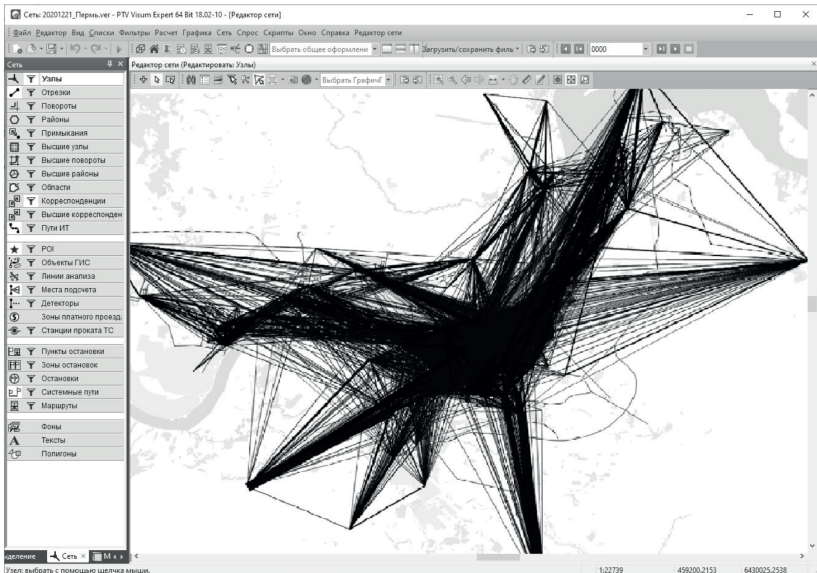


Рис. 3.16. Паук транспортных корреспонденций на индивидуальном транспорте. Транспортная модель российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

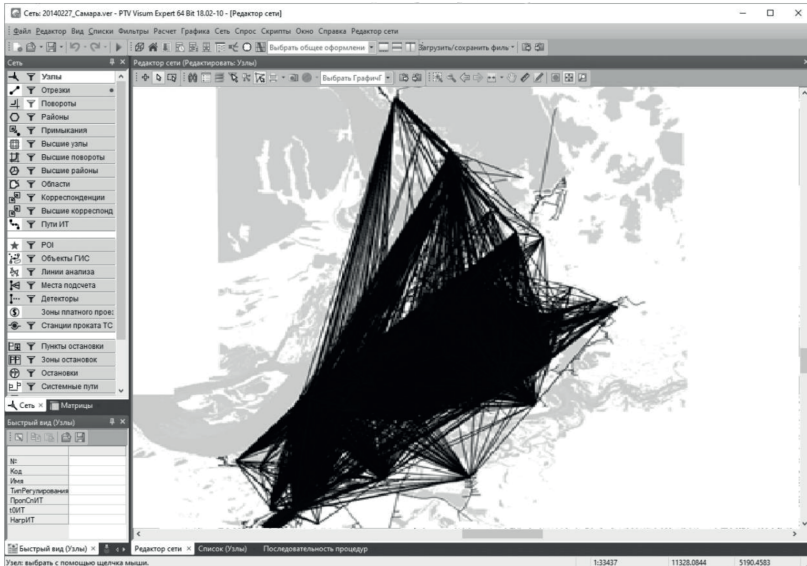


Рис. 3.17. Паук трудовых корреспонденций на общественном транспорте. Транспортная модель г. о. Самара

Кроме анализа территориально распределенных величин, модель позволяет рассчитывать ряд таких глобальных характеристик для всей сети, как:

- ТС • км, суммарный пробег всех автомобилей в сети;
- ТС • часы, суммарное время реализации транспортных корреспонденций в сети;
- средняя скорость в сети;
- среднее время реализации транспортных корреспонденций.

Все характеристики элементов сети можно отображать разными способами: в виде списков, картограмм с отображением балок, картограмм с привязкой таблиц.

3.2. Методы оценки качества функционирования действующих транспортных систем городов

В настоящее время на подавляющей территории земли природно-технические системы обеспечивают качество жизни (качественное материальное и нематериальное потребление). Нематериальное потребление можно оценить через движение информационных потоков. Потребность в общении с целью обеспечения качества информационного

обмена стимулирует подвижность людей. Качество транспортных систем в нашем понимании – это аналог способности информационных систем быстро и качественно удовлетворять информационный спрос.

В системе затрат (времени и денег) качество и назначение транспортных систем целесообразно рассматривать с двух сторон: обеспечение транспортной доступности и снижение транспортных издержек.

Первый критерий оценивается через восприятие человеком самой возможности осуществления необходимой ему транспортной корреспонденции. Второй критерий легко формализуем через количество времени или денег, затрачиваемых человеком на осуществление транспортных потребностей.

Оценивая качество городских транспортных систем, действующих на урбанизированных территориях, нет смысла рассматривать их обеспеченность транспортной доступностью. Само понятие «город» как раз и определяет ту территорию, где эта транспортная доступность уже реализована, а размер города зависит от качества его транспортной системы. *Городом* в этом случае стоит называть территорию, на которой обеспечена транспортная доступность в суточном цикле потребностей населения.

Можно поставить задачу оценки транспортного спроса, сформированного на городской территории, при этом объем и характер спроса будут зависеть от характера использования территории города. Определив в предыдущих главах назначение транспортных систем и их роль в показателе качества жизни, установив составляющие транспортного спроса и оценив возможности территории этот спрос удовлетворять, в данной главе дадим определение качеству функционирования городской транспортной системы. При фиксированных параметрах транспортного спроса в городе качество транспортной системы определяется качеством транспортного предложения.

Транспортное предложение состоит из элементов, с помощью которых транспортная система города удовлетворяет существующий транспортный спрос, и оно в конечном итоге будет определять, какой объем спроса и насколько качественно может удовлетворить транспортная система.

3.2.1. Общие показатели качества функционирования транспортных систем городов

Показатель качества функционирования транспортной системы города – это время. Потребляемые ресурсы – это энергия и тер-

ритория города. Они являются ограничениями в достижении цели. Энергия, в свою очередь, из-за несовершенства технологий её преобразования в полезную транспортную работу, а также вследствие влияния человеческого фактора порождает дополнительные ограничения, накладываемые на выбросы загрязняющих веществ, шум, риски возникновения дорожно-транспортных происшествий. Следовательно, задача эффективной транспортной системы города – доставлять максимум целевой функции (минимизация времени реализации транспортных корреспонденций всех жителей всеми видами транспорта) при удовлетворении заданных территориальных ограничений.

В качестве целевого показателя функционирования транспортной системы крупного города целесообразно рассматривать среднее время реализации транспортных корреспонденций, то есть среднее время, затрачиваемое одним человеком на совершение одной транспортной корреспонденции.

Имея в своем распоряжении только наблюдаемые (натурные) показатели функционирования транспортной системы города (интенсивность и скорость движения транспортных потоков), невозможно оценить качество действующей транспортной системы. Для такой оценки надо иметь представление об имеющемся на территории транспортном спросе, а также формализованное описание существующего транспортного предложения. Формализованное описание транспортного спроса и транспортного предложения вместе представляют собой транспортную модель.

При работе с транспортной моделью исследователю доступны несколько способов расчета среднего времени реализации транспортных корреспонденций.

1. Через матрицы затрат и матрицы корреспонденций. Данный способ наиболее универсальный, ибо не привязан к возможностям конкретного программного комплекса, в котором реализована транспортная модель, так как использование матриц затрат и матриц корреспонденций для представления данных общепринято. В этом случае выражение для расчета среднего времени реализации транспортных корреспонденций будет иметь вид:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i,j} (t_{ij} \cdot x_{ij})}{\sum_{i,j} x_{ij}}, \quad (3.8)$$

где

$$t_{ij} = \frac{\sum_k (t_{kij} \cdot x_{kij})}{\sum_k x_{kij}},$$

$$x_{ij} = \sum_k x_{kij},$$

x_{ij} – элементы матрицы корреспонденций; t_{ij} – элементы матрицы затрат, рассчитываются как средневзвешенное от нагрузок путей; x_{kij} – нагрузки пути номер k из района i в район j ; t_{kij} – время пути номер k из района i в район j в нагруженной сети.

2. Еще один способ расчета среднего времени реализации транспортных корреспонденций был предложен специалистами немецкой компании «РОУРЫ». Данный способ, в отличие от первого, использует специфические параметры, полученные в результате перераспределения транспортных потоков.

Выражение для расчета среднего времени реализации транспортных корреспонденций с его помощью имеет вид:

$$t_{cp} = \frac{\sum_k (t_k \cdot q_k)}{\sum_{i,j} x_{ij}}, \quad (3.9)$$

где t_k – актуальное время для элемента k (может быть узел, поворот, отрезок); q_k – интенсивность транспортных потоков на элементе УДС k ; x_{ij} – матрица корреспонденций.

Специфичными параметрами этого способа являются нагрузка элемента сети и актуальное время движения по нему транспортного потока. Эти параметры рассчитывают при перераспределении транспортных потоков.

Таким образом, особенностью предложенного способа можно назвать то, что среднее время рассчитывается как средневзвешенное по нагрузкам на каждый из элементов сети. Усреднение времени происходит более точно, ибо учитывается каждый элемент сети и его нагрузка.

Данные способы расчета среднего времени применяются для индивидуального транспорта. Для общественного транспорта среднее время реализации транспортных корреспонденций рассчитывают на основании результатов перераспределения с учетом расписания движения, при этом отдельно рассчитывают среднее время начального и конечного пешеходного подходов, среднее время поездки

и пересадки. Итоговое среднее время определяют как сумму данных средних значений параметров.

Например, для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми рассчитанное по первому способу значение среднего времени реализации транспортных корреспонденций для индивидуального транспорта составляет 34,42 минуты, по второму способу – 42,66. Для общественного транспорта среднее время реализации транспортных корреспонденций, полученное из результатов перераспределения с учетом расписания, 45,4 минуты.

При изменении каких-либо входных параметров в транспортной модели (расселение жителей, изменение дислокации рабочих мест, транспортного предложения и т.п.) становится другим среднее время реализации транспортных корреспонденций. Это может положительно или отрицательно влиять на жителей города. Чтобы оценить эффект изменения времени, переведем расчеты в экономическую плоскость.

Рассмотрим в качестве примера жителя города российского города с населением 1 млн. жителей (например, города Перми), работающего по стандартному графику и добирающегося до места работы на каком-либо виде транспорта. Допустим, в нормальных условиях он тратил бы на проезд 20-30 мин и относился бы к этим затратам времени как к неизбежным. Но когда эти временные рамки возрастают в несколько раз, причем не по субъективным причинам, этот человек будет относить личное время, потраченное на проезд до работы, к категории рабочего.

Для укрупненной стоимостной оценки экономии времени пассажиров можно применить валовой показатель, рассчитанный на основе ВРП конкретного региона. В этом случае стоимостная оценка 1 чел.-часа экономии времени может быть определена по формуле [152,153]:

$$S = \frac{ВРП}{365 \cdot 24 \cdot N_p} \quad (3.10)$$

Где

S – стоимостная оценка 1 чел.-часа экономии времени, руб./чел./ч.;

ВРП – показатель валового регионального продукта региона, руб./год;

365 – число дней в году;

24 – число часов в сутках;

N – численность экономически активного населения в стране или регионе, чел.

Таким образом, дополнительные затраты на совершение транспортных корреспонденций ведут к экономическим потерям, выраженным в недоработанных часах и, как следствие, потерям ВРП.

Такой подход дает возможность оценить целесообразность проведения мероприятий по изменению каких-либо параметров транспортной системы города, в частности затратных, связанных с дорожным строительством и реконструкцией действующей УДС. Выбор того или иного способа расчета и оценки транспортных издержек при реализации транспортных корреспонденций определяется конкретной постановкой задачи.

Оценка времени реализации транспортных корреспонденций используется преимущественно при анализе качества проектных решений в области совершенствования организации дорожного движения. Экономическая оценка изменения затрат на реализацию транспортных перемещений производится чаще при оценке сроков окупаемости проектов и управленческих решений в области транспортного планирования, строительства и реконструкции элементов улично-дорожной сети городов.

3.2.2. Методика формализации и оценки транспортного спроса. Транспортная зависимость территории

Общий объем транспортного спроса, приходящийся на каждую отдельную часть городской территории, является для нее внешним и определяется из общего пространственного анализа дислокации мест генерации и потребления транспортных потоков на всей исследуемой области. Технологии подобного анализа, основанные на различных методах обработки эмпирических данных, опросов жителей, подробно изложены в литературе [154].

Анализ распределения найденного транспортного спроса по исследуемой территории предлагается проводить без учета имеющегося транспортного предложения, оценивая абсолютную (максимально возможную) транспортную нагрузку на единицу ее площади. Для этих целей предлагается ввести новый показатель – «транспортная зависимость территории», однозначно и точно определяемый расчетным путем, связывающий пространственные характеристики отдельных городских территорий с общим объемом транспортного спроса в городе и имеющий размерность чел. км в сутки.

Транспортная зависимость территории – это объем перемещения по ней пассажиров или грузов (чел • км) в течение дня при идеальном удовлетворении существующего транспортного спроса. Величина транспортной зависимости для каждого конкретного участка территории города будет определять ограничения при построении оптимизационной задачи функционирования транспортных систем. Это некая характеристика, описывающая предельное состояние транспортной сети на отдельной городской территории.

Для понимания смысла параметра удобна его геометрическая интерпретация. На рис. 3.18 представлено деление территории города на транспортные районы, которые в модели транспортного спроса являются генераторами и потребителями транспортных потоков (источниками и стоками транспортного движения). Точность итоговой модели транспортного спроса в большой степени определяется детализацией области (территории города).

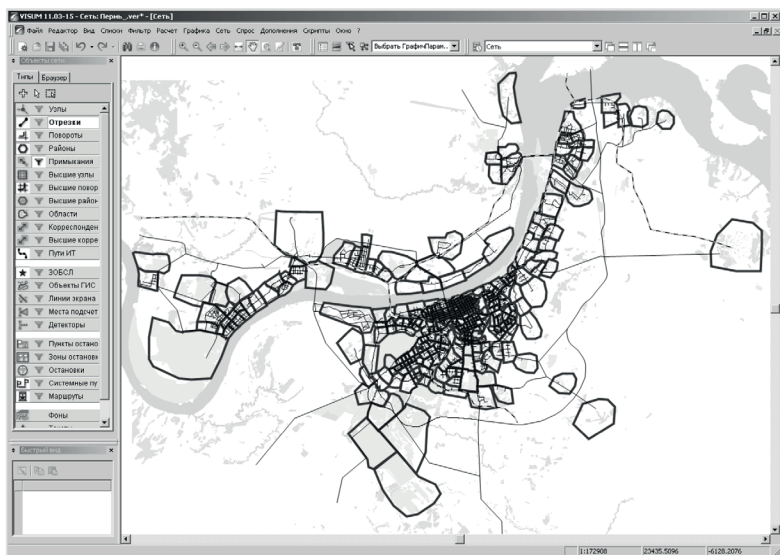


Рис. 3.18. Картограмма деления территории российского города с населением 1 млн жителей на примере города Перми на транспортные районы

Модель транспортного спроса российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми использует 380 транспортных районов.

Границы транспортных районов установлены исходя из следующих принципов:

- использование линий естественных и искусственных преград (реки, линии железных дорог и т. д.);
- соблюдение административного районирования территории;
- учет функционального зонирования территории города;
- сохранение сложившихся кварталов застройки;
- недопущение районов вытянутой конфигурации.

Объем спроса на передвижение между транспортными районами города определяют на основе методики, изложенной выше. Перемещение из района в район будем называть корреспонденцией, которая измеряется в количестве людей, перемещающихся из одного района в другой в течение суток. Весь существующий на территории транспортный спрос можно выразить в виде матрицы корреспонденций. Корреспонденции могут осуществляться с разными целями (поездки домой, на работу, учебу, к местам приложения труда в сфере услуг). Различают корреспонденции на общественном и индивидуальном транспорте. Для каждого вида и целей корреспонденций строят отдельные матрицы, которые также называют матрицами корреспонденций.

На рис. 3.19 в виде паука корреспонденций графически представлен весь рассчитанный объем транспортного спроса в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Напомним, что паук корреспонденций – это набор парных связей источник-цель всех транспортных корреспонденций, реализуемых в городе в течение суток.

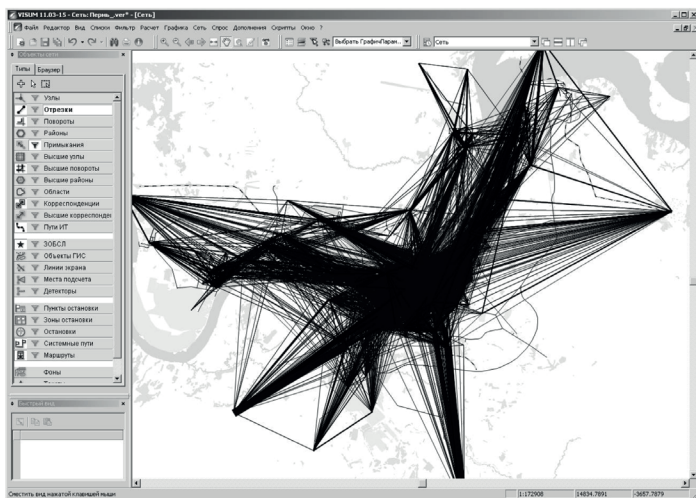


Рис. 3.19. Паук транспортных корреспонденций российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Задача расчета параметров транспортной зависимости территорий для произвольных областей может решаться как численно, так и аналитически – методом геометрического погружения.

Выделив произвольный фрагмент территории города r (рис. 3.20), можно аналитически получить суммарный средневзвешенный объем долей транспортных корреспонденций, проходящих через выделенную территорию. На рис. 3.20 эта территория представлена в виде выпуклого пятиугольника. В дальнейшем такой фрагмент территории будем называть областью исследования.

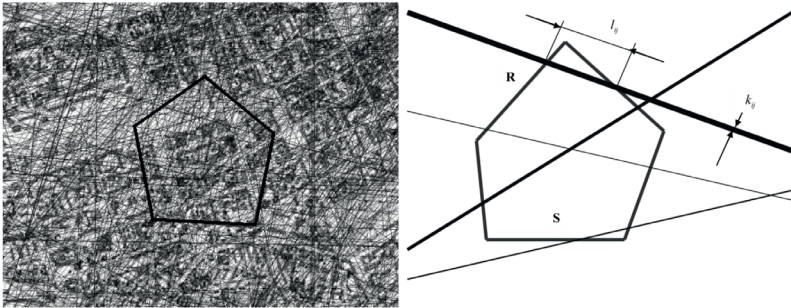


Рис. 3.20. Область исследования в виде выпуклого пятиугольника

k_{ij} – объем корреспонденций из i – го района в j – й; l_{ijr} – доля транспортных корреспонденций i – го района в j – й, проходящих через область исследования r

Город разделен на n – транспортных районов. Пусть T – множество точек координат центров тяжести (центров притяжения) транспортных районов города, $T = t_1, t_2, \dots, t_n$.

Координаты центров районов:

$$\bar{X}_t = \begin{Bmatrix} x_{t1} \\ x_{t2} \\ \vdots \\ x_{tn} \end{Bmatrix} \quad \bar{Y}_t = \begin{Bmatrix} y_{t1} \\ y_{t2} \\ \vdots \\ y_{tn} \end{Bmatrix}$$

Известна матрица корреспонденций между районами города:

$$K = \begin{Bmatrix} 0 & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & 0 & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & 0 \end{Bmatrix}$$

где k_{ij} – объем корреспонденций из i – го района в j – й за сутки.

Требуется отыскать предельную, теоретически возможную загрузку произвольно заданных выпуклых областей на территории города движением моторизованного транспорта. Количество областей исследования обозначим E .

Пусть область задана выпуклым многоугольником r , образованным m вершинами. Известны координаты вершин многоугольника:

$$\bar{X}_r = \begin{Bmatrix} x_{r1} \\ x_{r2} \\ \vdots \\ x_{rm} \end{Bmatrix} \quad \bar{Y}_r = \begin{Bmatrix} y_{r1} \\ y_{r2} \\ \vdots \\ y_{rm} \end{Bmatrix}$$

Задача сводится к отысканию суммы долей всех корреспонденций, проходящих через заданную (исследуемую) область при наличии идеального (полного) транспортного предложения.

Аналитическое решение задачи потребует функционального описания модели транспортного спроса. Для этого построим уравнения прямых, которые соединяют центры районов, и запишем их с помощью три матрицы следующим образом:

$$At \cdot x + Bt \cdot y + Ct = 0, \quad (3.11)$$

Где

$$At = \begin{Bmatrix} 0 & a_{t12} & \cdots & a_{t1n} \\ a_{t21} & 0 & \cdots & a_{t2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & 0 \end{Bmatrix} \quad Bt = \begin{Bmatrix} 0 & b_{t12} & \cdots & b_{t1n} \\ b_{t21} & 0 & \cdots & b_{t2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & 0 \end{Bmatrix}$$

$$Ct = \begin{Bmatrix} 0 & c_{t12} & \cdots & c_{t1n} \\ c_{t21} & 0 & \cdots & c_{t2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & 0 \end{Bmatrix}$$

Где

$$a_{ij} = y_{ij} - y_{ti},$$

$$b_{ij} = x_{ii} - x_{ij},$$

$$c_{ij} = y_{ii} \cdot x_{ij} - x_{ii} \cdot y_{ij}.$$

Аналогично в матричном виде представим исследуемую выпуклую область, для чего построим уравнения прямых, задающих выпуклый многоугольник:

$$Ar \cdot x + Br \cdot y + Cr = 0, \quad (3.12)$$

где

$$Ar = \begin{Bmatrix} a_{r1} \\ a_{r2} \\ \vdots \\ a_{rm} \end{Bmatrix} \quad Br = \begin{Bmatrix} b_{r1} \\ b_{r2} \\ \vdots \\ b_{rm} \end{Bmatrix} \quad Cr = \begin{Bmatrix} c_{r1} \\ c_{r2} \\ \vdots \\ c_{rm} \end{Bmatrix}$$

где

$$a_{ri} = y_{ri+1} - y_{ri},$$

$$b_{ri} = x_{ri} - x_{ri+1},$$

$$c_{ri} = y_{ri} \cdot x_{ri+1} - x_{ri} \cdot y_{ri+1}$$

Для x_{m+1} и y_{m+1} взять значения x_{r1} и y_{r1} соответственно.

Затем сформируем матрицу длин отрезков прямых, соединяющих центры районов, находящихся в заданном выпуклом многоугольнике r :

$$L_r = \begin{Bmatrix} 0 & l_{12r} & \dots & l_{1nr} \\ l_{21r} & 0 & \dots & l_{2nr} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ l_{n1r} & l_{n2r} & \dots & 0 \end{Bmatrix}$$

Элементы матрицы L_r представляют собой долю всех корреспонденций, проходящих через область исследования, таким образом:

l_{ijr} - доля корреспонденции между i -м и j -м транспортными районами, проходящая в исследуемой области r .

Кроме того, при формировании матрицы важно учесть то, как проходит каждая корреспонденция через исследуемую область: транзит; въезд/выезд; корреспонденции внутри области. Способ прохождения области будет определять, каким образом рассчитывается длина отрезка, находящегося в области (рис. 3.21).

Через область проходят маршруты, соединяющие центры транспортных районов: А, В, С, D. Возможны три типа прохождения маршрута через исследуемую область r :

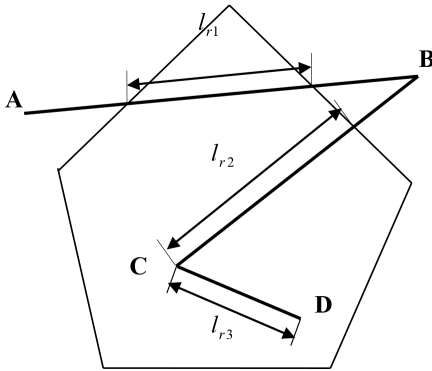


Рис. 3.21. Исследуемая область r . Типы прохождения корреспонденций (маршруты корреспонденций)

1-й тип (А – В) транзит – маршрут пересекает границы исследуемой области в двух точках;

2-й тип (В – С) въезд/выезд – маршрут пересекает границы исследуемой области в одной точке;

3-й тип (С – D) внутри области – маршрут не пересекает границы исследуемой области, а центры находятся внутри области.

Для каждого типа прохождения маршрута в области обозначим сумму долей корреспонденций и транспортную зависимость, как:

l_{rs} – сумма длин отрезков, находящихся в области r , типа s (км);

G_{rs} – транспортная зависимость в области r , для корреспонденций типа s (чел • км в сутки);

$$r = 1, 2, \dots, E; s = 1, 2, 3$$

Подробно рассмотрим методику определения суммы долей всех корреспонденций, проходящих через область исследования (l_{rs}), и установления транспортной зависимости области (G_{rs}) с учетом типа прохождения маршрута, где r – номер области исследования, s – тип прохождения маршрута.

Для этого найдем точки пересечения поочередно для прямых, соединяющих центры районов $At \cdot x + Bt \cdot y + Ct = 0$ с каждой прямой, проходящей через стороны выпуклого многоугольника $Ar \cdot x + Br \cdot y + Ct = 0$. Проверим, принадлежат ли полученные точки пересечения прямым отрезкам, которые являются сторонами выпуклого многоугольника (r), и отрезкам, соединяющим центры транспортных районов. В случае, если точка принадлежит обоим отрезкам, она фиксируется.

При анализе общего количества полученных фиксированных точек можно обнаружить три случая:

- а) нет ни одной фиксированной точки;
- б) есть только одна фиксированная точка;
- в) есть две фиксированные точки.

Рассмотрим эти случаи более подробно.

В случае, когда *нет ни одной фиксированной точки*, осуществляется проверка с целью установления того, принадлежат ли одновременно центры i -го и j -го районов области выпуклого многоугольника. Это означает, что центры транспортных районов находятся внутри области, или 3-ий тип прохождения маршрута через область r .

Тогда l_{ijr} (доля корреспонденций) находится как расстояние между центрами i -го и j -го районов и суммируется в G_{r3} ; а значение $k_{ij} \cdot l_{ijr}$ (транспортная зависимость) суммируется в G_{r3} .

Если есть *только одна* (x_{pk}, y_{pk}) *фиксированная точка*, то требуется проверка принадлежности центров i -го или j -го районов области выпуклого многоугольника. Если один из центров районов принадлежит области выпуклого многоугольника, то это второй тип прохождения маршрута через область (въезд/выезд). Тогда l_{ijr} (доля корреспонденций) находится как расстояние между центром района (входящего в выпуклый многоугольник) и фиксированной точкой (x_{pk}, y_{pk}) . Тогда l_{ijr} суммируется в l_{r2} , $k_{ij} \cdot l_{ijr}$ (транспортная зависимость) суммируется в G_{r2} .

Наличие двух фиксированных точек (x_{p1}, y_{p1}) и (x_{p2}, y_{p2}) - это первый тип прохождения маршрута через область (транзит). Тогда l_{ijr} находится как расстояние между фиксированными точками и суммируется в l_{r1} , $k_{ij} \cdot l_{ijr}$ суммируется в G_{r1} .

Таким образом, исследуются все маршруты, проходящие через выделенную для исследования область r .

Итоговый расчет транспортной зависимости области находится как:

$$G_r = G_{r1} + G_{r2} + G_{r3}, \quad (3.13)$$

где G_r транспортная зависимость области r [чел · км в сутки];

$$G_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot l_{ijr}, \quad (3.14)$$

где $i \neq j$; k_{ij} - значение элемента матрицы (объем) корреспонденций между i -м и j -м транспортными районами; l_{ijr} - доля корреспонденции между i -м и j -м транспортными районами, попадающая в исследуемую область r .

Приведем пример расчета транспортной зависимости исследуемой области. На рис. 3.22 введены следующие обозначения: $r = 1$ - область исследования; 1, 2, 3, 4 - центры транспортных районов.

Необходимо найти транспортную зависимость области $1-G_1$. Для этого следует рассмотреть все корреспонденции, проходящие через указанную область, в нашем случае это 4 транспортных района.

Матрица длин отрезков прямых, соединяющих центры районов, находящихся в заданном выпуклом многоугольнике 1, будет иметь вид:

$$L_1 = \begin{Bmatrix} 0 & l_{121} & l_{131} & l_{141} \\ l_{211} & 0 & l_{231} & l_{241} \\ l_{311} & l_{321} & 0 & l_{341} \\ l_{411} & l_{421} & l_{431} & 0 \end{Bmatrix}$$

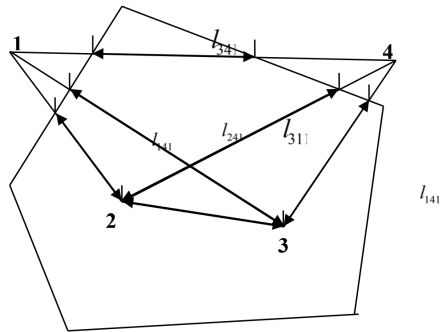


Рис. 3.22. Транспортная зависимость исследуемой области

Матрица корреспонденций между рассматриваемыми районами:

$$K = \begin{Bmatrix} 0 & k_{12} & k_{13} & k_{14} \\ k_{21} & 0 & k_{23} & k_{24} \\ k_{31} & k_{32} & 0 & k_{34} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & 0 \end{Bmatrix}$$

Следует произвести расчет значений l_{ij1} в зависимости от типа прохождения рассматриваемой области 1. Для этого будем рассматривать каждую корреспонденцию по отдельности. Кроме этого, введем понятие транспортной зависимости для корреспонденций определенного типа, то есть G_{1s} – транспортная зависимость в области 1, для корреспонденций типа s (чел • км в сутки).

Тогда корреспонденция из района 1 в 2 будет внутренней, поэтому l_{121} и l_{211} будут рассчитываться как расстояние между центрами районов и тогда транспортные зависимости будут суммироваться к G_{13} таким образом:

$$K_{12} \cdot l_{121} + k_{21} \cdot l_{211} = G_{13} \tag{3.15}$$

Корреспонденции между 1-3, 2-3, 1-4, 2-4 районами относятся к корреспонденциям въезд-выезд и имеют одну фиксированную точку при пересечении со сторонами исследуемой области, тогда доли транспортных корреспонденций будут рассчитываться как расстояние между фиксированной точкой и центром транспортного района, лежащего внутри области исследования, а транспортная зависимость G_{R2} будет равна:

$$G_{12} = K_{13} \cdot l_{131} + k_{14} \cdot l_{141} + K_{23} \cdot l_{231} + k_{24} \cdot l_{241} + \\ + K_{31} \cdot l_{311} + k_{32} \cdot l_{321} + K_{41} \cdot l_{411} + k_{42} \cdot l_{421} \quad (3.16)$$

Корреспонденции между 3-4 районами относятся к корреспонденциям транзитного типа и имеют две фиксированных точки при пересечении со сторонами исследуемой области, тогда доли транспортных корреспонденций будут рассчитываться как расстояние между фиксированными точками, а транспортная зависимость G_{11} будет равна:

$$G_{11} = K_{34} \cdot l_{341} + k_{43} \cdot l_{431} \quad (3.17)$$

Таким образом, транспортная зависимость для области 1 равна:

$$G_1 = G_{11} + G_{12} + G_{13} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 k_{ij} \cdot l_{ij1} \quad (3.18)$$

Практический смысл найденного параметра G_r заключается в том, что найденная величина для каждого конкретного участка территории города будет определять целесообразность и виды возможных административных (управленческих) ограничений на доступ к участкам УДС внутри данной территории. Чем больше величина G_r , тем сильнее транспортная нагрузка в рассматриваемой области, и наоборот. Анализ этого параметра позволит в качестве локальной задачи, например, дать теоретическое обоснование закрытия (ограничения) доступа к участкам УДС центральных районов городов и вообще любых городских территорий произвольных размеров и конфигурации [1,155].

3.2.3. Дифференцированные показатели качества функционирования транспортных систем городов

Общий показатель качества функционирования транспортной системы выражается через величину транспортных издержек – среднее время реализации транспортных корреспонденций, которое рассчитывается для города в целом, усреднение происходит для всех корреспонденций. Расчет среднего времени реализации транспортных корреспонденций проводится по представленным выше соотношениям.

Рассматривая более подробно показатель транспортных издержек как критерий качества функционирования транспортной системы города можно перейти к оценкам качества системы на отдельных типовых городских территориях. Используем предложенное в главе 2 деление территории города на транспортные зоны.

Проведенный в главе 2 транспортный анализ городской территории показывает существенную неравномерность ее использования под объектами различного назначения. С увеличением расстояния от центра города уменьшается не только плотность освоенных территорий и территорий, используемых под объектами недвижимости, но и общий баланс площадей, занятых под частные владения, и территории общего пользования, используемые под объекты улично-дорожной сети. Аналогичная ситуация наблюдается с развитием инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования.

Нужно учесть, что центральные территории города имеют большую транспортную зависимость, в отличие от территорий, удаленных от центра города, и, следовательно, сложившийся в городе баланс использования территории, в частности под транспортной инфраструктурой, экономически оправдан. Однако это приводит к различию в оценках качества функционирования транспортной системы людьми, проживающими на разных городских территориях.

По аналогии с другими инженерными сетями и объектами обслуживания жители оценивают свою транспортную обеспеченность с учетом проживания на конкретных городских территориях. С одной стороны, различия в этих оценках порождают социальные конфликты, с другой – выравнивание транспортной обеспеченности для всех жителей города на всех территориях экономически неоправданно. Становится очевидным, что повышение качества транспортной системы города является задачей, для решения которой надо не только формировать качественное транспортное предложение, но и создавать условия для изменения транспортного спроса.

Дифференцированная оценка качества транспортной системы подразумевает деление территории города на транспортные зоны четырех типов:

1) городской центр (зона А-1) (1 зона), характерна максимальная деловая активность;

2) центральные районы, прилегающие к городскому центру (зона В-2) (4 зоны), характерны преобладающая высотная застройка и многофункциональное использование территории;

3) удаленные районы (зона С-3) (3 зоны), имеют собственные центры деловой и социальной активности. Перспектива – преобразование данных участков в самостоятельные поселения и их автономизация;

4) обширные участки с низкой плотностью населения (малоэтажные строения) (зона D-4) (2 зоны).

Зонирование территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми показано на рис. 3.23 (см. цветную вклейку), где для некоторой исследуемой области r приведены типы прохождения корреспонденций: АВ – транзитное движение; ВС – пограничное движение; CD – движение внутри области исследования. Для каждого типа территорий рассчитали количество корреспонденций с разбивкой по типам, а также время, затрачиваемое на них.

Предлагается для оценки качества функционирования транспортной системы города ввести понятие – «транспортная обеспеченность территории» (ТОТ). Город должен представлять собой территории (зоны) равной транспортной обеспеченности. Следовательно, цель транспортной политики города – добиваться выравнивания транспортной обеспеченности его территорий.

С целью формализации понятия транспортной обеспеченности предлагается для отдельных городских территорий оценивать объемы транспортных корреспонденций и соответственно время их реализации по трем типам перемещений:

- внутреннее движение в зоне;
- пограничное движение в зоне;
- транзитное движение.

Преследуя цель – выравнивание транспортной обеспеченности территорий города, необходимо дифференцировано оценивать вклад времени реализации корреспонденций каждого типа в общий показатель целевой функции транспортной системы города – среднее время реализации транспортных корреспонденций. В значении целевой функции для транспортной системы города среднее время реализации транспортных корреспонденций различных типов будет входить дифференцировано, с различными весовыми коэффициентами.

В качестве теоретического обоснования целесообразности такого подхода можно отметить несколько моментов, иллюстрирующих сложившийся в транспортных системах многих городов дисбаланс между потребностями в транспортном движении и характером использования существующей в городах транспортной инфраструктуры.

1. Можно отметить, что наращивание транспортной инфраструктуры в центральных частях городов никак не отражается на ее загрузке, при этом растет только интенсивность движения, а также меняется баланс типов транспортных корреспонденций между внутренними, пограничными и транзитными. С ростом транспортного

предложения баланс изменяется в сторону увеличения доли реализации транзитных транспортных корреспонденций.

2. Нарращивание транспортной инфраструктуры в периферийных районах, наоборот, ведет к росту внутренних транспортных корреспонденций.

Итак, транспортная обеспеченность территории будет определяться как среднее время реализации внутренних корреспонденций исследуемой зоны. Согласно схеме, изображенной на рис. 3.24 – это корреспонденции типа CD. Она иллюстрирует выбор корреспонденций, а также принцип расчета параметра TOT.

Шестиугольник – это граница исследуемой области (территории города). Сетка внутри границы области представляет собой фрагмент графа УДС города, находящийся в исследуемой зоне. Как отмечалось выше, рассматриваемые корреспонденции типа CD имеют источник и цель (исток и сток) внутри исследуемой зоны. На приведенной схеме это

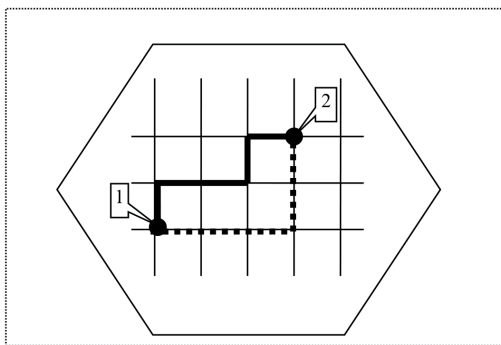


Рис. 3.24. Схема, иллюстрирующая принцип расчета параметра TOT

точки 1 и 2. Для реализации корреспонденций из 1 в точку 2 может существовать множество путей. На рис. 3.24 примеры таких путей отмечены жирной и пунктирной линиями. Каждому из возможных путей реализации корреспонденций можно присвоить свой номер. Таким образом, при расчете TOT рассматривается все множество путей для корреспонденций внутри исследуемой зоны.

На рис. 3.25 (см. цветную вклейку) представлен фрагмент расчетной модели для определения параметров качества транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. В частности, стрелками выделены внутризоновые пути в границах первой зоны – городского центра (зона А).

Возможны два способа определения транспортной обеспеченности территории.

Первый способ представляет собой средневзвешенное по количеству отдельных корреспонденций и их длине значение времени реализации внутренних корреспонденций в исследуемой зоне.

В этом случае значение транспортной обеспеченности территории будет найдено как:

$$TOT = \frac{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD} \cdot t_{kCD}}{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD}} \quad (3.19)$$

где TOT_1 – транспортная обеспеченность территории, c ; k – порядковый номер пути типа CD в исследуемой зоне; x_{kCD} – количество корреспонденций на k -м пути типа CD за сутки; t_{kCD} – время совершения корреспонденций на k -м пути типа CD, c ; l_{kCD} – длина k -го пути типа CD, м.

Второй способ расчета представляет собой средневзвешенное по количеству корреспонденций отношение их длин ко времени их реализации. В этом случае значение транспортной обеспеченности территории будет найдено как:

$$TOT = \frac{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD}}{\sum_k x_{kCD} \cdot t_{kCD}} \quad (3.20)$$

где TOT_2 – транспортная обеспеченность территории, м/с.

Таким образом, TOT_1 , рассчитанная по первому способу, представляет собой время и измеряется в секундах, а TOT_2 , рассчитанная по второму способу, представляет собой скорость и измеряется в метрах в секунду. Оба этих показателя характеризуют качество транспортной системы города на отдельно взятой территории относительно ее жителей.

Оценки будут показывать либо среднее время, которое затрачивает житель этой территории (зоны) для совершения внутризональных корреспонденций, либо скорость, с которой транспортная система позволит ему эти корреспонденции совершить. Эти две оценки, с одной стороны, будут оценивать существующее в исследуемой зоне транспортное предложение с точки зрения проживающего на этой территории жителя, а с другой стороны – потенциал для изменения структуры транспортного спроса на территории.

Понятно, что увеличение ее транспортной обеспеченности (увеличение скорости, либо снижение времени реализации транспортных корреспонденций) будет стимулировать и изменение структуры транспортного спроса в сторону увеличения доли внутренних корреспонденций.

Транспортная обеспеченность территории имеет единицы измерения – время или скорость, поэтому территориями равной транс-

портной обеспеченности будут являться те из них, для которых значения TOT будут равны.

По аналогии с транспортной обеспеченностью территории можно ввести понятия транспортной обеспеченности доступа к территории и транспортной обеспеченности транзита через территорию.

Транспортная обеспеченность доступа к территории (TOD) будет определяться как среднее время реализации пограничных корреспонденций внутри исследуемой зоны. Согласно схеме, изображенной на рис. 3.26 (принцип выбора корреспонденций для расчета (TOD)), это корреспонденции типа ВС.

Как отмечалось выше, шестиугольник – это граница исследуемой области (территории города), а сетка внутри нее – фрагмент графа УДС города.

Рассматриваемые корреспонденции типа ВС имеют исток внутри исследуемой зоны, на приведенной схеме это точка 1. Сток корреспонденции находится за пределами зоны (точка 2). Примеры путей из точки 1 в точку 2 отмечены жирной и пунктирной линиями.

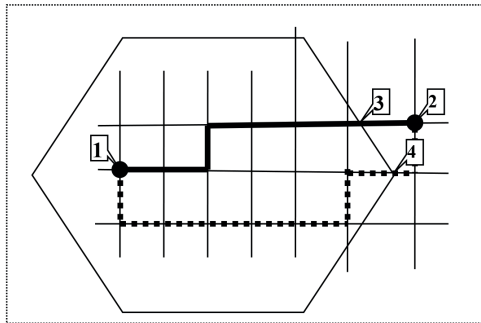


Рис. 3.26. Схема, иллюстрирующая принцип расчета параметра TOD

При расчете TOD будут учитываться только части путей, проходящие внутри зоны, в примере это пути от точки 1 и до точек выхода за границы исследуемой зоны (точки 3 и 4). Каждому из возможных путей реализации корреспонденций можно присвоить свой номер. При этом рассматриваются все возможные пути для корреспонденций с истоком внутри исследуемой зоны и стоком за ее пределами.

На рис. 3.27 (см. цветную вклейку) представлен фрагмент расчетной модели для определения параметров транспортной обеспеченности доступа к территории для зоны А российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Стрелками выделены пограничные пути в границах первой зоны – городского центра (зона А).

Для определения транспортной обеспеченности доступа к территории так же, как и для определения транспортной обеспеченности территории, возможны два способа:

$$1. \quad TOD = \frac{\sum_k x_{kBC} \cdot l_{kBC} \cdot t_{kBC}}{\sum_k x_{kBC} \cdot l_{kBC}}, \quad (3.21)$$

где TOD_1 – транспортная обеспеченность доступа к территории, с; k – порядковый номер пути типа ВС в исследуемой зоне; x_{kBC} – количество корреспонденций на k -м пути типа ВС за сутки; t_{kBC} – время совершения корреспонденций на k -м пути типа ВС внутри территории, с; l_{kBC} – длина k -го пути типа ВС внутри территории.

$$2. \quad TOD = \frac{\sum_k x_{kBC} \cdot l_{kBC}}{\sum_k x_{kBC} \cdot t_{kBC}} \quad (3.22)$$

где TOD_2 – транспортная обеспеченность доступа к территории, м/с.

Аналогично TOT_1 , первый способ – это средневзвешенное по количеству отдельных корреспонденций и их длине значение времени реализации внутренних корреспонденций в исследуемой зоне, измеряется в секундах, а второй способ расчета – средневзвешенное по количеству корреспонденций отношение длин корреспонденций ко времени их реализации, представляет собой скорость и измеряется в метрах в секунду.

Транспортная обеспеченность транзита через территорию (TOTR) будет определяться как среднее время реализации транзитных корреспонденций, проходящих по ее территории. Согласно схеме, изображенной на рис. 3.28 (принцип выбора корреспонденций для расчета TOTR), это корреспонденции типа АВ.

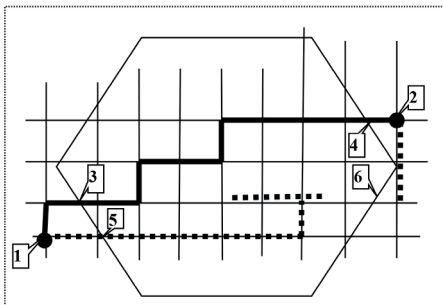


Рис. 3.28. Схема, иллюстрирующая принцип расчета параметра TOTR

В шестиугольнике заключен фрагмент графа УДС города. Как отмечалось выше, рассматриваемые корреспонденции типа АВ имеют исток и сток за пределами зоны, на приведенной схеме это точки 1 и 2. На рис. 3.28 даны возможные примеры путей из точки 1 в точку 2, отмеченные линиями – жирной и пунктирной. При расчете TOTR будут учитываться только части путей, проходящие внутри зоны,

отмеченные линиями – жирной и пунктирной. При расчете TOTR будут учитываться только части путей, проходящие внутри зоны,

в нашем примере это отрезки пути между точками выхода из исследуемой зоны 3-4 и 5-6. У каждого из возможных путей реализации корреспонденций должен быть свой номер. При этом рассматривается все множество путей для корреспонденций с истоком и стоком за пределами исследуемой зоны, проходящих через исследуемую зону.

На представленном фрагменте расчетной модели для определения параметров обеспеченности транзита через территорию зоны А российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (рис. 3.29) (см. цветную вклейку) стрелками выделены транзитные пути в границах первой зоны – городского центра (зона А).

Для определения транспортной обеспеченности транзита через территорию, аналогично TOT и TOD, возможны два способа:

$$1. \quad TOTR = \frac{\sum_k x_{kAB} \cdot l_{kAB} \cdot t_{kAB}}{\sum_k x_{kAB} \cdot l_{kAB}} \quad (3.23)$$

где $TOTR_1$ – транспортная обеспеченность доступа к территории, с; k – порядковый номер пути типа АВ в исследуемой зоне; x_{kAB} – количество корреспонденций на k -м пути типа АВ за сутки; t_{kAB} – время совершения корреспонденций на k -м пути типа АВ, внутри территории, с; l_{kAB} – длина k -го пути типа АВ, внутри территории, м.

$$2. \quad TOTR = \frac{\sum_k x_{kAB} \cdot l_{kAB}}{\sum_k x_{kAB} \cdot t_{kAB}} \quad (3.24)$$

где $TOTR_2$ – транспортная обеспеченность доступа к территории, м/с.

Первый способ – это средневзвешенное по количеству отдельных корреспонденций и их длине значение времени реализации внутренних корреспонденций в исследуемой зоне, измеряемое в секундах, второй способ – средневзвешенное по количеству корреспонденций отношение длин корреспонденций ко времени их реализации, представляет собой скорость и измеряется в метрах в секунду.

С точки зрения внутреннего восприятия человеком своей транспортной обеспеченности различные типы поездок по их значимости стоят в определенной последовательности для каждой из территорий:

- внутреннее движение в зоне – параметр транспортной обеспеченности территории (TOT);
- пограничное движение в зоне – параметр транспортной обеспеченности доступа к территории (TOD);

– транзитное движение – параметр транспортной обеспеченности транзита через территорию (*TOTR*).

Реализация потребностей во внутреннем движении гораздо важнее для жизни человека, чем движение с пограничными целями или транзитное движение через территорию, где он проживает. Последнее рассматривается жителями территории как определенный негативный фактор.

Разбив город на отдельные транспортные зоны, можно рассматривать каждую из них как самостоятельный город со своей транспортной системой. Очевидно, что оценка качества работы такой локальной транспортной системы будет зависеть от времени реализации именно внутренних корреспонденций, реализуемых жителями этого условного города, а не пограничных и тем более не транзитных, которые будут осуществляться даже не жителями этой территории.

Поэтому при дифференцированной оценке качества функционирования транспортной системы города в первую очередь следует рассматривать качество (время реализации) удовлетворения внутренних транспортных корреспонденций.

В качестве примера дадим дифференцированную оценку транспортной системе населенного пункта Кондратово Пермского района Пермского края. Для его жителей транзитным транспортом можно считать самолеты, глиссадная плоскость следования которых до аэропорта Б.Савино проходит как раз над этим населенным пунктом, после чего самолеты осуществляют посадку в центральном аэропорту города. На жителей Кондратово эти самолеты оказывают очевидное негативное влияние в части шумового воздействия.

Однако ремонт проезжей части в населенном пункте уменьшает время осуществления корреспонденций внутри территории и выездов из нее, сокращая транспортные затраты жителей. Это впоследствии способствует развитию территории: строительству жилых и административных объектов, открытию организаций, оказывающих услуги населению.

На примере Кондратово рассмотрим, в чем смысл найденного значения *TOT*. Данный населенный пункт связан с территорией города Перми двумя транспортными связями. Один из выездов находится в нормативном техническом состоянии, что позволяет жителям быстро осуществлять корреспонденции видов ВС и СД, а второй выезд – в ненормативном состоянии, и это затрудняет транзитный проезд жителям города Перми через Кондратово. Тем не менее, основная часть жителей сообщается с городом именно через первый

выезд, поэтому время совершения корреспонденций ВС и СД будет меньше, чем АВ.

Таким образом, для жителей Кондратово безразлично время совершения корреспонденций типа АВ через их населенный пункт.

Таблица 3.5

Параметры транспортной обеспеченности TOT, TOD и TOTR для каждой зоны, рассчитанные первым способом

Номер Зоны	TOT, ч	TOD, ч	TOTR, ч
1	0,20	0,32	0,82
2	0,74	0,75	1,06
3	0,23	0,32	0,64
4	0,37	0,28	0,79
5	0,50	0,45	0,70
6	0,32	0,44	0,74
7	0,27	0,96	0,90
9	0,25	0,32	0,69
10	0,18	0,34	0,79

Таблица 3.6

Параметры транспортной обеспеченности TOT, TOD и TOTR для каждой зоны, рассчитанные вторым способом

Номер Зоны	TOT, км/ч	TOD, км/ч	TOTR, км/ч
1	15,98	12,73	11,27
2	10,64	10,90	13,99
3	16,27	13,72	12,44
4	14,53	17,29	12,54
5	14,52	14,28	13,66
6	21,65	17,55	13,63
7	23,17	11,64	13,74
9	15,03	18,42	12,17
10	31,31	18,24	16,39

Оригинальность дифференцированного подхода оценки качества функционирования транспортных систем городов заключается в том, что производится разделение корреспонденций по типам. Для каждой территории рассчитывается транспортная обеспеченность

территории, транспортная обеспеченность доступа к территории и транспортная обеспеченность транзита через территорию. В результате каких-либо изменений в транспортном предложении или в транспортном спросе, будет возможность оценить, как повлияли изменения на ту или иную территорию.

Имея дифференцированные показатели качества функционирования транспортной системы, можно сформулировать и интегральный показатель качества транспортной системы на отдельной i -ой территории. Это будет некоторая линейная функция от дифференцированных параметров TOT , TOD и $TOTR$:

$$TI_{cpi} = f(TOT, TOD, TOTR) \quad (3.25)$$

Ввиду того, что для каждого человека важно именно то, какие по типу корреспонденции совершаются внутри территории его проживания, необходимо ввести коэффициенты, которые будут учитывать предпочтения людей. Такими коэффициентами являются $\beta_{AB}, \beta_{BC}, \beta_{CD}$. Для каждого человека тип корреспонденции играет одинаковую роль, независимо от зоны, в которой он живет. В связи с этим, значения коэффициентов $\beta_{AB}, \beta_{BC}, \beta_{CD}$ для разных территорий будут одинаковыми. Тогда:

$$TI_{cpi} = \beta_{AB}TOTR_i + \beta_{BC}TOD_i + \beta_{CD}TOT_i \quad (3.26)$$

где TI_{cpi} - интегральный показатель качества транспортной системы на отдельной i -ой территории; $\beta_{AB}, \beta_{BC}, \beta_{CD}$ - весовые коэффициенты дифференциальных показателей качества транспортной системы $TOTR$, TOD и TOT .

При учете весовых коэффициентов со следующими значениями $\beta_{A,B} = 0, \beta_{B,C} = 0,3 \beta_{C,D} = 0,7$ для каждой зоны получим значения показателей TI_{cpi} .

Так как среднее время корреспонденции в зоне зависит от протяженности УДС внутри территории, необходимо учесть протяженность УДС при расчете параметра интегральной транспортной обеспеченности для всего города. Для этого введем весовые коэффициенты a_1, \dots, a_{10} (табл. 3.7). Тогда среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций с учетом коэффициентов для территорий будет рассчитываться как:

$$TI_{cp} = \alpha_1 TI_{cpi1} + \alpha_2 TI_{cpi2} + \dots + \alpha_{10} TI_{cpi10} \quad (3.27)$$

где TI_{cp} - среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций для города; TI_{cpi} - среднее интегральное вре-

мя реализации транспортных корреспонденций для i -ой зоны; a_1, \dots, a_{10} – весовые коэффициенты, рассчитываемые следующим образом:

$$\alpha_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^{10} S_j} \quad (3.28)$$

где S_i - площадь УДС внутри зоны i .

Таблица 3.7

Среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций с учетом весовых коэффициентов

Номер зоны	Значение весового коэффициента a_i	$ТИ_{срi}$, мин.
1	0,151399	0,236
2	0,239446	0,743
3	0,063588	0,257
4	0,134986	0,343
5	0,075356	0,485
6	0,113541	0,356
7	0,114673	0,477
9	0,041136	0,271
10	0,064528	0,228

Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми значение параметра интегрального времени реализации транспортных корреспонденций (качества транспортной системы) будет равно:

$$ТИ_{ср} = 0,433_q = 25,98 \text{ мин.}$$

Для каждой зоны можно определить дефицит транспортной обеспеченности, сравнивая значения $ТИ_{срi}$ для каждой зоны со значением $ТИ_{ср}$. Если разности $ТИ_{ср} - ТИ_{срi}$ отрицательны, можно говорить о дефиците транспортной обеспеченности для исследуемой зоны, так как затраты на совершение в ней корреспонденций превышают средние по городу. Для российского города с населением 1 млн.

жителей на примере города Перми дефицит транспортной обеспеченности прослеживается для зон 2, 5 и 7.

3.2.4. Показатели качества транспортного планирования и методы их оценки

Оценке показателей качества жизни людей на урбанизированной территории, в первую очередь в крупных и крупнейших городах, посвящено много исследований. Создание качественной городской среды связано с совершенствованием транспортных и природно-технических систем [12], в части повышения регенерационного и рекреационного потенциала компонент природной и социальной среды на городской территории с высокой плотностью населения. Очевиден тот факт, что технологии регенерации компонентов среды отстают от темпов роста техногенной нагрузки на неё. Наиболее ярко это проявляется в современных тенденциях развития городов.

Кроме того, эволюционное совершенствование технических компонентов природно-технических систем городов само по себе ограничено ресурсными рамками, прежде всего площадью территории. В связи с этим, представляет интерес рассмотрение проблем качества жизни в городах в контексте ресурсных ограничений, накладываемых на развитие и функционирование городских природно-технических систем.

Одним из важнейших компонентов качества жизни в современном мегаполисе является возможность удовлетворения транспортных потребностей его жителей. Эффективность использования ресурсов с целью удовлетворения спроса на транспортную подвижность в первую очередь связана с эффективностью использования городского пространства и обеспечения пропускных и провозных возможностей действующей улично-дорожной сети.

Методика оценки эффективности реализации транспортного спроса на урбанизированной территории основывается на сопоставлении моделей функционирования на ней различных типов сетей с неизменным транспортным спросом.

Моделирование распределения движения транспорта по территории города проводится последовательно для трех видов состояния транспортной сети:

– *идеальная сеть* – воздушные линии, соединяющие центры транспортных районов;

– *свободная сеть* – реальная действующая УДС города, каждый элемент которой обладает бесконечной пропускной и провозной способностью. При таких допущениях определяющей характеристикой транспортного предложения является только геометрия моделируемой сети.

– *нагруженная сеть* – реальная действующая УДС города, каждый элемент которой обладает конечной пропускной способностью и определяется с эксплуатационными показателями, выведенными в литературных источниках [156,157].

Проведение последовательного анализа функционирования действующей УДС города позволяет оценить в итоговой целевой функции вклад мероприятий транспортного планирования и организации дорожного движения раздельно.

Рассмотрим подходы к моделированию каждого из описанных выше видов состояния сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Для каждого транспортного района задано количество корреспонденций, совершаемых из района i в район j на индивидуальном транспорте ($ИТ$) k_{jit} и на общественном ($ОТ$) $k_{jог}$.

Элемент матрицы k_{jit} измеряется в корреспонденциях индивидуальных автомобилей (авт./сутки). Значения k_{jit} получают путем деления соответствующих элементов матрицы корреспонденций ИТ, измеряемых в корреспонденциях людей, на среднюю наполненность автомобиля (для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в течение дня 1,45 чел./авт.). Количество корреспонденций на $ОТ - k_{jог}$ измеряется в корреспонденциях людей (людей/сутки).

По данным за 2010 г., каждый житель российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, использующий автомобиль, совершает в среднем 5,03 корреспонденции в сутки, в то время как каждый житель, пользующийся ОТ, совершает 2,14 корреспонденции в сутки.

Рассмотрим графическое представление транспортного спроса на рисунке 3.30 в виде паука корреспонденций. Центры транспортных районов соединены отрезками: толщина отрезка пропорциональна количеству корреспонденций, совершаемых из района в район.

Используя предложенное в главе 2 разбиение территории города с шагом на 500 м на исследуемые области (ячейки), можно определить транспортную зависимость для каждой ячейки регулярной сетки. Термин «транспортной зависимости территории» будем исполь-

зовать только для идеальной сети. Для свободной и нагруженной сети эквивалентом будет «транспортное движение на территории», так в рассматриваемых сетях учитывается реальная действующая УДС города.

Транспортное движение на территории – это объем перемещения пассажиров (грузов) по данной территории (чел • км) в течение дня при реализации существующего транспортного спроса в реальной транспортной сети.

Для того чтобы в дальнейшем иметь возможность сравнивать работу идеальной, свободной и загруженной сети, выделим из общего объема транспортного движения на территории две составляющие: транспортное движение для индивидуального транспорта $J_{ИТК}$ и транспортное движение для общественного транспорта $J_{ОТК}$. С учетом средней загруженности индивидуального автомобиля в течение суток, в последующем перейдем к значениям транспортного движения по каждой территории. Таким образом, $J_{ИТК}$ будет измеряться в авт • км, $J_{ОТК}$ в чел • км.

На рисунке 3.30 приведен фрагмент паука корреспонденций в регулярной сетке. Корреспонденции индивидуальных автомобилей отображены в виде отрезков различной толщины. Для идеальной сети при нахождении транспортной зависимости территории необходимо найти длину отрезка, попадающего в зону исследования, и умножить её на количество корреспонденций, совершаемых по этому отрезку.

Для каждой ячейки регулярной сетки были рассчитаны итоговые параметры: транспортная зависимость на территории для индивидуального транспорта $J_{ИТТ}$ и транспортная зависимость территории для общественного транспорта $J_{ОТТ}$ следующим образом.

Для каждого отрезка, соединяющего центры транспортных районов I и J , проверяется принадлежность его части исследуемой ячейке. Если часть отрезка принадлежит ячейке, то рассчитывается длина l_{ijk} .

Тогда показатели транспортной зависимости для индивидуального и для общественного транспорта в k -ой ячейке $J_{ИТТ}$ и $J_{ОТТ}$ найдутся из соотношений:

$$J_{ИТТ} = \sum_i \sum_j l_{ijk} \cdot k_{ИТТ} \quad (3.29)$$

где $J_{ИТТ}$ - транспортная зависимость индивидуального транспорта в k -ой ячейке идеальной сети; l_{ijk} – длина части отрезка, соединяющего i -й и j -й районы, лежащей в k -й ячейке идеальной

сети; k_{jit} - количество корреспонденций на индивидуальном транспорте из района i в район j .

$$J_{отки} = \sum_i \sum_j l_{ijk} \cdot k_{jit} \quad (3.30)$$

где $J_{отки}$ – транспортная зависимость общественного транспорта в k -ой ячейке идеальной сети; l_{ijk} – длина части отрезка, соединяющего i -й и j -й районы, лежащей в k -й ячейке идеальной сети; k_{jit} – количество корреспонденций на общественном транспорте из района i в район j .

Результат распределения транспортной зависимости для индивидуального транспорта на идеальной сети приведен на рисунке 3.31 (см. цветную вклейку).

На рисунке 3.31 видно, что наибольшая транспортная зависимость наблюдается в центральной части города, так как именно она является целью значительной доли транспортных корреспонденций. Кроме того, через нее проходит большая доля транзитно-транспортных корреспонденций.

Территорию города можно условно разделить на 4 зоны в зависимости от величины транспортного движения, приходящегося на каждую ячейку регулярной сетки:

- центральная зона (15001 – 20000 авт. • км/сутки);
- прилегающие к центру зоны (6001 – 15000 авт. • км/сутки);
- удаленные зоны (автономные территории) (1001 – 6000 авт. • км/сутки);
- периферийные зоны (автомагистрали, являющиеся продолжением внешних дорог) (0 – 1000 авт. • км/сутки).

Каждая из зон характеризуется соответствующей плотностью улично-дорожной сети.

Для перехода к анализу существующего транспортного предложения оценим распределение транспортного движения на свободной сети города. Для анализа свободной сети в транспортной модели вместо отрезков паука корреспонденций используется существующая в городе улично-дорожная сеть. Объем транспортных корре-

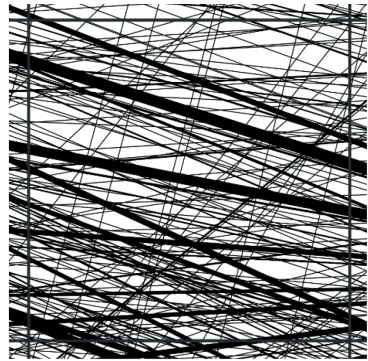


Рис. 3.30. Фрагмент паука корреспонденций на элементарной площадке в сетке разбиения территории города

спонденций из района i в район j обозначим k_{ij} . Распределение корреспонденций на свободной сети осуществляется по существующей УДС по кратчайшему расстоянию. Пример участка УДС в выбранной ячейке изображен на рисунке 3.32.



Рис. 3.32. Фрагмент участка УДС и сетки разбивки. Плотность УДС в ячейке 2,459 км/км²

Расчет автомобиле-километров в сутки в каждой ячейке регулярной сетки проводится следующим образом. Улично-дорожная сеть задается ломаными линиями с координатами начала, конца и промежуточных точек. Для каждой ячейки рассчитывают длины участков УДС, которые принадлежат (хотя бы частично) рассматриваемой ячейке.

Расчитанную длину i -го участка сети в k -й ячейке обозначим l_{ik} . Распределение транспортного спроса в свободной сети создает нагрузку на УДС в виде интенсивностей $q_{ИТСi}$. Тогда объем транспортного движения для ИТ в свободной сети для k -й ячейки обозначается $J_{ИТks}$ и рассчитывается из соотношения:

$$J_{ИТks} = \sum_i l_{ik} \cdot q_{ИТСi} \quad (3.31)$$

где $J_{ИТks}$ – объем транспортного движения для ИТ в свободной сети для k -й ячейки; l_{ik} – длина i -го участка сети в k -й ячейке; $q_{ИТСi}$ – интенсивность ИТ на i -м участке УДС свободной сети.

Аналогично транспортное движение рассчитывается для общественного транспорта $J_{ОТks}$. Распределение пассажиропотоков по маршрутной сети выражается в виде интенсивности пассажиропотока на УДС $q_{ОТСi}$.

$$J_{ОТks} = \sum_i l_{ik} \cdot q_{ОТСi} \quad (3.32)$$

где $J_{ОТks}$ – объем транспортного движения для ОТ в свободной сети для k -й ячейки; l_{ik} – длина i -го участка сети в k -й ячейке; $q_{ОТСi}$ – интенсивность пассажиропотока на i -м участке УДС свободной сети.

Результат распределения транспортного движения на индивидуальном транспорте в свободной сети приведен на рисунке 3.33 (см. цветную вклейку).

Рисунок 3.33 позволяет сделать вывод о том, что нельзя выделить характерные территориальные зоны в зависимости от величины транспортного движения (в отличие от идеальной сети). Однако при сопоставлении картограмм для идеальной и свободной сети можно произвести графический анализ качественного соответствия конфигурации реальной УДС ее идеальному прототипу. Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, например, такое сопоставление указывает на качественное соответствие распределения потенциального транспортного спроса и конфигурации действующей УДС. Кроме того, на картограмме можно выделить отдельные элементы сети, объем движения на которых предполагает наличие максимального транспортного предложения (площади проезжих частей УДС).

Для оценки качества транспортного планирования необходимо произвести сравнение объемов транспортного движения для идеальной и свободной сети. Для каждой области исследования были получены значения транспортной зависимости для ИТ и ОТ (для идеальной сети) и объемы транспортного движения для ИТ и ОТ (для свободной сети). Для идеальной сети полученные значения транспортной зависимости обозначим для индивидуального транспорта $J_{ИТы}$ и для общественного транспорта $J_{ОТы}$. Для свободной сети полученные значения обозначим для транспортного движения индивидуального транспорта $J_{ИТс}$ и общественного транспорта $J_{ОТс}$.

Оценку качества транспортного планирования на территории предлагается проводить на основе оценки взаимосвязи двух ключевых показателей: транспортной зависимости и транспортного движения. Чем сильнее связь этих двух показателей на исследуемой территории, тем ближе к идеальной по своему функциональному назначению находится реальная улично-дорожная сеть города, следовательно, тем выше качество транспортного планирования в городе. Итоговую оценку его качества будем проводить с помощью коэффициента корреляции, который будет оценивать силу связи между указанными параметрами. При расчете коэффициента корреляции используем данные, полученные различными способами, с учетом каждой исследуемой области.

Коэффициент корреляции полученных данных для индивидуального транспорта будет рассчитываться из соотношения:

$$k_{ИТ} = \frac{\sum_k (J_{ИТы} - \overline{J_{ИТ}})(J_{ИТс} - \overline{J_{ИТс}})}{\sqrt{\sum_k (J_{ИТы} - \overline{J_{ИТ}})^2 \sum_k (J_{ИТс} - \overline{J_{ИТс}})^2}} \quad (3.33)$$

где $k_{ИТ}$ - коэффициент корреляции транспортной зависимости и транспортного движения для ИТ;

$$\overline{J_{ИТ}} = \frac{\sum_k J_{ИТk}}{N} \quad - \text{среднее значение транспортной зависимости}$$

в отдельной области для идеальной сети, авт. • км;

$$\overline{J_{ИТкS}} = \frac{\sum_k J_{ИТкS}}{N} \quad - \text{среднее значение транспортного движения}$$

в отдельной области для свободной сети, авт. • км; N – количество областей исследования.

Коэффициент корреляции полученных данных для общественного транспорта рассчитывают из соотношения:

$$k_{ОТ} = \frac{\sum_k (J_{ОТkI} - \overline{J_{ОТI}})(J_{ОТкS} - \overline{J_{ОТS}})}{\sqrt{\sum_k (J_{ОТkI} - \overline{J_{ОТI}})^2 \sum_k (J_{ОТкS} - \overline{J_{ОТS}})^2}} \quad (3.34)$$

где $k_{ОТ}$ – коэффициент корреляции транспортной зависимости и транспортного движения для ОТ;

$$\overline{J_{ОТI}} = \frac{\sum_k J_{ОТkI}}{N} \quad - \text{среднее значение транспортной зависимости}$$

в отдельной области для идеальной сети, чел. • км;

$$\overline{J_{ОТкS}} = \frac{\sum_k J_{ОТкS}}{N} \quad - \text{среднее значение транспортного движения}$$

в отдельной области для свободной сети, чел. • км; N – количество областей исследования.

С помощью коэффициента корреляции можно оценить качество транспортного планирования на всей территории города. Чем ближе значение коэффициента корреляции к единице, тем лучше качество транспортного планирования, так как в этом случае совпадает относительное распределение транспортной зависимости и транспортного движения по территории города.

Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми получено значение коэффициента корреляции транспортного движения для оценки транспортного планирования, для ИТ $k_{ИТ} = 0,558971$, для ОТ $k_{ОТ} = 0,0616194$. Можно отметить, что недостаточно сильная связь между рассматриваемыми показателя-

ми (при полученных коэффициентах корреляции меньше 0,75) свидетельствует о низком качестве транспортного планирования в российском городе с населением 1 млн. жителей.

Прежде всего, это объясняется историческими факторами развития городов, когда происходят процессы изменения их. Особенно сильными эти процессы в России были в середине XX в. Преследуя политические цели, искусственные процессы формирования новых городов на основе слияния отдельных разрозненных поселений порождали негативные тенденции в развитии и функционировании транспортных систем таких новообразований, результаты которых жители многих российских городов ощущают и поныне.

3.2.5. Показатели качества организации дорожного движения в городах и методы их оценки

Транспортное движение в свободной сети дает возможность оценить потребность жителей в перемещениях, но не оценивает при этом возможности существующей УДС. Транспортное движение в нагруженной сети позволяет оценить существующий объем транспортного движения с учетом транспортных задержек и пропускной способности участков существующей УДС. Сравнение объемов транспортного движения для свободной и нагруженной сети позволит дать оценку показателя качества организации дорожного движения.

Необходимо сравнить потребности жителей, представленные в виде транспортного движения в свободной сети, с тем предложением, которое сформировано в настоящий момент, то есть транспортным движением в нагруженной сети. Расчет параметров транспортного движения для индивидуального транспорта $J_{иткс}$ и для общественного транспорта $J_{откс}$ в свободной сети для каждой области исследования был представлен в п. 3.2.3. Рассмотрим более подробно алгоритм получения параметров транспортного движения для ИТ и ОТ в нагруженной сети.

Для нагруженной сети распределение транспортного движения проводится аналогично распределению свободной сети. Отличие процедуры расчета заключается в том, что при построении распределения транспортного спроса в нагруженной сети учитывают сопротивление каждого элемента сети. При этом рассчитывают задержки транспортного потока на перекрестках и перегонах в соответствии с функциями сопротивления каждого элемента сети. Алгоритм рас-

чета перераспределения потоков с учетом сопротивления элементов сети подробно изложен в п. 3.1. Таким образом, нагрузки на улично-дорожную сеть рассчитывают с учетом реализации транспортных корреспонденций за минимально возможное время.

Параметры транспортного движения для индивидуального транспорта $J_{ИТ&N}$ рассчитывают из соотношения:

$$J_{ИТ&N} = \sum_i l_{ik} \cdot q_{ИТ\&N_i} \quad (3.35)$$

где $J_{ИТ&N}$ – объем транспортного движения для индивидуального транспорта в k -й ячейке нагруженной сети; $q_{ИТ\&N_i}$ – интенсивности движения индивидуального транспорта, полученные в результате распределения корреспонденций на сети с учетом сопротивлений в узлах и перегонах (наблюдаемые интенсивности движения); l_{ki} – длина i -го участка сети в k -й ячейке (рис. 3.34).

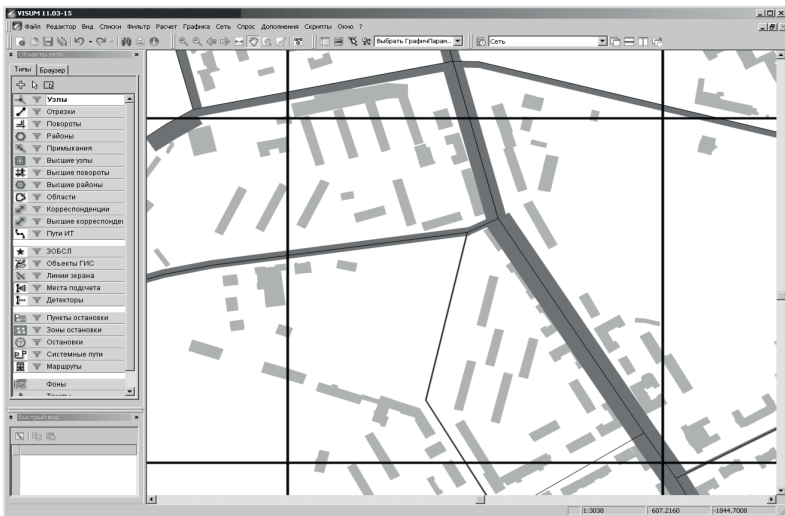


Рис. 3.34. Параметры для расчета объема движения для индивидуального транспорта в k -й ячейке нагруженной сети

Для общественного транспорта нецелесообразно разделять понятия свободной и нагруженной сети, так как движение осуществляется по единой маршрутной транспортной сети в соответствии с расписанием. В связи с этим, параметры движения общественного транспорта для свободной и нагруженной сети совпадают, и дополнительная оценка данного параметра для общественного транспорта не производится.

Организация движения общественного транспорта является принципиально иной задачей, отличной от организации движения индивидуального транспорта. Она сводится к формированию эффективной маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования и оптимального, с точки зрения транспортных потребностей, расписания движения подвижного состава.

Оценку качества организации дорожного движения будем проводить с помощью коэффициента корреляции данных, полученных различными способами, с учетом каждой исследуемой области для свободной и нагруженной сети.

Коэффициент корреляции полученных данных для транспортного движения будет рассчитываться из соотношения:

$$k_{ИТ} = \frac{\sum_k (J_{ИТ\&N} - \overline{J_{ИТ\&N}})(J_{ИТ\&S} - \overline{J_{ИТ\&S}})}{\sqrt{\sum_k (J_{ИТ\&N} - \overline{J_{ИТ\&N}})^2 \sum_k (J_{ИТ\&S} - \overline{J_{ИТ\&S}})^2}} \quad (3.36)$$

где $k_{ИТ}$ – коэффициент корреляции транспортного движения для ИТ;

$$\overline{J_{ИТ\&N}} = \frac{\sum_k J_{ИТ\&N}}{N} \quad \text{– среднее значение транспортного движения}$$

в отдельной области для нагруженной сети;

$$\overline{J_{ИТ\&S}} = \frac{\sum_k J_{ИТ\&S}}{N} \quad \text{– среднее значение транспортного движения}$$

в отдельной области для свободной сети; N – количество областей исследования; $k_{ИТ}$ - обобщенная оценка организации дорожного движения индивидуального транспорта на всей территории города.

Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми получено значение коэффициента корреляции транспортного движения для оценки организации движения для ИТ $k_{ИТ} = 0,971461$.

Полученная оценка корреляционной зависимости говорит о хорошей связи объемов транспортного движения на исследуемой территории в свободной и нагруженной сетях. Это, в свою очередь, свидетельствует о высоком качестве организации дорожного движения на действующей улично-дорожной сети города.

Для оценки качества организации дорожного движения на отдельных локальных участках сети необходимо построить картограм-

му разности интенсивностей движения индивидуального транспорта для свободной и нагруженной сети.

Результат распределения транспортного движения в нагруженной сети приведен на рисунке 3.35 (см. цветную вклейку), где дана картограмма разности прогнозных суточных интенсивностей движения транспорта в свободной и нагруженной УДС, то есть отображены участки УДС, которые в свободной сети являются перегруженными. По представленной картограмме можно проследить, как перераспределяется нагрузка с наиболее нагруженных участков УДС на участки-дублиеры основных направлений.

Картограмма дает представление о качестве организации дорожного движения на действующей УДС города, хотя по ней нельзя судить о ее основных преимуществах и недостатках. Географически не представляется возможным как-либо классифицировать элементы действующей сети с точки зрения изменения нагрузки на них при переходе от свободной к загруженной сети. Смысл данной картограммы заключается в рассмотрении каждого отдельного (а не группы) элемента УДС, с точки зрения определения его возможных резервов в процессе перераспределения транспортных потоков по всей городской УДС.

Дальнейшая оценка эффективности реализации транспортно-го спроса на городской территории сводится к различным формам сопоставления полученных модельных перераспределений транспортных потоков для трех видов состояния сети. Попарное сопоставление параметров использования городских территорий в целях удовлетворения транспортных потребностей населения позволяет оценить качество решения или планировочных задач, или вопросов организации дорожного движения на действующей сети. Еще одним инструментом оценки, имеющим самостоятельное прикладное значение, являются процедуры контроля доступа транспорта к отдельным городским территориям.

На примере центрально-планировочного района (ЦПР) российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми можно провести анализ транспортной зависимости территории, дать количественную оценку распределению по типам движения, а также проанализировать различные мероприятия и управленческие решения, касающиеся оценки времени реализации транспортных корреспонденций.

Одним из широко используемых в практике современного градостроительного проектирования критерием оценки качества жиз-

ни в городах является контроль доступа к территориям, в частности находящимся в центральной части города. Определяющее значение в оценке этого доступа имеет объем транзита через интересующую территорию. Для оценки этого параметра определим количество въезжающих в ЦПР города и выезжающих из него автомобилей и пассажиров ОТ.

Въезжающие и выезжающие потоки были посчитаны для трех областей. Первая, вторая и третья линии подсчета показаны на рисунке 3.36. Пунктирные линии замыкают территории, имеющие особое транспортное значение. Линия 1 ограничивает территорию ЦПР российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Линия 2 описывает так называемое центральное городское ядро, место сосредоточения культурного и исторического архитектурного наследия, элементы которого не позволяют увеличивать площади территорий общего пользования, задействованных в удовлетворении транспортного движения. Линия 3 определяет зону влияния моста через р. Кама и интересна, прежде всего, с точки зрения анализа моста как отдельной транспортной связи.



Рис. 3.36. Линии подсчета въезжающих и выезжающих транспортных потоков в центральные районы города

Из зарубежной практики транспортного планирования городов известно, что одним из важных путей развития УДС города является вывод транспортных потоков из центра. Особую роль в этом решении играет транзитный транспорт. Был проведен расчет величины транспортного транзита через (ЦПР) российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, результаты которого представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Интенсивность движения на отдельных городских территориях

Вид корреспонденций ИТ	Интенсивность, авт./сутки	Доля из общего количества корреспонденций на ИТ, %
Въезжающие в ЦПР	212 000	21
из них: выезжающие (транзит)	18 900	9 ¹
Въезжающие из ЦПР	212 000	21
Не заезжающие в ЦПР	592 000	58
Всего корреспонденций ИТ	1 015 000	100

¹Доля в общем количестве въезжающих в ЦПР.

Таким образом, доля транзитного транспорта в общем объеме транспортного движения в зоне ЦПР составляет 9% от общего количества автомобилей, въезжающих в данную область.

Поэтому строительство дорогостоящих дорожных объектов, проходящих в объезд центра города, не является кардинальным способом разгрузки центра от транзитного движения, так как вывод транзита за пределы ЦПР позволит уменьшить интенсивность движения в центре города не более чем на 9%. Однако при анализе изменения среднего времени реализации транспортных корреспонденций становится очевидным позитивное влияние строительства объездных скоростных магистралей на обобщенные показатели качества функционирования сети.

Предложенные выше алгоритмы оценки функционирования транспортной системы города находятся в плоскости, описываемой координатами: транспортный спрос и транспортное предложение. Исследование действующих транспортных систем в такой системе отсчета является первоначальным этапом исследования транспортных систем и предшествует этапам моделирования распределения транспортных потоков и их движения на отдельных участках.

Предложенный подход позволяет на макроскопическом уровне дать численные оценки качества транспортной системы города и определить потенциал развития такой системы на перспективу.

3.2.6. Динамический анализ качества транспортных систем

Методики оценки качества транспортных систем, изложенные в пп. 3.2.4 и 3.2.5, основывались на анализе их функционирования в суточном цикле. Используемые при таком анализе показатели транспортной зависимости территории и транспортного движения на территории имели размерность, отнесенную к суткам. Это относилось как к транспортному спросу, так и к транспортному предложению. Особый интерес вызывает задача оценки качества функционирования транспортной системы в течение суток, в часы пик. В течение суток как интенсивность на УДС, так и транспортный спрос изменяет свою величину и направление относительно городской территории и каждого отдельного элемента сети.

При наличии в распоряжении динамической модели транспортного спроса с детализацией в матрицах затрат и корреспонденций суточных, недельных и сезонных неравномерностей появляется возможность проведения динамического анализа качества транспортных систем.

На регулярной сетке, кроме скалярных величин потенциалов удельной транспортной зависимости территорий, оценок функционирования идеальной и свободной сети, представляет интерес временной (в течение суток) анализ векторных величин транспортного спроса. Имея в качестве основы параметры транспортного спроса, выраженные не только скалярно, но и векторно, можно (в том числе на последующих этапах) переходить к анализу конфигурации сети на предмет её пространственной связности, а, следовательно, устойчивости.

Векторы в ячейках регулярной сетки будут указывать не только объем суммарного движения моторизованного транспорта через территорию, ограниченную данной ячейкой, но и направление его движения. При этом для создания реальной картины направлений потоков необходимо будет решать задачу на часовых (а не на суточных) матрицах корреспонденций.

На рис. 3.37. и 3.38. для примера решена задача построения векторных полей пиковых утренних и вечерних нагрузок на городскую территорию, разделенную регулярной сеткой. Длина вектора будет указывать объем потока моторизованного транспорта в утренний или вечерний час пик. По такому же принципу строятся поля для

межпиковых интервалов загрузки улично-дорожной сети города. Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми удалось получить два векторных поля, реализующих утренний и вечерний пики. На рис. 3.37 и 3.38 линиями отмечены также главные направления действующей УДС города.

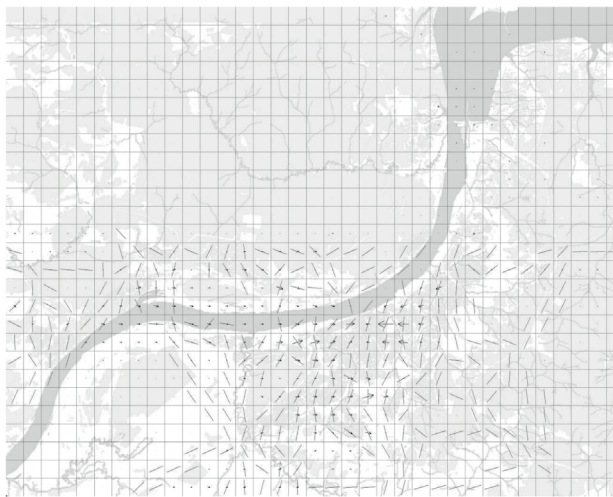


Рис. 3.37. Векторное поле транспортного спроса в утренний час пик, российский город с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

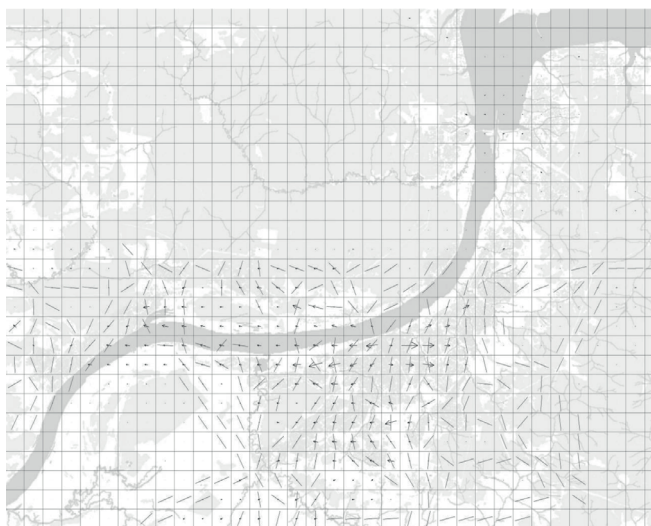


Рис. 3.38. Векторное поле транспортного спроса в вечерний час пик, российский город с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Главные направления действующей УДС построены по тому же принципу, что векторы пиковых нагрузок. При построении на территории, ограниченной линиями регулярной сетки, были учтены все отрезки действующей нагруженной сети с учетом их длин и количества полос движения.

Представленные векторные поля иллюстрируют существенную неравномерность распределения транспортной нагрузки на элементы городской территории не только в объемах, но и по направлению. В течение суток векторы направления транспортного спроса на территорию изменяются существенным образом, при этом следует понимать, что конфигурация УДС города не обладает способностью к аналогичному изменению.

Инструментом частичного варьирования положения главного направления сети на отдельных территориях может быть введение реверсивного движения на отдельных полосах и отдельных элементах УДС города. Целесообразность введения полос реверсивного движения может быть обоснована изложенным выше анализом при сопоставлении конфигурации сети, ее пропускной способности и вектора транспортной потребности.

Для дальнейшего совместного анализа транспортного спроса и транспортного предложения необходимо последовательно решать задачи векторного анализа разности полей транспортного спроса и их реализации на существующем транспортном предложении последовательно на идеальной, свободной и загруженной сети. Из этого совместного анализа можно получать характеристики, по смыслу являющиеся некими коэффициентами полезного действия всей транспортной системы крупного города.

3.2.7. Пространственный анализ функционирования транспортных систем с учетом энергетических ограничений

Предлагаем рассмотреть всю исследуемую область (территорию города) в виде упорядоченного набора элементов, основным атрибутом которых будет показатель удаленности от центра города. При таком подходе появляется возможность графической интерпретации возможности транспортной системы удовлетворять имеющийся на территории города транспортный спрос. Проведем анализ возможных способов удовлетворения транспортного спроса на основе транспортной зависимости территорий с учетом имеющихся территориальных ограничений.

Для простоты будем рассматривать три способа перемещения по исследуемой области:

- 1-ый способ – пешком;
- 2-ой способ – на общественном транспорте;
- 3-ий способ – на индивидуальном транспорте.

Рассмотрим регулярное деление территории города сеткой в полярных координатах, центр которого находится в точке пересечения осей эллипса, построенного в главе 2 (рис. 3.39).

Очевидно, что для большинства городов территории, отстоящие на малое расстояние от геометрического (или средневзвешенного по плотности какой-либо городской структуры) центра, будут иметь большие показатели удельной транспортной зависимости. И чем дальше от этого центра по радиусу, тем меньше значения удельной транспортной зависимости.

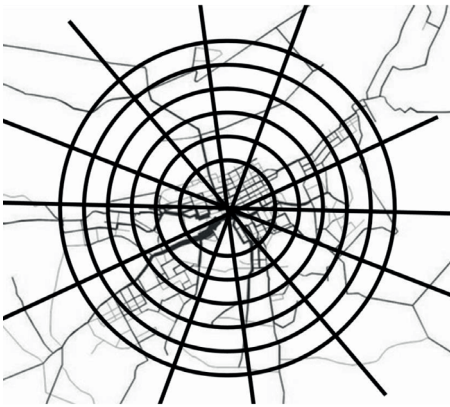


Рис. 3.39. Регулярное деление территории города сеткой в полярных координатах

По своему виду кривая, ограничивающая удельную транспортную зависимость, при разных значениях радиуса от центра имеет гиперболический вид, представленный на диаграмме (рис. 3.40). Для простоты представим ее как огибающую показателей транспортной зависимости территорий по зонам, расположенным вдоль радиуса от центра к периферии города. Понятно, что реализовать весь транспортный спрос на транспортно-зависимых территориях не удастся в силу территориальных, временных и экологических ограничений.

Важнейшим ограничивающим условием транспортного движения в городе является экологическая составляющая. Чем больше перемещений совершается в исследуемой области, тем менее энергозатратный вид транспорта необходимо выбирать при совершении корреспонденций. Для каждой области исследования вводится параметр предельного количества энергии, затрачиваемого всеми транспортными средствами за сутки в области исследования Γ (Дж).

Для простоты в качестве меры техногенного воздействия на исследуемую территорию будем рассматривать суммарный объем энергии, затрачиваемый транспортным потоком на реализацию

транспортных корреспонденций людей. В силу несовершенства преобразований энергии в любом двигателе любого транспортного средства объем негативного воздействия на окружающую среду будет пропорционален объему затрачиваемой энергии на реализацию транспортных корреспонденций внутри исследуемой зоны.

Очевидно также, что возможности различных территорий эффективно утилизировать негативные последствия преобразования энергии, используемой транспортной системой, также различны. Кроме собственного восстановительного потенциала отдельной территории (площади озеленения, водных поверхностей и т.п.) немаловажное значение в этом показателе имеют аналогичные показатели соседних с этой территорией областей. Территории, находящиеся на границе города и имеющие общую границу, например, с загородными лесными массивами, имеют восстановительный потенциал, значительно больший, чем территории центральных районов города, также окруженные территориями с плотной застройкой и развитой транспортной инфраструктурой.

Исходя из этого, построим некую кривую, иллюстрирующую предельный объем энергии, допустимой к преобразованию на территориях по условиям экологической безопасности. Кривая будет показывать функциональную зависимость этого предельного объема в зависимости от радиуса (удаленности от центра города). Вид такой функции представлен на диаграмме (рис. 3.40) в четвертом координатном угле. Возрастание этой функции от центра к периферии обусловлено возрастающим потенциалом восстановительных функций городской среды от центра города к его окраине.

Из дальнейшего построения, представленного на рис. 3.40, нетрудно заметить, что для разных городских зон, в зависимости от удаления от городского центра, будут иметь место различные усредненные предельные затраты энергии на перемещения одного человека по данной территории, определяемые углом наклона радиуса вектора к точке пересечения значений транспортной зависимости территории, и значения предельного объема затраченной энергии, которые эта территория способна восстанавливать. Графическое представление построения таких углов дано в третьем координатном угле диаграммы на рис. 3.40.

Переходя к анализу имеющегося в городе транспортного предложения, можно вполне четко разделить весь необходимый объем транспортного спроса через территорию в каждой зоне по способам его реализации, в частности по группам транспорта (рис. 3.41).

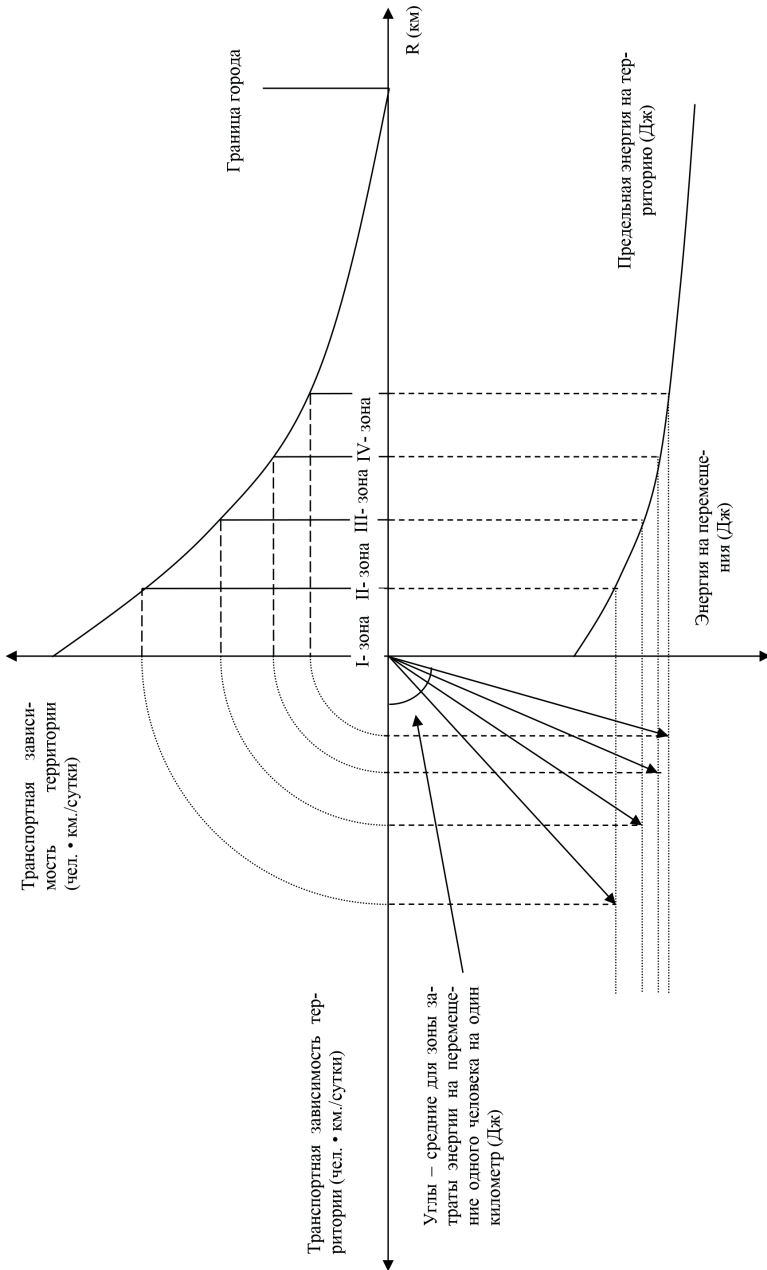


Рис. 3.40. Диаграмма предельного транспортного спроса

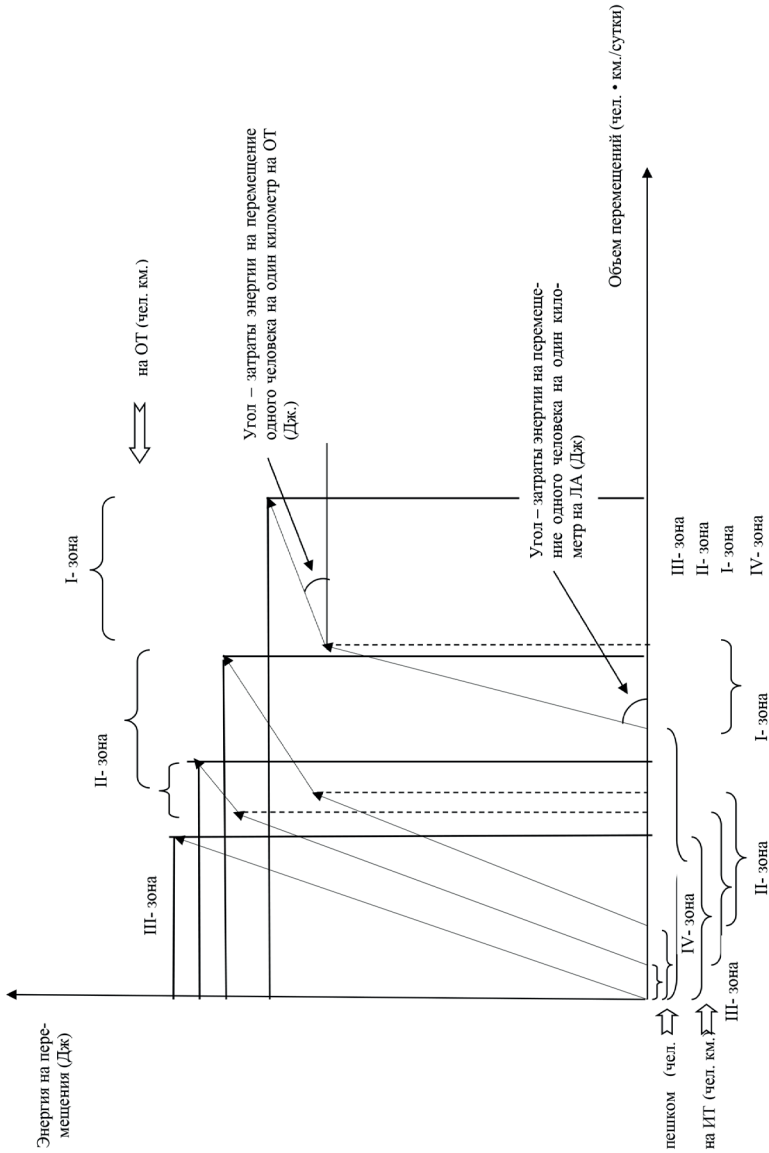


Рис. 3.41. Диаграмма способов реализации транспортного спроса

Из представленного графического анализа понятно, что при соблюдении предельных энергетических ограничений, на каждой транспортно-зависимой городской территории будет наблюдаться большая доля перемещений пешком и далее на общественном транспорте при существенно меньших затратах энергии на перевозку одного человека.

В итоге для каждой городской зоны можно построить теоретический баланс задействования различных способов перемещения и типов систем транспорта при сохранении предельного уровня воздействия на окружающую среду. Предлагаемый подход можно также использовать и при детальном рассмотрении различных типов транспортных средств, участвующих в городском движении.

Точно по такому же алгоритму можно рассматривать и пространственные ограничения территории при реализации перемещений различными способами, которые связаны с различными затратами при реализации перемещений (пешком, на ОТ и ИТ). В этом случае предельным ограничением будет имеющаяся площадь улично-дорожной сети на исследуемой территории, определяемая так называемым динамическим коридором различных типов транспортных средств и основной диаграммой транспортного потока.

Тот же подход можно распространить и на оценку ограничений, связанных с предельным уровнем риска дорожно-транспортных происшествий (ДТП) при реализации транспортных перемещений через территорию. Риск ДТП будет также неодинаковым в пересчете на одного перемещенного человека для разных зон в зависимости от способов передвижения на различных видах транспорта и их взаимного баланса.

При рассмотрении отдельной территории можно также поставить задачу преимущественного «назначения» видов и способов передвижений людей на различных видах транспорта, основываясь на параметрах модели транспортного спроса. Для этого требуется совместный анализ видов и доли объемов корреспонденций по исследуемой территории с полученными параметрами их распределения по видам транспорта.

Такой подход дает возможность постановки оптимизационной задачи, где будет присутствовать и целевая функция, и система «верхних» и «нижних» ограничений. При этом задача оптимизации транспортной системы будет решаться на основе макроуровневых (территориальных) ограничений и посредством воздействий на территорию. Целевой функцией будут выступать *затраты на реали-*

зацию всех транспортных корреспонденций всеми участниками дорожного движения и всеми видами транспорта на всей исследуемой территории.

3.3. Выводы по главе 3

Для реализации поставленной цели – повышения эффективности транспортной системы крупного города – необходим целый набор методов, позволяющих строить математические модели ее функционирования и на их основе давать доказательное обоснование выбранным инструментам.

Немногочисленные исследователи в области транспортного моделирования по-разному представляют себе назначение, состав и детализацию прогнозных транспортных моделей и, как следствие, лишены возможности достоверно оценивать их адекватность и точность.

Накопленный опыт разработки и последующей актуализации моделей позволил сформировать стройную и последовательную стратегию их создания, которая является самостоятельной научной ценностью. Предложенная в этой главе технология построения четырехшаговых прогнозных транспортных моделей будет использована как основа постановки ограничений и целевой функции при создании математической модели оптимизационной задачи построения эффективной транспортной системы крупного города. Предложена структурная схема решения задачи, связывающая шаги алгоритма создания и расчета модели, массивы необходимых исходных данных и набор определяющих соотношений.

Особое внимание в главе уделено калибровке транспортных моделей. Предложенная последовательность шагов калибровки моделей единственно верная, ее технология опробована и подтверждена практическими исследованиями. Качество полученной в ходе калибровки модели транспортного спроса далее (в главе 4) будет определять качество построения оптимальных моделей формирования эффективной транспортной системы крупного города.

Для анализа распределения найденного транспортного спроса по исследуемой территории предлагается ввести новый показатель «транспортная зависимость территории». Для оценки качества функционирования транспортной системы города предложен новый многоуровневый подход, а также новое понятие «транспортная обеспеченность территории». Город должен представлять собой терри-

тории (зоны) равной транспортной обеспеченности. Таким образом, цель транспортной политики города – добиваться выравнивания транспортной обеспеченности его территорий. В расширение набора показателей оценки качества функционирования транспортной системы города предложено ввести и дополнительные характеристики, определяющие специфику функционирования транспортных систем отдельных территорий, а также обобщенные интегральные показатели функционирования всей транспортной системы. Все предложенные показатели имеют качественную и количественную оценку, методика получения которых представлена в настоящей главе.

Отдельно предложено оценивать качество принятия управленческих решений и разделить оценки процесса транспортного планирования и организации движения. Расчетным образом полученные оценки управленческих решений в указанных сферах управления для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми позволяют использовать представленные алгоритмы в практике выработки и принятия управленческих решений органами муниципального управления других городов.

Глава 4

ОПТИМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА

4.1. Математические модели в задачах оптимизации

4.1.1. Транспортные модели различного назначения

Решение задач в области формирования и развития инфраструктуры крупного города может быть получено на основе построения математических моделей транспортных систем городов.

Среди всего разнообразия математических моделей, применяемых для анализа транспортных сетей, можно выделить три основные группы моделей:

1. прогнозные модели;
2. имитационные модели;
3. оптимизационные (оптимальные) модели.

Прогнозные модели предназначены для моделирования транспортных потоков в сетях с известной геометрией и характеристиками и при известном транспортном спросе. При помощи этих моделей можно прогнозировать последствия изменений как в транспортном спросе, так и в транспортном предложении. Модели этого типа применяются для поддержки решений в области планирования развития города, для анализа последствий тех или иных мер по организации движения, выборе альтернативных проектов развития транспортной сети и др.

Задача прогноза загрузки транспортной сети обычно состоит в расчете усредненных характеристик движения, таких как: объемы межрайонных передвижений, интенсивности потока, распределение автомобилей и пассажиров по путям движения и др. В отличие от этого имитационное моделирование ставит своей целью воспроизведение всех деталей движения, включая развитие процесса во времени. Объектом исследования при этом является одиночное транспортное средство, а не транспортный поток. При этом усредненные значения потоков и распределение по путям считаются известными и служат исходными данными для этих моделей. Таким образом, прогноз потоков и имитационное моделирование являются дополняющими друг друга направлениями. Имитационные модели позволяют оценить скорости движения, задержки на перекрестках, длины и динамику образования «очереди» или «заторов» и другие характеристики движения. Основная область применения таких моделей - совершенствование организации дорожного движения.

Разумеется, области применения прогнозных и имитационных моделей не строго разделены. Рассмотрим, например, задачу согласования светофорного регулирования вдоль крупной улицы. Для решения такой задачи может быть использована имитационная модель. С другой стороны, улучшение условий проезда по данной улице может привести к тому, что большее количество водителей будет выбирать маршруты проезда с использованием этой улицы. Это, в свою очередь, приведет к ослаблению нагрузки на другие улицы и к дальнейшему перераспределению потоков. Таким образом, возникает задача о прогнозе нового распределения потоков по городу, которое установится после проведения данного мероприятия.

Модели прогноза потоков и имитационные модели ставят своей целью адекватное воспроизведение транспортных потоков. Существует, однако, большое количество задач оптимизации функционирования транспортных сетей. В этом классе решаются задачи оптимизации маршрутов пассажирских и грузовых перевозок, выбор оптимального пути и др.

На основе взаимосвязей моделей друг с другом все три класса математических моделей, использующиеся при изучении функционирования транспортных систем, можно разделить также по объектам исследований, целям моделирования, входным и выходным данным (табл. 4.1).

Таблица 4.1

**Классификация математических транспортных моделей
по различным признакам**

Вид моделей	Объект исследования (моделирования)	Цель моделирования	Вход (исходные данные)	Выход (результат моделирования)
Имитационные модели	Транспортное средство	Оценка проектов	Транспортный поток	Управленческое решение
Прогнозные модели	Транспортный поток	Оценка сценариев	Сценарии	Транспортный поток
Оптимальные модели	Транспортная система	Оценка системы	Цель, ограничения	Сценарий

Изложенный в настоящей главе новый подход в исследовании заключается в приоритетном анализе затрат и эффектов с целью эффективного распределения транспортного спроса по городской территории.

Решение проблемы анализа и развития транспортной системы на основе спроса на передвижение предлагается осуществить с помощью методов математического программирования, в частности инструментов линейного программирования. Это оптимизационные задачи. Они возникают там, где есть свобода выбора. В исследовании транспортных потоков присутствует свобода выбора; есть система показателей, характеризующих функционирование транспортной системы; есть критерии оценки УДС; определены условия (ограничения) в виде спроса на передвижения и физических ограничений улично-дорожной сети; экологических, экономических ограничений.

Особое внимание в исследовании транспортной системы города отводится пространственному анализу распределения транспортного спроса по городской территории без учета конкретного транспортного предложения.

Такой подход не укладывается в привычное понятие транспортного моделирования, так как объектом исследования служат не транспортные средства и даже не транспортные потоки, а отдельные участки городской территории. Результатом моделирования будут являться определенные параметры, накладываемые на территорию, такие, например, как предельные объемы транспортных корреспонденций, реализуемые тем или иным видом транспорта на исследуемой территории.

Результаты, полученные при расчете моделей, можно будет использовать для принятия управленческих решений по развитию улично-дорожной сети.

Использование такого инструмента исследования как оптимальные модели предполагает разработку и построение нескольких моделей с различными критериями и ограничениями, чтобы рассматривать задачу формирования эффективной транспортной системы города с разных позиций.

4.1.2. Объект и предмет оптимизации

Объектом оптимизации является территория крупного города, а предметом оптимизации являются процессы функционирования на этой территории транспортной системы. Выделяя в качестве предмета исследования только одну составляющую тех многочисленных процессов, которые происходят в жизни современного города, можно сказать, что в данной работе объектом исследования является крупный город, а предметом исследования является его транспортная система. Детализируя, как предложено в предыдущих главах, предмет исследований на составляющие: дорожно-транспортный комплекс, участники дорожного движения, окружающая среда, можно сказать, что в такой трактовке объектом и предметом исследований является транспортная система. Именно окружающая среда (территория города), являясь составляющей частью транспортной системы, определяет, как объект исследования, так и способы взаимодействия оставшихся двух составляющих транспортной системы.

С целью обеспечения максимально прикладного характера всем исследованиям, в настоящей и предыдущих главах предлагается в качестве объекта воздействия на транспортную систему выбрать состоящий в ней дорожно-транспортный комплекс. Отсюда основным допущением в постановке оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города будет неизменность транспортного спроса. Неизменность транспортного спроса предполагает неизменность баланса использования территории под объектами различного назначения, которые собственно и формируют этот транспортный спрос. Иными словами – задача будет поставлена и решена при помощи математической модели при неизменном (устоявшемся) на исследуемой территории транспортном спросе. При необходимости исследования поведения транспортной системы города при изменении транс-

портного спроса возникнет необходимость в постановке, формализации и решении уже иной задачи.

Объектом воздействия при исследовании транспортной системы является улично-дорожная сеть крупного города как самая основная, главная часть всей инфраструктуры. Улично-дорожная сеть представляет собой систему улиц и дорог в единой транспортной системе города. Основная задача улично-дорожной сети состоит в эффективном и безопасном удовлетворении спроса ее пользователей, т.е. в перемещении заданного объема пассажира – и грузопотоков, а также в обеспечении комфортного движения пешеходов.

Транспортное планирование и организация дорожного движения базируются на теории транспортных потоков, на использовании разнообразного математического инструментария, моделирования УДС. Одним из важнейших видов исходных данных для принятия решений в этой сфере является матрица корреспонденций, значения ее элементов (корреспонденций) представляют количество транспортных средств, направляющихся из одного пункта в другой. В качестве пунктов следования можно взять центры транспортных районов. Практически формирование матрицы корреспонденций крупного города – это самостоятельная серьезная задача. Будем считать матрицу корреспонденций заданной. Методика ее формирования описана в главе 3.

При анализе функционирования транспортных систем городов первоочередной интерес представляют технологии и алгоритмы оценки территории городов с точки зрения их возможности удовлетворять имеющийся транспортный спрос. Именно территориальные (в широком понимании этого термина) ограничения определяют и возможности развития территории, виды её использования и в конечном итоге – качество жизни на этой территории. Транспортное движение на городской территории как ничто другое иллюстрирует тот факт, что потребности в моторизованном движении никогда не могут быть удовлетворены полностью. С одной стороны, увеличивающийся транспортный спрос требует увеличения транспортного предложения. С другой стороны, увеличение транспортного предложения приводит к отрицательным эффектам – увеличиваются затраты на реализацию транспортного спроса, увеличивается негативное воздействие на окружающую среду.

Формализация (моделирование) процесса движения транспортных средств осложняется, прежде всего, следующими факторами:

- Объем генерации транспортного потока зависит от множества факторов, сбор информации о которых представляет собой отдельную научную задачу;

- Критерии оценки качества организации дорожного движения неоднозначно определены различными субъектами транспортной системы: участниками дорожного движения, представителями органов власти, надзорными органами (ГИБДД) и т.д.

Кроме того, необходимо учитывать и сложившиеся закономерности развития транспортной системы города. Незнание действительного состояния транспортного движения по всей транспортной сети города приводит к принятию ошибочных управленческих решений, как следствие к перегрузке (недогрузке) отдельных перегонов и узлов, образованию транспортных заторов, повышению уровня аварийности, ухудшению экологии города. Управление транспортными потоками, проектирование улично-дорожной сети и организация дорожного движения – глобальные насущные проблемы любого современного мегаполиса. Для решения этих проблем необходимы: измерение (сбор данных), наблюдение, моделирование, управление.

4.1.3. Решаемые задачи

Задача построения модели формирования эффективной транспортной системы крупного города предусматривает последовательное решение ряда подзадач:

- формализация объекта исследования (области исследования). Десять транспортных зон;

- определение степеней свободы решаемой задачи. Три способа передвижений – пешком, на общественном транспорте, на индивидуальном транспорте;

- выбор критерия оптимальности (значение и единицы измерения целевой функции). Целевая функция будет представлять собой время и измеряться в минутах;

- выбор и формализацию «верхних» ограничений, накладываемых на целевую функцию: 1) по спросу на перемещение в исследуемых областях; 2) по выбросам загрязняющих веществ; 3) по протяженности существующей улично-дорожной сети; 4) по рискам возникновения ДТП;

- выбор и формализацию «нижних» ограничений. Объемы перемещений по территории, связанные с существующим транспортным спросом;

- детализация «нижних» ограничений по различным типам передвижения в исследуемых областях для каждого типа прохождения маршрута.

4.1.4. Способ исследования

В качестве основного способа решения задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города было выбрано построение и решение математической модели оптимизационной задачи. На данном этапе представляется целесообразным дать подробное толкование термина «модель», а также процессу моделирования и месте в этом процессе решаемых в ходе исследования задач математического программирования.

Известно, что слово «модель» происходит от латинского *Modulus* – мерка и означает:

1. Миниатюрная копия предмета.
2. Образец какого-либо предмета.
3. Тип, марка изделия.
4. Чертеж или образец, наглядно демонстрирующий строение и действие какого-либо объекта или процесса и т.д. [146].

В процессе исследований модель – это отображение, аналог явления или процесса в основных, существенных для целей исследования чертах. Процесс создания модели называется моделированием. Модель должна так учитывать все взаимосвязи, закономерности и условия, чтобы на ее основе можно было выполнить эксперименты, цель которых – определение «поведения» объекта моделирования в различных возможных (часто наблюдаемых в действительности) условиях [107].

Любые модели только отчасти воспроизводят объект исследования либо какое-либо явление (процесс). Модель, например, физическая или геометрическая, полностью воспроизводящая свойства моделируемого объекта, называлась бы тогда копией моделируемого объекта.

Исторически первым из известных приемов моделирования является метод подобия. Суть его в том, что изучаемое явление воспроизводится в экспериментальных условиях, в другом масштабе. На такой модели ведется изучение явления.

Модель – это специально создаваемый искусственный объект, на котором воспроизводятся вполне определенные характеристики исследуемого объекта с целью его изучения, а моделирование – вполне определенное конкретное отображение рассматриваемых харак-

теристик изучаемого объекта в целях его исследования. Построение модели часто продиктовано экономической целесообразностью, т.е. попыткой получить максимально полное представление об объекте или процессе, не создавая его в натуре.

Моделирование является важным инструментом научной абстракции, позволяющим выделить и проанализировать существенные для исследования свойства, взаимосвязи, структурные, функциональные параметры.

Аналогично следует рассматривать и математические модели. Нельзя построить математическую модель просто объекта или какого-либо явления как такового, не представляя изначально задачу, которую требуется решить при помощи этой модели, т.е. предмета исследования. Если взять в качестве простейшей модели функцию, то она, как известно, будет определять взаимно однозначное соответствие между несколькими переменными. И изначально важно определить, какие переменные в модели будут свободными, а какие зависимыми. Это определение обычно продиктовано целями и задачами, стоящими перед исследователем, ради которых и строится модель.

При изучении сложных процессов, явлений очень часто применяется моделирование. Модели могут быть реализованы как с помощью некоторых физических объектов (физическая модель), так и с помощью абстрактных объектов (абстрактная модель). Такой абстрактной моделью могут быть, в частности, математические выражения, описывающие характеристики исследуемого объекта (математическая модель). Модели с конкретными числовыми характеристиками называют числовыми, модели, записанные с помощью логических выражений – логическими, а модели в графических образах – графическими. К логическим моделям относятся, в частности, блок-схемы алгоритмов и программ.

По самой своей природе математические методы могут применяться не непосредственно к изучаемой действительности, а лишь к математическим моделям того или иного круга явлений или проблем [122,158]. Математическое моделирование является наиболее совершенным и вместе с тем наиболее эффективным методом моделирования. Именно этот путь моделирования открывает возможности для применения средств математического анализа.

Естественно результаты исследования такой модели будут иметь практический интерес, если сама модель достаточно адекватна рассматриваемому явлению, то есть достаточно хорошо отображает реальную ситуацию.

Для более точного описания действительности приходится строить несколько моделей, учитывающих различные стороны рассматриваемого явления, т.е. порой целесообразнее построить несколько моделей одного и того же объекта или явления, чем пытаться построить одну, наиболее полно описывающую этот процесс модель. В дальнейшем на этапе поиска алгоритма решения модели такой подход вдвойне оправдан.

Степень совершенства математических моделей, применяемых в той или иной науке, математический аппарат, используемый для их исследования, в известной мере характеризует уровень развития науки.

Адекватность модели является в какой-то мере условным понятием, т.к. полного соответствия модели реальному объекту быть не может. Чаще имеется в виду не просто адекватность, а только лишь соответствие модели оригиналу по тем свойствам, которые считаются существенными для исследования.

Обычно при исследовании математическая модель строится несколько раз, далее применяется математический метод, анализируется результат. В результате анализа полученных данных принимается решение о корректировке модели (внесение дополнительных условий, ограничений, изменение цели и т.д.). Затем снова проводится расчет и анализ и т.д.

Так происходит, потому что ни одна математическая модель не может точно описать действительное явление, а учитывает только вполне определенные характеристики, исходя из целей исследования.

Для исследователя, создавшего математическую модель интересующего его объекта либо явления, все компоненты модели (формулы и определяющие соотношения) несут вполне ясный физический смысл. С другой стороны, технология решения (метод решения модели) есть абстракция более высокого уровня, чем сама модель (например, метод Гаусса или симплексный метод). И это уже само по себе вызывает некоторое недоверие со стороны исследователя, создавшего модель.

Модель может с разной степенью достоверности описывать объект либо явление. Исследователь может до бесконечности усложнять математическую модель, но, с другой стороны, математические инструменты позволяют находить решения лишь очень ограниченного класса моделей. Нет универсальных методик: решение уравнений математической физики либо решений моделей задач динамического программирования.

Задача исследователя заключается только лишь в построении модели. Решение же модели – это задача математики. И если математическая модель – это всего лишь малая часть от общего количества свойств объекта либо явления, формализованная в виде набора определяющих соотношений, то решение модели – это результат работы математического аппарата, который не допускает в себе вариативности. Иными словами, адекватность решения поставленной задачи при помощи математического моделирования определяется не алгоритмом решения модели, а адекватностью самой модели, т.е. тем набором свойств, которыми наделил её исследователь.

Особенность математических моделей оптимального планирования, применяемых в настоящих исследованиях, состоит в том, что они основаны на достаточно строгих теоретических положениях математического программирования. Это относится, например, к модели транспортной задачи, математическим моделям оптимального планирования (производства, торговли, перевозок и т.д.). Оптимальное планирование не означает оптимального решения проблемы, которую исследовали. Все зависит от того, насколько решенная модель адекватна действительности, это и определяет доверие к результату моделирования.

Решение различных задач посредством линейного программирования стало возможным в 1951 году. Математические модели, при помощи которых решались эти задачи, относятся к моделям на экстремум. Слово «программирование» означает, что набор переменных, подлежащих нахождению, обычно определяет программу (план) работы конкретного объекта.

В отличие от классической теории экстремальных задач, которая является частью математического анализа, в математическом программировании и в линейном программировании в частности основное внимание уделяется тем задачам, в которых активно участвуют ограничения на область изменения переменных.

Решение этих моделей называют оптимальными решениями. Следует особо отметить, что термин «оптимальное решение» относится именно к модели, а не к объекту или явлению, которое описывает эта модель. Оптимальное решение в этом плане – это лучшее решение модели. Лучшее не абсолютно, а относительно. Относительно тех целей и тех ограничений, которые были заданы в математической модели самим исследователем.

Если модель построена, то перед математиком стоит задача, как получить решение. Не все модели можно точно рассчитать суще-

ствующими математическими методами. Здесь возможности тоже ограничены. Но модели линейного программирования можно точно рассчитать, используя математические методы (симплексный метод, метод разрешающих множителей, Венгерский метод и др.), и получить оптимальное значение переменных (оптимальное решение).

В математических моделях на оптимум, проблема формулировки критерия оптимальности имеет решающее значение. Решений оптимальных «вообще» не существует. Понятие оптимальности решения может быть определено лишь с точки зрения конкретного критерия оптимальности. Когда же модель на экстремум построена, математический метод решения этой модели дает оптимальное решение.

При решении задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города в качестве способа (инструмента) исследования будет применяться математическое линейное программирование, а конкретно линейное программирование.

Математическое программирование – область математики, разрабатывающая теорию и численные методы решения многомерных экстремальных задач с ограничениями, т.е. задач на экстремум функции многих переменных с ограничениями на область изменения этих переменных. В отличие от классических теорий экстремальных задач, которые являются частью математического анализа, основное внимание уделяется тем задачам, в которых активно участвуют ограничения на область изменения переменных.

Линейное программирование – часть математического программирования, отличительная особенность в том, что целевая функция и ограничения имеют линейную форму.

Теория линейного программирования – это раздел математики, относящийся к математическому программированию. Теория возникла в середине XX века. Исторически общая задача линейного программирования была впервые поставлена в 1947 году Дж. Данцигом, Маршаллом Вудом. Это исследование привело Данцига к мысли, «что соотношение между деятельностью различных предприятий можно рассматривать как модель задачи линейного программирования, оптимальное решение которой определяется условием минимальности некоторой линейной формы» [159].

Термин «линейное программирование» впервые появился в 1951 году. Слово «программирование» означает, что набор переменных, подлежащих нахождению, обычно определяет программу (план) работы конкретного объекта.

Общая математическая задача линейного программирования была поставлена в 1947 г. и тогда же предложен для ее решения так называемый «симплексный метод».

Некоторые задачи, связанные с определением экстремума линейной формы, на переменные которой наложены линейные ограничения, были сформулированы еще раньше. Такой задачей, например, является транспортная задача. Однако первое успешное решение задачи линейного программирования было осуществлено Л.В. Канторовичем в 1939 году [122].

Задачи программирования связаны с вопросами эффективного использования или распределения ограниченных ресурсов для достижения желаемых целей. Характерной чертой таких задач является большое число решений, удовлетворяющих их основным условиям. Выбор частного решения, как наилучшего, зависит от целевых установок поставленной задачи. Решение, удовлетворяющее условиям задачи и соответствующее целевым установкам, называется оптимальным.

В дальнейшем, в целях сохранения описанных выше терминологических связей, в области приложения настоящих исследований будем использовать два понятия:

- «Оптимизационная задача формирования эффективной транспортной системы крупного города»;
- «Математическая модель оптимизационной задачи (оптимальная модель) формирования эффективной транспортной системы крупного города».

Первый из указанных терминов будет определять стоящую перед исследователем задачу (по аналогии с транспортной задачей), а второй термин – инструмент для решения уже поставленной исследователем задачи.

4.2. Постановка оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города

4.2.1. Логико-графическая модель постановки оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города

Одним из показателей успешного развития города является наличие в нем эффективной транспортной системы. Цель функционирования транспортной системы города, как любой природно-техни-

ческой системы, заключается в повышении качества жизни на той территории, где она функционирует.

На рисунке 4.1 представлена логико-графическая модель постановки оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города. Модель представляет собой графическую интерпретацию логических построений при переходе от рассмотрения задачи повышения качества жизни на территории города к составляющим математической модели оптимальной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города. Из модели хорошо видно, что при постановке задачи эффективность есть результат сопоставления целей – времени реализации транспортных корреспонденций и ресурсов, затрачиваемых на достижение этих целей. В свою очередь, все ресурсы поделены на территориальные и энергетические.

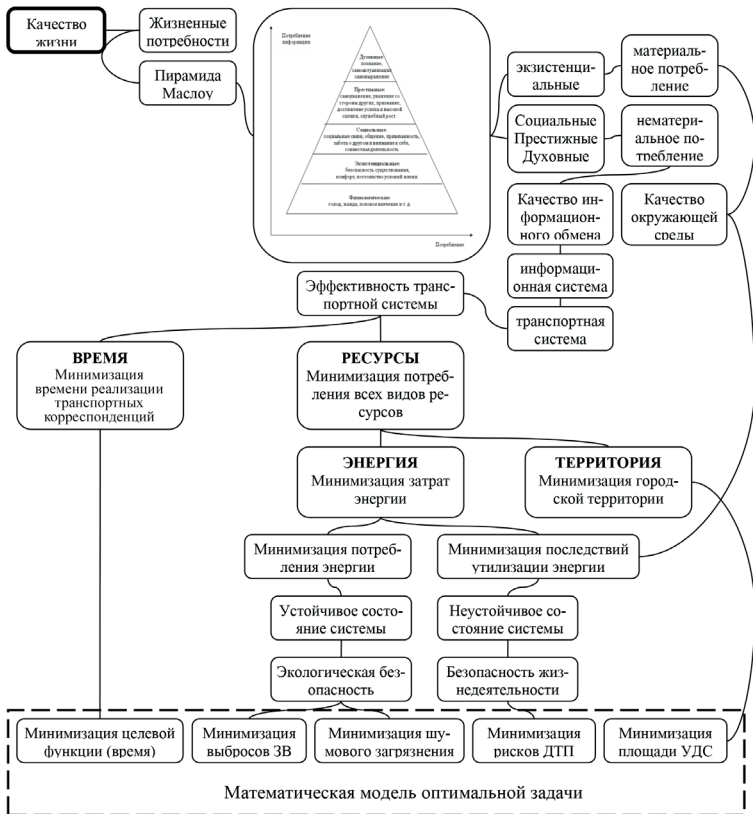


Рис. 4.1. Логико-графическая модель постановки оптимизационной задачи

Подробнее рассмотрено движение энергии в системе. Очевидно, что введение в транспортную систему города каждой дополнительной единицы транспорта вносит в систему дополнительную энергию, при этом забирая часть городской территории, необходимой, в том числе, и для устойчивой утилизации этой энергии.

В нижней части рисунка выделены итоговые составляющие, необходимость включения которых в математическую модель следует из логики постановки задачи повышения качества жизни в городе.

4.2.2. Возможные способы формализации задачи формирования эффективной транспортной системы

Формирование и управление транспортной системой включает в себя совокупность мероприятий, направленных на регулирование транспортного спроса, оптимальное распределение его по территории, снижение энергоёмкости городских перевозок, обеспечение безопасности функционирования, минимизацию временных затрат использования всех видов ресурсов (территория, энергия).

Целевой показатель функционирования транспортной системы – минимум средневзвешенного времени реализации транспортных корреспонденций всеми участниками движения с учетом средней скорости движения и дальности корреспонденций, совершаемых участниками посредством всех видов транспорта при выполнении ограничений по потребляемым ресурсам и транспортному предложению (верхние ограничения) и ограничений транспортного спроса (нижние ограничения).

Целевая функция учитывает потребности на передвижения для всего населения города. Следовательно, и ограничения должны учитывать потребности всех жителей города. Таким образом, если целевая функция будет доставлять минимум времени реализации транспортной корреспонденции на одного человека, то и ограничения при этом будут представлять собой предельный вред от функционирования транспортной системы того или иного рода, приходящийся на одного жителя города.

При рассмотрении различных сторон формирования эффективной транспортной системы города возможны самые различные подходы, определяющие предмет исследований – транспортную систему города.

Возможные критерии оптимальности функционирования транспортной системы города:

- минимум затрат времени на перемещения всех участников движения;
- максимум средней скорости передвижения всех участников движения;
- минимум затрат денежных средств на перемещение всех пассажиров любым способом;
- минимум затрат на содержание транспортной инфраструктуры.

Возможные переменные и степени свободы задачи построения эффективной транспортной системы:

- переменные модели могут обозначать количество пассажиров, которым необходимо переместиться из одного района в другой тем или иным способом (пешком, ОТ, ИТ).
- переменные модели могут обозначать необходимый объем транспортной инфраструктуры того или иного вида.

Также возможны и различные варианты задания и последующего учета ограничений на функционирование системы:

- Ограничения по спросу. Для каждого вида и целей перемещения строятся отдельные матрицы корреспонденций, которые содержат объем спроса на передвижения пассажиров, грузов между транспортными районами города. Спрос должен быть удовлетворен полностью.
- Ограничения по имеющимся возможностям УДС. Объем этого ресурса ограничен, он может быть выражен площадью всего дорожного полотна или длиной всех полос проезжих частей.
- Ресурсные ограничения. Необходимая информация о предельно допустимом воздействии транспортной системы на отдельную городскую территорию.

Объектом управления в системе является транспортный поток, состоящий из различных видов транспортных средств. Транспортный поток описывается теми же характеристиками, что и поток жидкости или газа: скоростью, плотностью, интенсивностью и составом потока. В то же время водители автомобилей обладают свободной волей и реализуют свои частные цели. Поэтому управлять транспортным потоком, учитывая только технические аспекты, невозможно. Ситуация осложняется отсутствием надежных технических средств (датчиков), предназначенных для получения данных о транспортных потоках. Проведение же масштабных натуральных экспериментов по анализу транспортных потоков ограничено рядом причин: необходимость обеспечения безопасности движения; материальные

и трудовые затраты на проведение эксперимента; проведение эксперимента затрагивает интересы большого количества людей – участников дорожного движения. Необходимость использования методов моделирования обусловлена, прежде всего, самой проблемой анализа транспортной системы.

В использовании математических методов есть свои слабые стороны. Моделирование какого-либо процесса или явления может привести к очень сложной математической задаче, которую современные инструментальные средства математики решить уже не могут. Возникает необходимость в упрощении модели. В задачу вводятся некоторые допущения, которые могут сказаться на качестве полученных результатов. Иногда этот процесс приводит к парадоксальным ситуациям, когда на каком-то этапе формализации задачи происходит существенное усложнение алгоритма и повышение детализации задачи, а на последующем этапе, например, из-за невозможности решения нелинейных форм модели происходит обратный процесс, связанный с существенным упрощением и огрублением задачи в ходе её линеаризации.

В любом случае модель – это упрощенное формальное описание существующих явлений. Модели, как правило, позволяют выявить особенности функционирования объекта исследования и на основе этого прогнозировать поведение объекта при изменении каких-либо параметров (исходных данных).

При моделировании любой проблемы главное требование – модель должна быть адекватна действительности, т.е. соответствовать реальности. От этого зависит качество выводов, полученных по моделям.

Проверка адекватности модели проводится опытным путем, результаты, полученные по модели, сравнивают с действительными данными. В связи с этим, при использовании математических методов и моделей принято строить несколько моделей с разными критериями, условиями, допущениями, а затем проверять их на адекватность.

В основе исследований по распределению транспортного спроса на перевозки по территории города лежит информация о спросе на передвижения и информация о возможностях улично-дорожной сети (УДС). Матрица корреспонденций, по сути, характеризует спрос на передвижение. Этот спрос может быть выражен количеством людей, которым необходимо переместиться из одного пункта в другой.

Рассмотрим это подробнее.

Используем предложенное в главе 3 разбиение города на n транспортных районов. Перемещение из одного транспортного района в другой будем называть корреспонденцией, которая измеряется количеством людей, перемещающихся из одного района в другой в течение суток. Корреспонденции могут осуществляться с различными целями; такие как поездки домой, на работу, на учебу, к местам отдыха и развлечений. Различают корреспонденции следующих видов – корреспонденции на общественном транспорте, корреспонденции на индивидуальном транспорте, а также по различным системам транспорта. Для каждого вида и целей корреспонденций строятся отдельные матрицы.

Объем спроса на передвижение между транспортными районами города можно определить по методике, изложенной в [120], он представляет матрицу корреспонденции K :

$$K = \begin{pmatrix} 0 & k_2 & \dots & k_{1n} \\ k_2 & 0 & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

где: K_{ij} – объем корреспонденций из i -го района в j -ый район за сутки (количество человек).

Таким образом, транспортный спрос задан матрицей корреспонденций, а транспортное предложение связано с состоянием дорожно-транспортного комплекса города. Улично-дорожная сеть представляет собой систему улиц и дорог в единой транспортной сети города.

Уровень развития улично-дорожной сети оценивается двумя параметрами: протяженностью и плотностью движения на отдельных ее участках. Традиционно наибольшая плотность характерна для густонаселенных районов и центральной части города. Основная задача улично-дорожной сети состоит в эффективном и безопасном удовлетворении спроса ее пользователей.

Для моделирования городской транспортной системы необходим критерий эффективности всей улично-дорожной сети, а не отдельных ее участков.

Характерной чертой дорожного движения является стремление его участников осуществлять требуемые передвижения как можно с большей скоростью. Скорость движения является одним из важнейших показателей качества организации дорожного движения, определяющих эффективность функционирования всей УДС.

Предлагается использовать в качестве критерия качества функционирования УДС – время нахождения автотранспортных средств на УДС. Этот показатель отражает и скорость, и плотность транспортного потока.

При моделировании транспортной системы предлагается использовать теорию линейного программирования, которая хорошо изучена и практически реализуема. Решение задач линейного программирования позволяет получать уникальные результаты, всесторонне оценивающие предмет изучения. Кроме того, исследователю предоставлены во множестве прикладные пакеты программ для решения задач линейного и нелинейного программирования.

Транспортная задача линейного программирования в ее классическом виде не может быть использована при моделировании всей транспортной системы города, так как основное требование в задаче – перевозка (передвижение) однородного груза. Заданы пункты отправления и пункты доставки с фиксированным спросом, необходимо определить маршруты перевозки с той или иной целью. В качестве цели обычно служит минимум затрат на все перевозки. Однако в случае с транспортной системой города неизвестно, каким видом транспорта и по какому маршруту по транспортной сети будет реализован спрос на передвижение каждым его участником. Предпринимались попытки использования транспортной задачи линейного программирования при рассмотрении перевозок пассажиров. В этом случае в модель вводилось большое число ограничений, практически модель имела смысл для небольшого числа транспортных районов. То же самое относится и к перевозке грузов, существует жесткое требование, какой груз, откуда и куда должен быть доставлен и каким транспортом.

Предлагаем за основу принять классическую модель задачи линейного программирования. Рассмотрим подробнее суть классической задачи линейного программирования и основные моменты при моделировании конкретной задачи. В общем виде варианты приложения теории линейного программирования при постановке оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города изложены в [120].

На этапе выбора целей и ограничений при формализации задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города возможны два подхода. Эти два подхода определяют две отличные друг от друга, но приводящие к одному результату задачи:

- Задача распределения транспортного спроса;
- Задача распределения транспортного предложения.

Отличие в формализации этих задач заключается в выборе неизвестных. Для первой задачи неизвестными являются параметры, характеризующие транспортный спрос, т.е. объем перемещений людей. Во второй задаче неизвестными будут являться объемы различных единиц транспортных средств, функционирующих в своих системах транспорта. Соответственно различаться будут и сами модели при формализации их целевых функций. В первой задаче целью будет являться достижение минимума времени, во второй задаче – максимума скорости. Подробное рассмотрение постановки указанных задач выполнено в [121]. Следует заметить, что указанные задачи приводят к структурно симметричным математическим моделям. Различие этих моделей в том, что мы находим перераспределение транспортного спроса и транспортного предложения по территории города в разных размерностях. В первой задаче в качестве неизвестных находим людей, которые перемещаются на различных видах транспорта. Во второй – определяем требуемое количество транспортных средств, которые перевозят людей. Так же поменялась целевая функция: в первой задаче – это была минимизация времени реализации всех транспортных корреспонденций, во второй – максимизация суммарной скорости перемещения всех участников движения. Это есть один из примеров двойственности в экстремальных задачах и задачах математического программирования в частности.

Суть постановки задачи не изменилась, поэтому и формулировка всей модели не меняется, а меняются только параметры, которые для каждой конкретной задачи постоянны. Различия могут быть только в том, для каких целей мы ищем решение в том или ином виде.

Модель задачи линейного программирования включает следующие элементы:

1. Совокупность неизвестных величин $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, действуя на которые, систему можно совершенствовать. Их называют планом задачи.

2. Целевую функцию (функцию цели, показатель эффективности, критерий оптимальности). Целевая функция позволяет выбирать лучший вариант из множества возможных. Лучший вариант доставляет целевой функции экстремальное значение (минимум или максимум). Целевая функция обычно обозначается буквой $Z = f(x)$. Это могут быть затраты, прибыль, скорость, время, объемные показатели и др.

3. Условия (или систему ограничений), налагаемые на неизвестные величины. Эти условия следуют из ограниченности ресурсов, которыми располагает общество, а также из необходимости удов-

посвящены первые исследования в теории линейного программирования. Результатом решения является план или программа, отсюда и всю математическую теорию, посвященную нахождению оптимальной программы (выпуска продукции), назвали математическим программированием.

В сформулированной нами задаче аналогом производственно-экономического термина «программа выпуска» является программа развития дорожно-транспортного комплекса города. Как следствие, эта программа будет являться решением математической модели оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города.

С каждой задачей линейного программирования связана другая задача, называемая двойственной по отношению к исходной.

Задачи (4.1) и (4.1') называют двойственными друг другу, если они построены по следующим правилам:

1. Если задача (4.1) имеет размеры $m \times n$ (m – ограничений, n – переменных), то задача 4.1' – размеры $n \times m$.
2. Матрицы коэффициентов при неизвестных в левых частях ограничений обеих задач являются взаимно транспонированными.
3. В правых частях ограничений в каждой задаче стоят коэффициенты при неизвестных в целевой функции другой задачи.
4. В задаче (4.1) все ограничения представляют собой неравенства типа \leq , причем в этой задаче требуется достичь максимума целевой функции. Напротив, в задаче (4.1') все ограничения – есть неравенства типа \geq , причем требуется достичь минимума целевой функции.

Задача, двойственная к модели (4.1)-(4.3), формируется следующим образом:

Найти набор m переменных (y_1, y_2, \dots, y_m) , минимизирующий линейную форму этих переменных:

$$F = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_m y_m \rightarrow \min, \quad (4.4)$$

и удовлетворяющих системе n линейных неравенств:

$$a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_{m1} y_m \geq C_1, \quad (4.5)$$

$$a_2 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_{m2} y_m \geq C_2,$$

.....

$$a_{1n} y_1 + a_{2n} y_2 + \dots + a_{mn} y_m \geq C_n,$$

и переменные неотрицательные:

$$y_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (4.6)$$

В векторно-матричной форме двойственная задача имеет вид:

$$F = B \cdot Y \rightarrow \min, \quad (4.4')$$

$$A' \cdot Y \geq C, \quad (4.5')$$

$$Y \geq 0, \quad (4.6')$$

где: $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ – вектор переменных; A' – матрица, полученная путем транспонирования матрицы A .

$$A' = \begin{Bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_{m1} \\ a_2 & a_2 & \dots & a_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1n} & a_{2n} & \dots & a_m \end{Bmatrix}$$

Переменные двойственной задачи (y_1, y_2, \dots, y_m) называют двойственными оценками или «теневыми» ценами. Они являются важным инструментом для принятия управленческого решения. Рассмотрим их смысл подробнее.

Каждой переменной двойственной задачи соответствует ограничение прямой задачи. Переменная двойственной задачи показывает, на сколько увеличится/уменьшится целевая функция прямой задачи, если значение правой части прямой задачи увеличится/уменьшится на одну единицу. Так, например, если i -ое неравенство прямой задачи характеризует расход какого-либо ресурса, то величина двойственной оценки y_i означает, на сколько бы увеличилось значение целевой функции Z , если бы объем соответствующего ресурса θ_i увеличили на одну единицу. Это действительно для небольших приращений объемов, в пределах устойчивости переменных y_i , $i = 1, 2, \dots, m$:

$$\Delta Z = y_i \cdot \Delta \theta_i, \quad (4.7)$$

где: ΔZ – приращение целевой функции, $\Delta \theta_i$ – приращение правой части i -го ограничения.

Таким образом, величина двойственной оценки характеризует влияние дополнительной единицы какого-то фактора на критерий оптимальности. По ней можно судить об эффективности того или иного ресурса, чем больше оценка, тем эффективнее соответствующий ресурс. Можно говорить об избыточности ресурса, если оценка равна нулю. Зная значения двойственных оценок, рассматриваемых в прямой задаче факторов, можно принимать обоснованные решения об изменении величин этих факторов.

В сформулированной нами задаче результатом решения двойственной задачи будет оценка влияния тех или иных управленческих

решений в области транспортного строительства, организации дорожного движения либо благоустройства города на конечные показатели качества функционирования транспортной системы города.

Таким образом, для формирования задачи с использованием теории линейного программирования необходимо:

1. Определить переменные.
2. Определить цель задачи – критерий оптимальности, описать ее через переменные.
3. Определить ограничения. Описать их через переменные. Ограничения могут быть различных типов \geq или \leq , характеризовать различные ресурсы или спрос.

Поставленные выше задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города могут также решаться на основе построения математической модели линейного программирования по распределению транспортного спроса на территории города. Формализацию области исследования и принципы построения таких моделей с той или иной целью можно рассматривать в рамках изложенных основ теории линейного программирования.

4.2.2.1. Задача распределения транспортного спроса

Проведем построения на основе изложенных в главе 3 подходов к дискретизации объектов исследования – транспортной системы и территории города.

Город разделили на n транспортных районов естественным путем (компактное проживание людей, границы в виде рек, рвов, железных дорог, крупных магистралей). Номер района $t = 1, 2, \dots, n$. Выделены произвольным образом области исследования. Номер области $r = 1, 2, \dots, E$. Известны координаты центров транспортных районов, координаты вершин каждой области исследования. Определена матрица корреспонденций между районами $K = (k_{ij})$, характеризующая спрос на передвижения. Определена предельно допустимая экологическая нагрузка в каждой области D_r . На основе вышеизложенного определена сумма долей всех корреспонденций, проходящих через область исследования (l_{rs}) , и транспортная зависимость области (G_{rs}) с учетом типа прохождения маршрута.

Рассматриваются три способа передвижения:

- Передвижения пешком;
- Передвижения на городском пассажирском транспорте общего пользования (ОТ);

- Передвижения на индивидуальном транспорте (ИТ).

Требуется распределить все количество людей из матрицы корреспонденций по различным способам передвижения в исследуемых областях для каждого типа прохождения маршрута с целью получения минимума затрат суммарного времени всеми участниками движения.

В модели предлагаются следующие ограничения:

- По спросу на передвижение в исследуемых областях;
- По предельной экологической нагрузке в исследуемых областях;
- По транспортному предложению в исследуемых областях.

Обозначим:

X_{rs1} – количество людей, передвигающихся в области r по типу s пешком;

X_{rs2} – количество людей, передвигающихся в области r по типу s на ОТ;

X_{rs3} – количество людей, передвигающихся в области r по типу s на ИТ;

S – количество типов пересечения области исследования ($S = 3$).

Таким образом, для конкретной области исследования r будет 9 переменных:

X_{r11} - количество людей, передвигающихся по типу 1 (транзит) пешком;

X_{r21} - количество людей, передвигающихся по типу 2 (въезд/выезд) пешком;

X_{r31} - количество людей, передвигающихся по типу 3 (внутри области) пешком;

X_{r12} - количество людей, передвигающихся по типу 1 (транзит) на ОТ и т.д.

Ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях будут иметь следующий вид:

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.8)$$

где l_{rs} - сумма долей всех корреспонденций, проходящих через область исследования r по типу s (км);

G_{rs} - транспортная зависимость области r по типу s (чел/км).

Обозначим:

a_1 - количество энергии, требуемое на перемещение одного человека на 1 км пешком ($a_1 = 0$);

a_2 - количество энергии, требуемое на перемещение одного человека на 1 км на ОТ (Дж/км/чел);

a_3 - количество энергии, требуемое на перемещение одного человека на 1 км на ИТ (Дж/км/чел).

Тогда экологические ограничения на передвижения по исследуемым областям будут иметь следующий вид:

$$a_1 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs1} + a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \leq D_r, \quad (4.9)$$

где D_r – предельная экологическая нагрузка в области r (Дж).

Существует понятие плотности транспортного потока – это число автомобилей, занимающих единицу длины полосы движения проезжей части дороги, при условии непрерывного движения. В качестве единицы длины возьмем 1 км. Число автомобилей пересчитаем на количество людей по среднему количеству людей в одном автомобиле и получим количество людей, занимающих 1 км полосы движения проезжей части дороги при движении на различных видах транспорта.

Пусть K_2 – количество людей, занимающих 1 км длины проезжей части при движении на ОТ; K_3 - количество людей, занимающих 1 км длины проезжей части при движении на ИТ.

Тогда ограничения по наличию дорог имеют вид:

$$\frac{1}{k_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{k_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, \quad (4.10)$$

где

L_r - суммарная длина проезжих частей дорог в области r .

Пусть:

v_1 - средняя скорость перемещения одного человека пешком на 1 км (км/час);

v_2 - средняя скорость перемещения одного человека на ОТ на 1 км (км/час);

v_3 - средняя скорость перемещения одного человека на ИТ на 1 км (км/час).

Примем в качестве критерия оптимизации общее время совершения корреспонденций. Тогда целевая функция будет иметь вид:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} + \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} + \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.11)$$

Модель оптимального распределения транспортного спроса

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} \cdot \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.11.1)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, r=1,2,\dots,E, s=1,2,3 \quad (4.11.2)$$

$$a_1 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs1} + a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \leq D_r, \quad (4.11.3)$$

$$r = 1, 2, \dots, E;$$

$$\frac{1}{k_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{k_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, r=1,2,\dots,E \quad (4.11.4)$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0 \quad r=1,2,\dots,E, s=1,2,3 \quad (4.11.5)$$

Модель оптимального распределения спроса (4.11.1) – (4.11.5) позволяет для любых произвольно выбранных областей исследования найти, как распределяется существующий спрос на передвижения между транспортными районами по выбранным областям исследования с учетом способа передвижения (пешком, ОТ, ИТ) и типа прохождения маршрута через исследуемые области (транзит, въезд/выезд, внутри области) $X_{rs1}, X_{rs2}, X_{rs3}$. При этом поставлена цель – минимум затрат времени всех участников движения по всем маршрутам.

4.2.2.2. Задача распределения транспортного предложения

При таком подходе целевой функцией будет выступать *суммарная скорость передвижения в транспортной сети* всех участников дорожного движения всеми видами транспорта на всей исследуемой области. А неизвестными будет выступать количество транспортных средств различного назначения и эксплуатационных параметров, реализующих имеющийся на территории города транспортный спрос.

Обозначим:

X_{rs1} – количество людей, передвигающихся в области r по типу s пешком;

X_{rs2} – количество транспортных средств ОТ, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

X_{rs3} – количество транспортных средств ИТ, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

S – количество типов прохождения маршрутов в области исследования ($S=3$).

Таким образом, для конкретной области исследования r будет 9 переменных:

X_{r11} – количество людей, передвигающихся по типу 1 (транзит) пешком;

X_{r21} – количество людей, передвигающихся по типу 2 (въезд/выезд) пешком;

X_{r31} – количество людей, передвигающихся по типу 3 (внутри области) пешком;

X_{r12} – количество транспортных средств ОТ, перевозящих пассажиров по типу 1 (транзит); и т.д.

Вместо коэффициентов k_i используем следующие параметры:

w_2 – среднее количество человек, перевозимых на одном транспортном средстве ОТ (иначе – средняя вместимость транспортного средства);

w_3 – среднее количество человек, перевозимых на одном транспортном средстве ИТ.

Тогда ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях будут иметь следующий вид:

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot w_2 + l_{rs} \cdot X_{rs3} \cdot w_3 \geq G_{rs} \quad (4.12)$$

Где l_{rs} – сумма долей всех корреспонденций, проходящих через область исследования r по типу s (км).

G_{rs} – транспортная зависимость области r по типу s (чел·км).

Также обозначим:

a_2 – пробеговые выбросы загрязняющих веществ единицей подвижного состава ОТ (г/км);

a_3 – пробеговые выбросы загрязняющих веществ единицей подвижного состава ИТ (г/км).

Тогда экологические ограничения на передвижения по исследуемым областям будут иметь следующий вид:

$$a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \leq D_r, \quad (4.13)$$

где D_r – предельная суточная эмиссия загрязняющих веществ в области r (грамм).

Для определения ограничений по УДС количество участков улично-дорожной сети всего города обозначим m . Длину i -го участка сети в области исследования r обозначим d_{ri} . Количество полос, соответствующее i -ому участку, обозначим k_i .

Тогда для области исследования r можно посчитать суммарную длину всех полос движения проезжих частей улиц и дорог области исследования:

$$l_r = \sum_{i=1}^m d_{ri} \cdot k_i \quad (4.14)$$

Далее требуется рассчитать плотность транспортного потока при непрерывном движении со скоростью движения конкретного вида транспорта. При расчете плотности транспортного потока важен динамический габарит автомобиля, который зависит от времени реакции водителя и тормозных качеств транспортных средств. Динамический габарит автомобиля L_0 включает в себя длину автомобиля l_a (м) и дистанцию безопасности d (м).

Подробный расчет динамического габарита автомобиля описан в [33,79,100]. В данной работе будем учитывать, что дистанция безопасности между движущимися автомобилями будет рассчитываться следующим образом:

$$d = c \cdot t + \frac{c^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) \quad (4.15)$$

где c – скорость движения транспортного потока (м/сек); t – время реакции водителя (с), j_i – замедление i – го автомобиля (м/с²).

Если транспортное средство движется непрерывно со скоростью c , то на улично-дорожной сети оно занимает L_0 метров проезжей части. Тогда на 1км проезжей части приходится $p = \frac{1000}{L_0}$ (авто/

км), параметр P назовем – максимальная плотность транспортного потока, движущегося с заданным значением скорости c .

Для каждого вида подвижного состава можно рассчитать свою плотность транспортного потока, таким образом обозначим:

P_2 – плотность транспортного потока ОТ при скорости c_2 (авто/км);

P_3 – плотность транспортного потока ИТ при скорости c_3 (авто/км).

Тогда ограничения по транспортному предложению для области исследования имеют вид:

$$\frac{1}{P_2} \cdot \sum_{s=1}^3 x_{rs2} + \frac{1}{P_3} \cdot \sum_{s=1}^3 x_{rs3} \leq L_r \quad (4.16)$$

где L_r – суммарная длина всех полос движения проезжих частей улиц и дорог в области r .

В процессе создания транспортных моделей проводятся натурные замеры различных параметров транспортных потоков. Одним из таких параметров является скорость транспортного потока. Обследования скоростных характеристик проводятся для различных видов транспорта. Так для каждого вида транспорта получены значения средней скорости движения транспортного потока. В поставлен-

ной оптимальной модели натурные данные скоростных параметров транспортных потоков обозначим следующих образом:

v_1 – средняя скорость перемещения одного человека пешком (км/ч);

v_2 – средняя скорость движения транспортных средств ОТ (км/ч);

v_3 – средняя скорость движения ИТ (км/ч).

Тогда целевая функция максимизации суммарной скорости перемещения всех участников движения будет иметь вид:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 (v_1 \cdot X_{rs1} + v_2 \cdot X_{rs2} \cdot w_2 + v_3 \cdot X_{rs3} \cdot w_3) \rightarrow \max \quad (4.17)$$

Модель оптимального распределения транспортного предложения

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 (v_1 \cdot X_{rs1} + v_2 \cdot X_{rs2} \cdot w_2 + v_3 \cdot X_{rs3} \cdot w_3) \rightarrow \max \quad (4.17.1)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot w_2 + l_{rs} \cdot X_{rs3} \cdot w_3 \geq G_{rs}, r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3 \quad (4.17.2)$$

$$a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \leq D_r, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.17.3)$$

$$\frac{1}{p_2} \cdot \sum_{s=1}^3 x_{rs2} + \frac{1}{p_3} \cdot \sum_{s=1}^3 x_{rs3} \leq L_r, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.17.4)$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3 \quad (4.17.5)$$

С учетом постановки математических моделей, изложенных в [120], следует заметить, что поставлены две структурно симметричные математические модели. Различие этих моделей в том, что мы находим перераспределение транспортного спроса и транспортного предложения по территории города в разных размерностях. В первой задаче в качестве неизвестных находим людей, которые перемещаются на различных видах транспорта. Во второй задаче определяем требуемое количество транспортных средств, которые перевозят людей. Так же поменялась целевая функция: в первой задаче – минимизация времени реализации всех транспортных корреспонденций, во второй – максимизация суммарной скорости перемещения всех участников движения. Как уже отмечалось, это пример двойственности в экстремальных задачах, в том числе в задачах математического программирования.

Суть постановки задачи не изменилась, как и формулировка всей модели, стали другими параметры, постоянные для каждой конкретной задачи. Различия могут быть только в том, для каких целей мы ищем решение в том или ином виде.

4.3. Построение математической модели оптимизационной задачи

Математическая модель оптимизационной задачи представляет собой линейную модель задачи математического программирования. Модель состоит из трех обязательных элементов:

- Целевой функции;
- Системы линейных неравенств (ограничений);
- Условия неотрицательности переменных.

4.3.1. Задание степеней свободы оптимальной модели. Выбор переменных

Задание степеней свободы является решающим шагом при построении любой математической модели. От этого шага зависит полнота и адекватность модели, с одной стороны, и скорость и удобство работы с моделью, с другой стороны.

При построении математической модели будем ориентироваться на поставленную выше задачу нахождения оптимального распределения транспортного спроса по территории города. Как это следует из постановки задачи, в качестве неизвестных в модели будут выступать корреспонденции людей. Корреспонденции будем искать в суточном (дневном) цикле. Все корреспонденции всех жителей города будем искать в зависимости от:

- зоны (территории города), в которой совершается корреспонденция;
- способа реализации корреспонденции;
- типа реализации корреспонденции.

Строить и решать модель формирования эффективной транспортной системы крупного города в первом приближении будем для трех способов передвижений:

- пешком;
- на общественном транспорте;
- на индивидуальном транспорте.

Каждый из способов перемещений в каждой зоне будет рассматриваться в зависимости от типа перемещения (рис. 4.2):

- АВ – транзит;
- ВС – въезд в зону;
- CD – внутреннее движение в зоне.

Требуется распределить все количество людей из матрицы корреспонденций по различным способам передвижения в исследуемых областях для каждого типа прохождения маршрута, с целью получения минимума затрат суммарного времени всеми участниками движения.

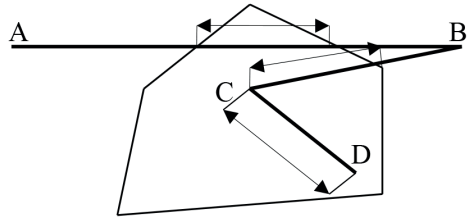


Рис. 4.2. Схема типов перемещения для каждой зоны

Для постановки модели оптимизационной задачи введем следующие искомые переменные:

X_{rs1} – количество людей, передвигающихся в области r по типу s пешком;

X_{rs2} – количество транспортных средств ОТ, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

X_{rs3} – количество транспортных средств ИТ, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

S – количество типов прохождения маршрутов в области исследования ($S = 1, 2, 3$).

Таким образом, для конкретной области исследования r будет 9 переменных:

X_{r11} – количество людей, передвигающихся по типу 1 (транзит) пешком;

X_{r21} – количество людей, передвигающихся по типу 2 (въезд/выезд) пешком;

X_{r31} – количество людей, передвигающихся по типу 3 (внутри области) пешком.

Итого: для всей области исследования (10-и транспортных зон) модель будет иметь 90 степеней свободы. Задача решения математической модели будет заключаться в отыскании лучшего набора значений всех 90 переменных. При таком выборе неизвестных и степеней свободы поставленная математическая модель оптимизационной задачи будет решать задачу распределения транспортного спроса между видами транспорта.

Поставленную задачу, а значит и математическую модель, можно существенно усложнить и расширить, например, разделив переменные, отвечающие за перемещения на ОТ, на виды подвижного состава ОТ, такие как маршрутные автобусы малого, среднего и большого класса, трамвай, троллейбус. Кроме того, можно ввести в модель в качестве переменных внеуличные системы транспорта.

Для этого количество транспортных средств ОТ – X_{rs2} необходимо разбить по видам подвижного состава:

X_{rs21} – количество автобусов малого класса, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

X_{rs22} – количество автобусов среднего класса, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

X_{rs23} – количество автобусов большого класса, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

X_{rs24} – количество троллейбусов, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s ;

X_{rs25} – количество трамваев, работающих в области r и перевозящих пассажиров по типу s .

Разумеется, что для каждого вида подвижного состава должны быть заданы основные эксплуатационные характеристики транспортного средства, такие как скорость и вместимость, а также основные параметры, участвующие в расчете ограничений на целевую функцию.

Средняя вместимость транспортного средства будет задана следующими параметрами:

w_{21} – среднее количество человек, перевозимых на одном автобусе малого класса;

w_{22} – среднее количество человек, перевозимых на одном автобусе среднего класса;

w_{23} – среднее количество человек, перевозимых на одном автобусе большого класса;

w_{24} – среднее количество человек, перевозимых на одном троллейбусе;

w_{25} – среднее количество человек, перевозимых на одном трамвае.

Расход топлива каждой единицей подвижного состава ОТ ($л / км$) разделится по видам транспорта:

a_{21} – расход топлива единицей подвижного состава автобусов малого класса ($л / км$);

a_{22} – расход топлива единицей подвижного состава автобусов среднего класса ($л / км$);

a_{23} – расход топлива единицей подвижного состава автобусов большого класса (л / км).

Плотность транспортного потока рассматриваемых видов транспорта будет зависеть от габаритов единиц подвижного состава и скорости перемещения того или иного вида транспорта:

P_{21} – плотность транспортного потока автобусов малого класса, движущихся со скоростью c_{21} (авто/км);

P_{22} – плотность транспортного потока автобусов среднего класса, движущихся со скоростью c_{22} (авто/км);

P_{23} – плотность транспортного потока автобусов большого класса, движущихся со скоростью c_{23} (авто/км).

Следует при этом иметь в виду, что даже при таком незначительном повышении детализации математической модели количество степеней её свободы почти удвоится и будет равняться 162. В дальнейшем следует ожидать соответствующего повышения требований к алгоритмам и инструментам поиска решения модели, увеличения времени нахождения решения и снижения точности результатов.

4.3.2. Формирование целевой функции оптимальной модели

Для построения целевой функции требуется задание эксплуатационных параметров систем транспорта, а также расчета объемов этих перемещений в километрах для каждой зоны.

Обозначим:

v_k - средняя скорость движения транспортного средства типа k .

Пусть известно, что:

v_1 - средняя скорость перемещения одного человека пешком (км/ч);

v_2 – средняя скорость перемещения одного человека на ОТ (км/ч);

v_3 – средняя скорость перемещения одного человека на ИТ (км/ч);

l_{rs} – средневзвешенная по количеству людей длина доли корреспонденций, проходящих через зону r по типу s , км,

$$l_{rs} = \frac{\sum_{i,j} l_{ijrs} k_{ijrs}}{\sum_{i,j} k_{ijrs}} \quad (4.18)$$

где
 l_{irs} – длина доли корреспонденций из района i в район j , проходящих через зону r по типу s , км; k_{irs} – количество корреспонденций из района i в район j , проходящих через зону r по типу s в сутки, чел.

Тогда целевая функция будет иметь вид:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} \cdot \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.19)$$

где

E – количество транспортных зон.

В такой постановке целевой функции целевой показателем функционирования транспортной системы – минимум средневзвешенного времени реализации транспортных корреспонденций всеми участниками движения в течение суток.

4.3.3. Формирование системы ограничений математической модели оптимизационной задачи

4.3.3.1. Структурная схема ограничений оптимальной модели

В качестве набора ограничений, накладываемых на целевую функцию, будем использовать четыре типа ограничений:

- по протяженности существующей улично-дорожной сети;
- по спросу на перемещение в исследуемых областях;
- по выбросам загрязняющих веществ;
- по рискам возникновения ДТП;
- по имеющемуся подвижному составу;
- по уровню шума.

Структурная схема ограничений математической модели оптимизационной задачи приведена на рисунке 4.3.

По аналогии с постановкой задачи представим логико-графическую модель способов формирования ограничений математической модели оптимизационной задачи. Модель представлена на рисунке 4.4.

По смыслу все вводимые ограничения можно разбить по виду правой части на фактические и планируемые. Фактические ограничения связаны с существующим состоянием транспортной системы – существующим спросом, инфраструктурой, подвижным составом. Все эти параметры фиксированы и при этом хорошо формализованы. Они составляют информационную основу всех транспортных моделей.

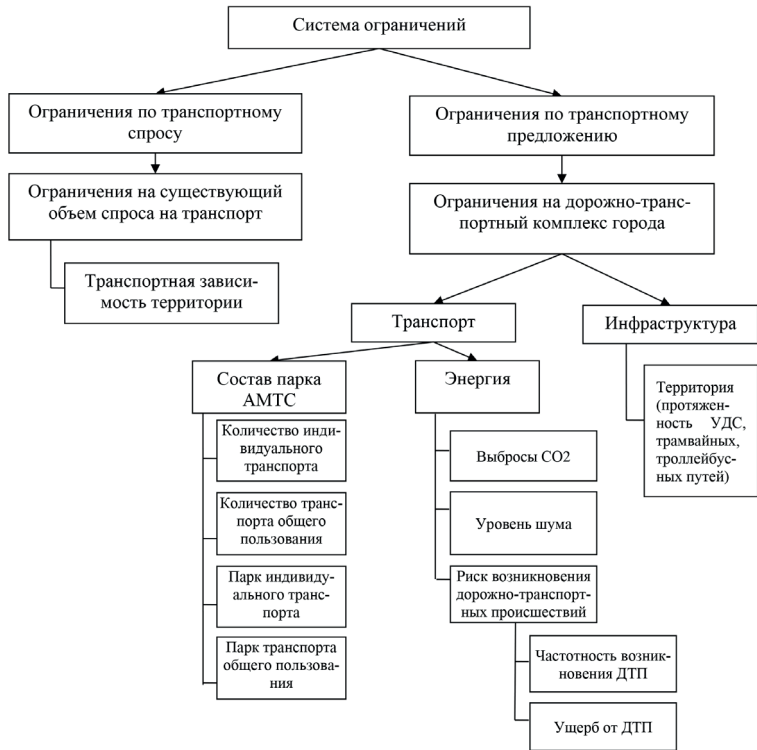


Рис. 4.3. Структурная схема ограничений математической модели оптимизационной задачи



Рис. 4.4. Логико-графическая модель способов постановки ограничений математической модели оптимизационной задачи

В свою очередь, планируемые ограничения – это те ограничения, правая часть которых не является строго формализованной. Кроме того, они не фиксированы и позволяют функционировать транспортной системе города в широком диапазоне своих изменений. К таким ограничениям можно отнести ограничение по уровню шума на территории, экологическое ограничение, ограничение по рискам ДТП.

Планируемые ограничения есть результат планирования качества жизни в городе как некие условия функционирования транспортной системы. Их можно задать жесткими, добиваясь выполнения высоких показателей качества функционирования транспорта в рамках природно-технической системы. Например, задать цель – добиться выполнения требований по качеству атмосферного воздуха, либо соблюдения предельно допустимых уровней шума во всех жилых помещениях города, либо недопущения гибели людей в ДТП. В результате следует ожидать, что оптимальной при таких ограничениях станет транспортная система, не предоставляющая ожидаемых сообществом временных показателей скорости удовлетворения транспортных потребностей.

Следует заметить, что параметры предельно допустимого уровня шума на территории и предельный уровень загрязнения атмосферного воздуха нормируются, и их значения зафиксированы в соответствующих нормативных документах. С другой стороны, не существует нормативно установленного уровня предельного риска ДТП. Сообщество жителей города скорее определяет для себя «приемлемый» на определенном этапе развития риск ДТП и смерти в них людей.

Представляется целесообразным для планируемых ограничений при их формировании задаться принципом неухудшения существующей ситуации. Такие ограничения контролировали бы поддержание параметров качества жизни в городе, относящиеся к природе каждого ограничения, на фиксированном уровне, наблюдаемом в настоящее время.

Термин «неухудшение ситуации» следует применять не к отдельным территориям, на которых эта ситуация может быть зафиксирована, а к среднему состоянию качества природной среды по отношению к одному жителю города. Иными словами, эффективность функционирования транспортной системы города должна доставлять минимум времени, затрачиваемого на реализацию корреспонденций, в пересчете на одного жителя, при сохранении общего среднего объема своего негативного влияния также на него. При рассмотрении всей территории города нетрудно заметить, что жители центральных районов города находятся больше времени на территориях с большими уровнями ингредиентного и параметрического загрязнения окружающей среды. Жители отдален-

ных районов испытывают меньшее негативное воздействие от функционирования городской транспортной системы как по абсолютной величине уровня загрязнения среды, так и по времени воздействия.

Целевая функция математической модели эффективной транспортной системы определяет суммарное время всех транспортных корреспонденций всех жителей города. В связи с этим логично и ограничения, накладываемые на развитие транспортной системы, относить к среднему уровню воздействия, приходящегося на одного жителя.

Загрязнение атмосферного воздуха на отдельных городских территориях оказывает постоянное вредное воздействие на организм человека. Это воздействие определяется физиологическими процессами, происходящими в организме человека, в частности с дыханием. Как частота дыхания человека, являясь практически неизменной в течение всего дня (в течение всей жизни), так и уровень вреда от воздействия загрязненной атмосферы также постоянен в течение дня. Иначе обстоит дело с шумом.

Представляется целесообразным шумовые ограничения в математической модели строить исходя из времени шумового воздействия на человека и времени суток, в течение которого это воздействие осуществлялось. Возможен аналогичный подход к постановке ограничений на загрязнение атмосферного воздуха.

При постановке ограничений по риску ДТП территория города, где этот риск можно ограничивать, неважна. Риск ДТП связан с собственно передвижениями человека, которые, в свою очередь, осуществляются по территории города согласно модели транспортного спроса. При нахождении человека в местах проживания либо на рабочем месте риск стать участником дорожного движения равен нулю. Предельные риски ДТП будут определяться в расчете на одного жителя города. Для этого требуется на основе существующей статистики ДТП и натурных данных об интенсивности транспортных, пассажирских и пешеходных потоков определить существующие предельные значения ущерба от ДТП и частотности возникновения ДТП в расчете на одного жителя города.

С этой целью потребуется рассматривать отдельно по каждой зоне предельную пропускную способность полосы движения. Различные по величине пропускные способности полос движения для каждой из рассматриваемых зон определены в результате анализа результатов расчета теоретической пропускной способности полосы движения в зонах с учетом технических средств организации и регулирования дорожного движения.

Вред, оказываемый каждому жителю города со стороны функционирующей в городе транспортной системы, можно ограничить абсолютными показателями, измеряемыми в Вт*ч шума и граммах загрязняющих веществ выбросов автомобильного транспорта, попавших в легкие человека.

Для постановки ограничений требуется провести ряд дополнительных исследований:

1. Исследовать уровни шума и загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта:

- a. Построить картограмму уровня шума на территории города.
- b. Построить картограмму загрязнения атмосферного воздуха города выбросами автомобильного транспорта.

2. Построить зависимости уровня шума на территории города в течение суток (в течение дня, вечера, ночи).

3. Определить количество людей, находящихся в каждой исследуемых зонах в течение трех периодов суток.

4. Найти объем среднего вреда, приходящегося на одного человека, получаемого им в течение суток от функционирования транспортной системы (в Вт*час шумового воздействия и в граммах ЗВ).

5. Найти предельное значение вреда (правую часть ограничений) в зависимости от количества людей, пребывающих в зоне в течение дня, и умноженного на средний вред по городу за период.

6. Для постановки ограничений по предельным рискам ДТП необходимо определить расчетную пропускную способность полосы движения для каждой из зон.

На основании проведения транспортного анализа городской территории разделим территорию города на 10 транспортных зон – $r = 1, 2, \dots, 10$ (рис. 4.5). Все зоны сгруппируем в четыре типа:

1) Городской центр (зона 1). Для зон данного типа характерна максимальная деловая активность.

2) Центральные районы, прилегающие к городскому центру (зоны 2-5). Для зон данного типа характерна преобладающая высотная застройка и многофункциональное использование территории.

3) Удаленные районы (зоны 6-8). Зоны данного типа имеют собственные центры деловой и социальной активности. Перспектива – преобразование данных участков в самостоятельные поселения и их автономизация.

4) Обширные участки с низкой плотностью населения (малоэтажные строения) (зоны 9, 10).

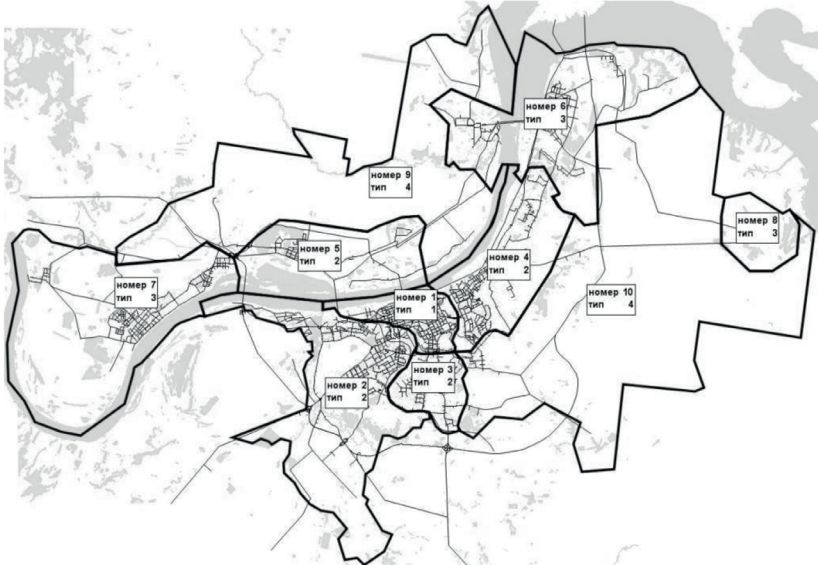


Рис. 4.5. Границы исследуемых зон в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Далее для этих зон будем назначать необходимые ограничения и искать оптимальные объемы перемещений различными видами транспорта и различными способами.

4.3.3.2. Ограничение по транспортному спросу

Смысл введения ограничений по транспортному спросу определен назначением транспортной системы. Основным и самым главным условием эффективного функционирования системы является полное удовлетворение имеющегося на территории транспортного спроса. Ограничения по транспортному спросу определены через транспортную зависимость территории, которая определяет объем существующего транспортного спроса на территории. Этот объем представляет собой так называемые «нижние» ограничения в модели функционирования транспортной системы, связанные с существующим транспортным спросом.

Структурная схема постановки ограничений по транспортному спросу представлена на рисунке 4.6. При постановке ограничений используется введенное в разделе 3.2 главы 3 понятие «транспортная зависимость территории».

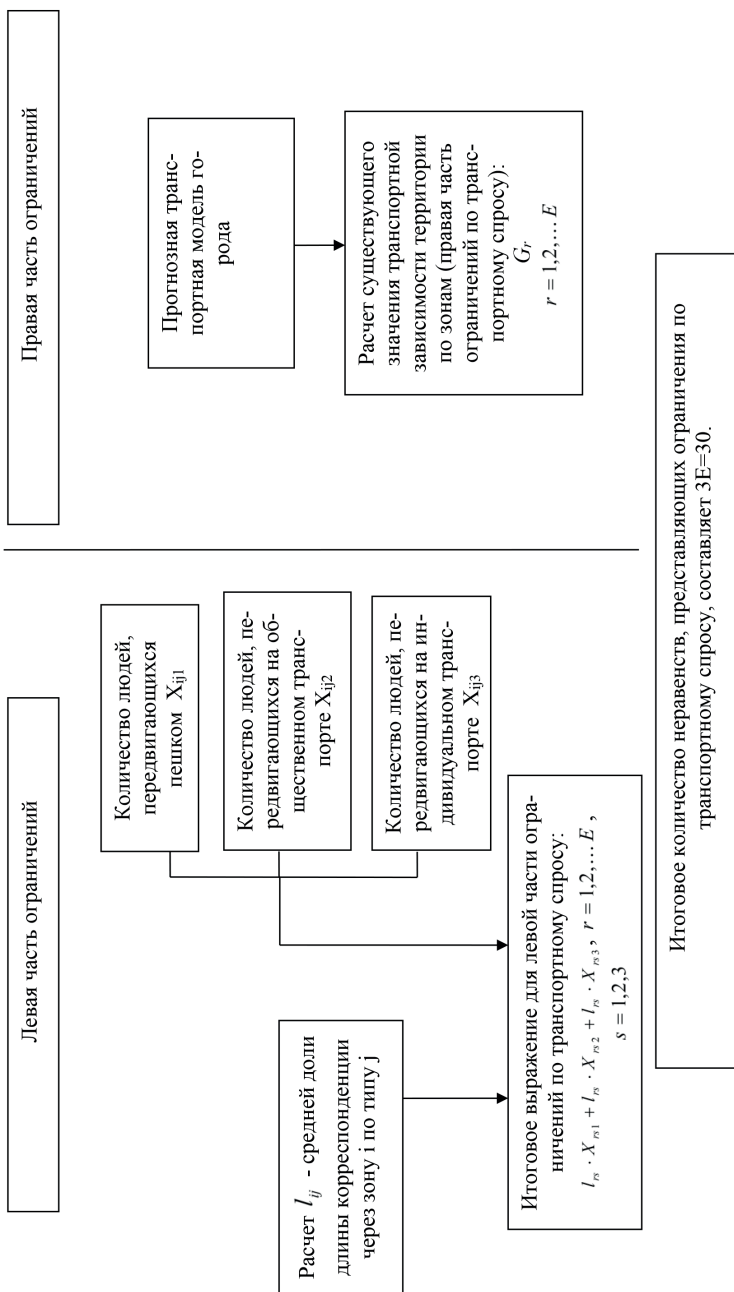


Рис. 4.6. Структурная схема постановки ограничений по транспортному спросу

4.3.3.2.1. Постановка ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях в общем виде

Ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях будут иметь следующий вид:

$$f(X_{rsk}, l_{rs}) \geq G_{rs}, \quad (4.20)$$

где

l_{rs} - средневзвешенная по количеству людей длина доли корреспонденций, проходящих через зону r по типу s (км); X_{rsk} - количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в сутки, чел, $f(X_{rsk}, l_{rs})$ - некоторая функция от вышеуказанных параметров, характеризующая объем перемещений; G_{rs} - транспортная зависимость области исследования r по типу s в сутки, чел. • км.

Причем функция f должна быть предпочтительно линейного вида относительно переменных X_{rsk} .

4.3.3.2.2. Постановка левой части ограничения

Левая часть ограничения будет иметь следующий вид:

$$f(X_{rsk}, l_{rs}) = l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \quad (4.21)$$

где

l_{rs} - среднее значение длин долей всех корреспонденций, проходящих через область исследования r по типу s (км);

X_{rsk} - количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в сутки, чел.

Типы длин долей корреспонденций l_{rs} изображены на рисунке 4.7.

l_{rs} рассчитывается как:

$$l_{rs} = \frac{\sum_{i,j} l_{ijrs} k_{ijrs}}{\sum_{i,j} k_{ijrs}} \quad (4.22)$$

где l_{rs} - средневзвешенная по количеству людей длина доли корреспонденций, проходящих через зону r по типу s , км,

l_{ijrs} - длина доли корреспонденций из района i в район j , проходящих через зону r по типу s , км (рисунок 4.7);

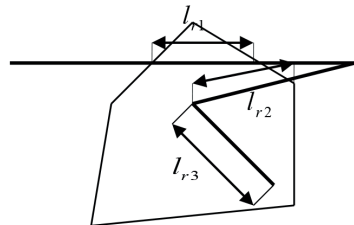


Рис. 4.7. Типы прохождения корреспонденций через зону

k_{ijrs} – количество корреспонденций из района i в район j , проходящих через зону r по типу s в сутки, чел.

4.3.3.2.3. Постановка правой части ограничения

В качестве правой части ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях используется значение параметра транспортной зависимости территории для исследуемой зоны G_{rs} . Подробнее методика расчета параметра G_{rs} описана в главе 3.

4.3.3.2.4. Постановка ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях для модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Значения параметров G_{rs} и l_{rs} для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми получены из прогнозной транспортной модели города Перми и приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2

Значения параметров G_{rs} для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Номер зоны	Тип прохождения	G_{rs} , чел·км	Переменная правой части
1	AB	519 339,74	G_{11}
	BC	1 716 040,70	G_{12}
	CD	158 831,35	G_{13}
2	AB	858 295,45	G_{21}
	BC	2 988 937,70	G_{22}
	CD	894 427,16	G_{23}
3	AB	168 594,20	G_{31}
	BC	1 263 217,21	G_{32}
	CD	113 051,18	G_{33}
4	AB	395 748,50	G_{41}
	BC	1 831 469,25	G_{42}
	CD	433 986,51	G_{43}

Номер зоны	Тип прохождения	G_{rs} , чел·км	Переменная правой части
5	AB	576 649,42	G_{51}
	BC	1 495 145,96	G_{52}
	CD	129 690,90	G_{53}
6	AB	244 201,37	G_{61}
	BC	1 405 037,59	G_{62}
	CD	520 286,20	G_{63}
7	AB	166 619,34	G_{71}
	BC	1 352 256,44	G_{72}
	CD	688 103,26	G_{73}
8	AB	0,00	G_{81}
	BC	382 821,44	G_{82}
	CD	0,10	G_{83}
9	AB	859 473,78	G_{91}
	BC	398 349,97	G_{92}
	CD	5 012,87	G_{93}
10	AB	1 515 830,25	G_{10-1}
	BC	238 742,42	G_{10-2}
	CD	4 930,00	G_{10-3}

Таблица 4.3

Значения параметров l_{rs} для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Номер зоны	Доли длин транзитных корреспонденций l_{r1} , км	Доли длин пограничных корреспонденций l_{r2} , км	Доли длин внутренних корреспонденций l_{r3} , км
1	6,70	4,37	1,82
2	9,80	5,77	3,47
3	7,12	4,50	2,08

Номер зоны	Доли длин транзитных корреспонденций l_1 , км	Доли длин пограничных корреспонденций l_2 , км	Доли длин внутренних корреспонденций l_3 , км
4	10,12	5,63	2,73
5	12,48	7,88	4,16
6	15,17	8,10	3,87
7	20,72	9,43	3,46
8	0,10	14,45	0,10
9	14,87	5,94	3,05
10	11,23	5,92	5,31

Приведенные в таблицах 4.2 и 4.3 значения коэффициентов правой и левых частей ограничений по транспортному спросу будут использованы при построении математической модели оптимизационной задачи для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

4.3.3.3. Ограничение по протяженности существующей УДС

Ограничение по протяженности существующей улично-дорожной сети (УДС) является территориальным ограничением на существующее транспортное предложение. Данное ограничение определяет предложение дорожно-транспортного комплекса с точки зрения возможности удовлетворения имеющегося транспортного спроса. Использование данного ограничения в постановке оптимизационной задачи связано с тем, что территория – один из важнейших ресурсов в условиях города. В качестве ограничения будет использоваться существующая протяженность УДС города. В связи с этим, ограничение по протяженности УДС – единственное жесткое ограничение в оптимизационной задаче. Параметры УДС любого города хорошо формализованы и являются основой при формировании графа сети в построении прогнозных транспортных моделей.

Структурная схема постановки ограничения по протяженности существующей улично-дорожной сети представлена на рисунке 4.8. При постановке данного ограничения используются такие понятия, как: плотность транспортного потока и средняя вместимость транспортного средства.

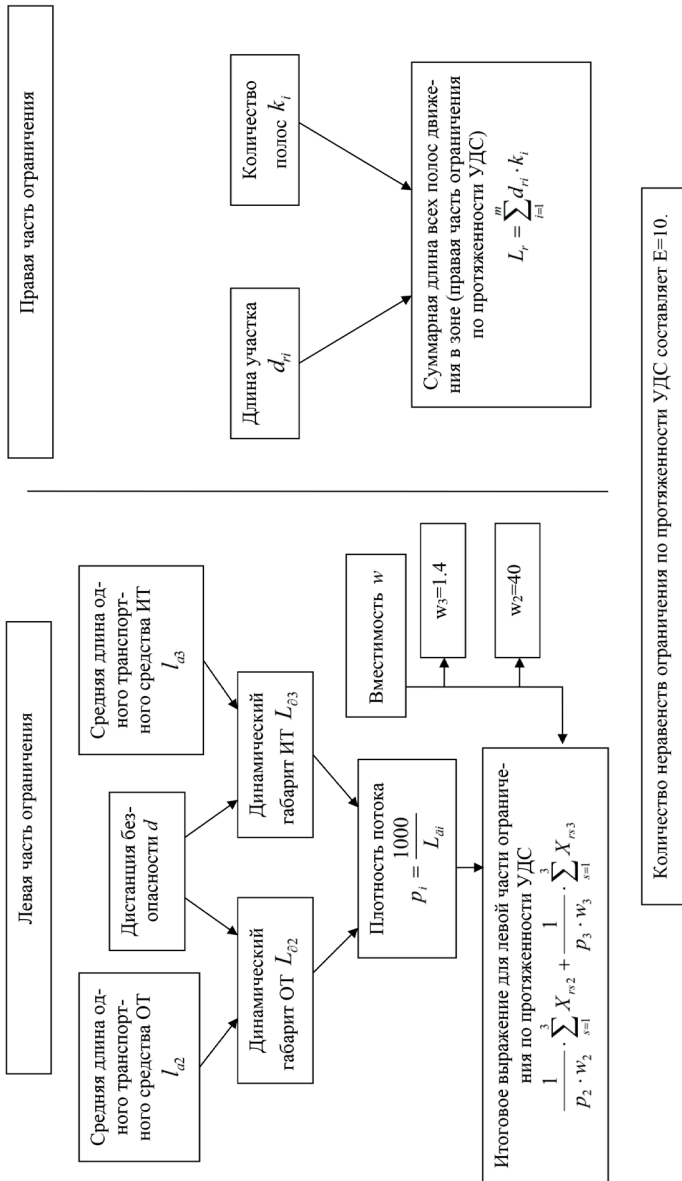


Рис. 4.8. Структурная схема постановки ограничения по протяженности существующей улично-дорожной сети

4.3.3.3.1. Постановка ограничения по протяженности существующей УДС в общем виде

Ограничение по транспортному предложению для области исследования имеет вид:

$$f(X_{rsk}, p_k, w_k) \geq L_r \quad (4.23)$$

где p_k – плотность транспортного потока типа k , ед./км; w_k – вместимость ТС типа k , чел/ед.; X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в сутки, чел; $f(X_{rsk}, p_k, w_k)$ – некоторая функция от вышеуказанных параметров, характеризующая необходимую протяженность УДС; L_r – суммарная длина всех полос движения проезжих частей улиц и дорог в области r .

Функция f должна быть предпочтительно линейного вида относительно переменных X_{rsk} .

4.3.3.3.2. Постановка левой части ограничения

В общем виде левая часть ограничения будет иметь вид:

$$f(X_{rsk}) = \frac{1}{p_2 w_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{p_3 w_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \quad (4.24)$$

где L_r – суммарная длина всех полос движения проезжих частей улиц и дорог в области r , p_2 – плотность транспортного потока для ОТ, ед./км; p_3 – плотность транспортного потока для ИТ, ед./км; w_2 – вместимость ТС ОТ, чел/ед.; w_3 – вместимость ТС ИТ, чел/ед.; p_2, p_3 – максимальные плотности транспортных потоков, для общественного и индивидуального транспорта соответственно. Значение p_i пределяется по формуле:

$$p_i = \frac{1000}{L_{oi}}, \quad (4.25)$$

где L_{oi} – динамический габарит транспортного средства i -го вида, включает в себя длину транспортного средства l_a (м) и дистанцию безопасности d (м).

$$L_{oi} = l_a + d_i \quad (4.26)$$

Дистанция безопасности d (м) рассчитывается по формуле:

$$d_i = v_i \cdot t + \frac{v_i^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right), \quad i = 2, 3 \quad (4.27)$$

где v_i – скорость движения транспортного потока типа i (м/сек); v_2 – скорость движения ОТ, м/сек; v_3 – скорость движения ИТ, м/сек; t – время реакции водителя (с); j_1, j_2 – замедление впереди едущего автомобиля и следующего за ним соответственно (м/с²).

Таким образом,

$$p_1 = \frac{1000}{L_a + v_i \cdot t + \frac{v_i^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right)} \quad (4.28)$$

Левая часть ограничения примет вид:

$$f(X_{rsk}) = \frac{1}{1000} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{1000} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} + \frac{v_2^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{v_3^2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \quad (4.29)$$

4.3.3.3. Постановка правой части ограничения

Суммарная длина всех полос движение на УДС города (значение L_r) определяется по формуле:

$$L_r = \sum_{i=1}^m d_{ri} \cdot k_i \quad (4.30)$$

где d_{ri} – длина i -го участка сети в области исследования r , км; k_i – количество полос, соответствующее i -ому участку; m – количество участков УДС в области.

4.3.3.3.4. Постановка ограничения по протяженности существующей УДС для модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Значения L_r , рассчитанные для существующего состояния транспортного предложения для каждой зоны, приведены в таблице 4.4.

Далее рассчитаем значения параметров для левой части ограничения:

на основании натурных замеров для индивидуального транспорта значения j_1 и j_2 равны 3 м/с² и 2,8 м/с².

Среднюю длину легкового автомобиля примем равной 4,3 м, среднюю длину единицы подвижного состава общественного транспорта – 12 м.

Для общественного транспорта значения j_1 и j_2 равны 2,8 м/с² и 1 м/с².

Таблица 4.4

Суммарная длина всех полос движения проезжих частей по зонам

Номер зоны	L_r , км
1	301,098
2	473,328
3	129,390
4	261,613
5	151,266
6	229,257
7	228,690
8	12,705
9	83,828
10	117,013

По данным натурных обследований скорости движения транспортного потока равны:

- индивидуальный транспорт – 24 км/ч (7,5 м/с),
- общественный транспорт – 18 км/ч (5 м/с).

Время реакции водителя равно 1 сек.

Таким образом, плотность транспортного потока ИТ при скорости 24 км/ч равна:

$$p_3 = \frac{1000 \text{ м}}{4,3 \text{ м} + 7,5 \text{ м} / \text{с} \cdot 1 \text{ с} + \frac{(7,5 \text{ м} / \text{с})^2}{2} \left(\frac{1}{2,8 \text{ м} / \text{с}^2} \cdot \frac{1}{3 \text{ м} / \text{с}^2} \right)} \quad (4.31)$$

Плотность транспортного потока ОТ при скорости 18 км/ч равна:

$$p_2 = \frac{1000 \text{ м}}{12 \text{ м} + 5 \text{ м} / \text{с} \cdot 1 \text{ с} + \frac{(5 \text{ м} / \text{с})^2}{2} \left(\frac{1}{1 \text{ м} / \text{с}^2} \cdot \frac{1}{2,8 \text{ м} / \text{с}^2} \right)} \quad (4.32)$$

По результатам анализа проведенных натурных обследований загрузки транспортных средств примем следующие значения для w_i :

$$w_2 = 40 \text{ чел / ед} \cdot,$$

$$w_3 = 1,4 \text{ чел / ед}.$$

Тогда ограничение по территории будет иметь вид:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{1000m} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \\ & \frac{(5m/c)^2 \left(\frac{1}{1m/c^2} \cdot \frac{1}{2,8m/c^2} \right)}{2} \cdot 40 \\ & + \frac{1}{1000m} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, \\ & \frac{(7,5m/c)^2 \left(\frac{1}{2,8m/c^2} \cdot \frac{1}{3m/c^2} \right)}{2} \cdot 1,4 \end{aligned} \quad (4.33)$$

значения L_r приведены в таблице 4.4.

4.3.3.5. Учет наличия выделенных полос для движения общественного транспорта

Последующий анализ решения двойственной модели оптимизационной задачи распределения транспортного спроса показал, что транспортной системе города не хватает основного ресурса – городского пассажирского транспорта общего пользования. Самая большая двойственная оценка (теневая цена) зафиксирована у ограничения по количеству подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования. Тем не менее, пуск дополнительного подвижного состава неоднозначно повлияет на целевую функцию, так в этом случае следует прогнозировать падение скорости смешанного транспортного потока на УДС города. В связи с этим, становится актуальным выделение полос для движения ОТ в составе УДС. Дерево целей увеличения количества подвижного состава ОТ приведено на рисунке 4.9.



Рис. 4.9. Дерево целей увеличения количества подвижного состава ОТ

Параметры и количество выделенных полос для движения общественного транспорта также можно ввести в модель в виде отдельного ограничения. В связи с этим, в модель вводится еще одно ограничение – ограничение по длине выделенных полос в зоне. Вид ограничения аналогичен ограничению по протяженности УДС:

$$\frac{1}{p'_2 \cdot w_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq L'_r \quad (4.34)$$

где p'_2 – плотность потока ОТ на выделенной полосе; она будет соответствовать максимальной плотности потока ОТ; L'_r – длина выделенных полос ОТ в зоне.

С учетом введенного ограничения в модели предлагается учитывать два показателя скорости движения ОТ: в общем потоке и на выделенной полосе.

Плотность потока ОТ на выделенной полосе p'_2 будем рассчитывать как:

$$p'_2 = \frac{1000}{L'_{\partial 2}} \quad (4.35)$$

где $L'_{\partial i}$ – динамический габарит транспортного средства ОТ на выделенной полосе, включает в себя длину транспортного средства l_a (м) и дистанцию безопасности d' (м).

$$L'_{\partial i} = l_a + d' \quad (4.36)$$

Среднюю длину единицы подвижного состава общественного транспорта примем – 12 м.

Дистанция безопасности d' (м) рассчитывается по формуле [44,78,100]:

$$d' = v'_2 \cdot t + \frac{v'^2_2}{2} \left(\frac{1}{j_2} - \frac{1}{j_1} \right) \quad (4.37)$$

где v'_2 – скорость движения транспортного потока ОТ по выделенной полосе (м/сек),

t – время реакции водителя (сек),

j_1, j_2 – замедление едущего впереди автомобиля и следующего за ним (м/сек²).

Для общественного транспорта значения j_1 и j_2 равны 2,8 м/с² и 1 м/с².

Для движения по выделенной полосе скорость общественного транспорта примем равной скорости потока индивидуального транспорта – 24 км/ч (7,5 м/с).

Время реакции водителя равно 1 сек.

Таким образом, плотность транспортного потока ОТ на выделенной полосе равна:

$$p'_2 = \frac{1000m}{12m + 7,5m/c \cdot 1c + \frac{(7,5m/c)^2}{2} \left(\frac{1}{1m/c^2} - \frac{1}{2,8m/c^2} \right)} = 26,6 \text{ авт./км} \quad (4.38)$$

Ограничение по использованию выделенных полос примет вид:

$$\frac{1}{26,6 \cdot 40} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \geq L'_r \quad (4.39)$$

где X_{rs2} – количество людей, совершающих корреспонденции через зону r по типу s на ОТ, L'_r – длина выделенных полос ОТ в зоне.

Есть несколько подходов к постановке ограничения по количеству выделенных полос. Самый правильный подход – делить корреспонденции ОТ по видам транспорта, с тем чтобы разделять в этом показателе трамвайные пути, полосы для движения автомобильного транспорта общего пользования и общую проезжую часть. В этом случае придется отдельно выделять корреспонденции различных систем транспорта и в остальных ограничениях. Однако такое увеличение количества переменных затрудняет проведение анализа результатов решения оптимизационной задачи.

Поэтому предлагается использовать упрощенный подход учета выделенных полос. Он не подразумевает дополнительного разделения переменных по видам. Данный подход подразумевает, что выделенные полосы (полосы для движения автомобильного транспорта) должны использоваться на 100%. Данное ограничение будет являться в такой постановке нижним ограничением.

4.3.3.4. Ограничение по имеющемуся подвижному составу

Кроме территории, ограничения по транспортному предложению включают в себя ограничения, связанные с обеспеченностью городской транспортной системы подвижным составом разных марок. Это относится как к обеспеченности города подвижным составом общественного транспорта, так и к наличию индивидуального транспорта у населения. В связи с этим, количество транспортных средств в собственности населения и наличие подвижного состава общественного транспорта также будет являться одним из ограничений при оптимальном распределении транспортного спроса в транспортной системе города. В качестве ограничения будет использоваться существующее состояние парка индивидуального и общественного транспорта.

Структурная схема постановки ограничений по имеющемуся подвижному составу представлена на рисунке 4.10. При постановке данного вида ограничений используются такие параметры, как средний пассажирооборот и коэффициент выхода подвижного состава на линию. В качестве левой части используется общее количество имеющегося подвижного состава.

Структурная схема постановки ограничения по имеющемуся подвижному составу индивидуального транспорта представлена на рисунке 4.11. При постановке данного ограничения используются такие параметры, как средняя вместимость ТС индивидуального транспорта и среднее количество поездок на индивидуальном транспорте на одного человека в сутки. В качестве левой части используется общее количество ТС индивидуального транспорта, имеющих в собственности у жителей исследуемой области.

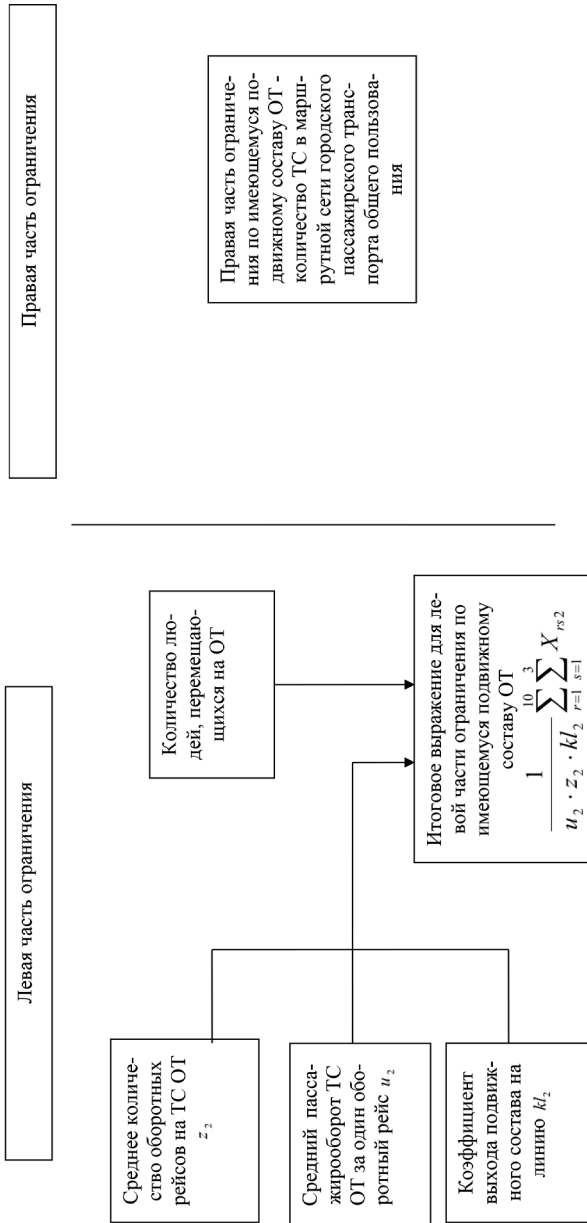


Рис. 4.10. Структурная схема постановки ограничения по имеющемуся подвижному составу ОТ

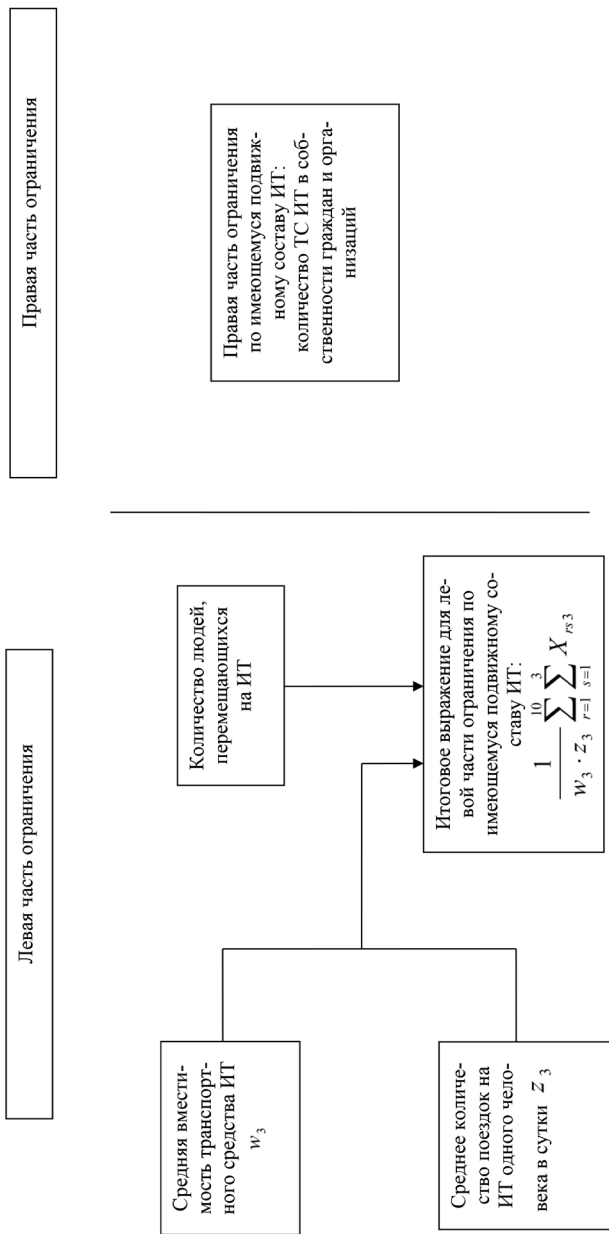


Рис. 4.11. Структурная схема постановки ограничения по имеющемуся подвижному составу индивидуального транспорта

4.3.3.4.1. Постановка ограничения по подвижному составу в общем виде

В общем виде ограничение по имеющемуся подвижному составу будет иметь вид:

$$g(X_{rs2}, u_2, z_2, kl_2) \leq OT; \quad (4.40)$$

$$f(X_{rs3}, w_3, z_3) \leq ИТ, \quad (4.41)$$

где X_{rs2} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ОТ в сутки, чел, X_{rs3} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ИТ в сутки, чел. $ОТ$ – количество единиц подвижного состава общественного транспорта, который используется в единой маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, ед.; $ИТ$ – количество зарегистрированного в городе индивидуального транспорта, ед.; u_2 – средний пассажирооборот единицы транспортного средства общественного транспорта за один оборотный рейс, чел/рейс; z_2 – среднее количество оборотных рейсов на единицу подвижного состава общественного транспорта в сутки, рейс/ед.; kl_2 – коэффициент выхода подвижного состава на линию; w_3 – средняя вместимость транспортного средства ИТ, чел/ед.; z_3 – среднее количество поездок на ИТ одного человека в сутки, рейс.

$f(X_{rs3}, w_3, z_3)$, $g(X_{rs2}, u_2, z_2, kl_2)$ – некоторые функции от вышеуказанных параметров, характеризующие количество подвижного состава.

4.3.3.4.2. Постановка правой части ограничения

В качестве правой части неравенств будут использоваться следующие параметры:

$ОТ$ – количество единиц подвижного состава общественного транспорта, который используется в единой маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, ед.;

$ИТ$ – количество зарегистрированного в городе индивидуального транспорта, ед.

4.3.3.4.3. Постановка левой части ограничения

Левая часть ограничения по имеющемуся подвижному составу будет иметь вид:

$$g(X_{rs2}) = \frac{1}{u_2 \cdot z_2 \cdot kl_2} \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \quad (4.42)$$

$$f(X_{rs3}) = \frac{1}{w_3 \cdot z_3} \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \quad (4.43)$$

где:

X_{rs2} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ОТ в сутки, чел.;

X_{rs3} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ИТ в сутки, чел.;

OT – количество единиц подвижного состава общественного транспорта, который используется в единой маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, ед.;

$ИТ$ – количество зарегистрированного в городе индивидуально-го транспорта, ед.

Требуется установить вид функций g и f . Для этого введем следующие параметры:

u_2 – средний пассажирооборот единицы транспортного средства общественного транспорта за один оборотный рейс, чел/рейс. Данная величина определяет параметры суточной неравномерности пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта общего пользования, а также уровень загрузки подвижного состава (чел/ m^2) в соответствии со стандартом качества перевозок;

z_2 – среднее количество оборотных рейсов на единицу подвижного состава общественного транспорта в сутки, рейс/ед. Данная величина определяет общие параметры сети городского пассажирского транспорта общего пользования, такие как протяженность маршрута и скорость на линии;

kl_2 – коэффициент выхода подвижного состава на линию. Данная величина определяет эксплуатационные показатели использования подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования.

Аналогично для индивидуального транспорта примем:

w_3 – средняя вместимость транспортного средства ИТ, чел/ед. Данная величина определяет сложившуюся (наблюдаемую) в крупных городах степень использования индивидуального транспорта в ежедневных поездках в будний день;

z_3 – среднее количество поездок на ИТ одного человека в сутки, рейс.

В дальнейшем в модель будет включен также подвижной состав ОТ, который не входит в единую маршрутную сеть городского пассажирского транспорта общего пользования.

4.3.3.4.4. Постановка ограничения по имеющемуся подвижному составу для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми приняты следующие значения параметров:

$$OT = 1000 \text{ ед};$$

$$IT = 285000 \text{ ед};$$

$$u_2 = 100 \text{ пасс/рейс};$$

$$z_2 = 16 \text{ рейсов};$$

$$kl_2 = 0,8;$$

$$w_3 = 1,4 \text{ чел/ед};$$

$$z_3 = 6.$$

Тогда для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми ограничение примет вид:

$$\frac{1}{100 \cdot 16 \cdot 0,8} \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq 1000, \quad (4.44)$$

$$\frac{1}{1,4 \cdot 6} \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq 285000. \quad (4.45)$$

4.3.3.5. Особенности построения энергетических ограничений

При построении энергетических ограничений используются понятия идеальной и реальной улично-дорожной сети.

Схематичные изображения реальной и идеальной сети приведены на рисунках 4.12-4.13 (см. цветную вклейку).

Реальная сеть – это физически существующая УДС, представленная в виде графа, ребрами которой являются дороги и улицы, узлами – перекрестки. Нагрузка участка реальной сети – это интенсивности транспортных потоков на данном участке.

Идеальная сеть – это сеть, узлами которой являются центры транспортных районов, а ребрами – воздушные линии, соединяющие их. Нагрузка участка идеальной сети – это количество корре-

спонденций, совершаемых между парой районов, центры которых являются началом и концом отрезка.

Необходимость использования терминов реальной и идеальной сети в ограничениях связана с тем, что переменные оптимизационной задачи X_{rst} определены в терминах идеальной сети. При этом энергетические ограничения строятся по принципу «не хуже, чем есть», поэтому правые части данных ограничений логичнее строить исходя из текущего анализа работы реальной УДС города. Далее при расчете каждого из ограничений нужно учитывать не только размеры исследуемой зоны и протяженность УДС данной зоны, но и численность населения зоны, путем учета удельного вредного воздействия. При этом постановка ограничений также формируется из принципа «не хуже, чем сейчас».

Предложенный подход к расчету энергетических ограничений имеет ряд недостатков.

В частности, он не учитывает количество жителей каждой из исследуемых зон, которые попадают под воздействие загрязняющих веществ, шума, риска ДТП. При использовании данного подхода результаты расчета позволяют сделать вывод о том, что допустимый уровень шума или объем выбросов загрязняющих веществ в зоне 1 может быть больше, чем в зоне 9. При этом зона 9 имеет меньшую численность населения и меньшую площадь УДС при большей площади, то есть в действительности при равномерном распределении загрязнения по зоне 9 в пересчете на одного жителя объем вредного воздействия на одного жителя окажется меньше, чем в зоне 1.

Возможен альтернативный подход к расчету энергетических ограничений. Альтернативный подход включает расчет удельного вредного воздействия на одного жителя зоны. Далее при расчете каждого из ограничений нужно учитывать не только размеры исследуемой зоны и протяженность УДС данной зоны, но и население зоны, путем учета удельного вредного воздействия. При этом расчет ограничений так же выполняется по принципу «не хуже, чем сейчас».

4.3.3.6. Экологическое ограничение

Экологическое ограничение относится к энергетическим ограничениям транспортного предложения. Несовершенство технологий преобразования энергии в двигателе внутреннего сгорания наносит вред окружающей среде и здоровью жителей городов.

При постановке экологического ограничения был использован комбинированный подход. Данный подход включает в себя анализ существующих объемов потребления топлива автотранспортом в городах. В целях формирования экологического ограничения на городских территориях был проведен комплекс расчетных экспериментов. Вычислительные эксперименты проводились с целью определения предельного объема движения на городской территории, формирующего предельно допустимое количество сжигаемого топлива транспортом в течение суток.

Возможен также прямой расчет правой части ограничения как существующего положения с загрязнением исследуемой территории, в этом случае ограничение соответствует принципу «не хуже, чем сейчас».

Структурная схема постановки экологического ограничения представлена на рисунке 4.14. При постановке данного вида ограничений используются такие параметры, как удельные значения объема сжигаемого топлива, средняя доля длины корреспонденций в зоне, население зоны.

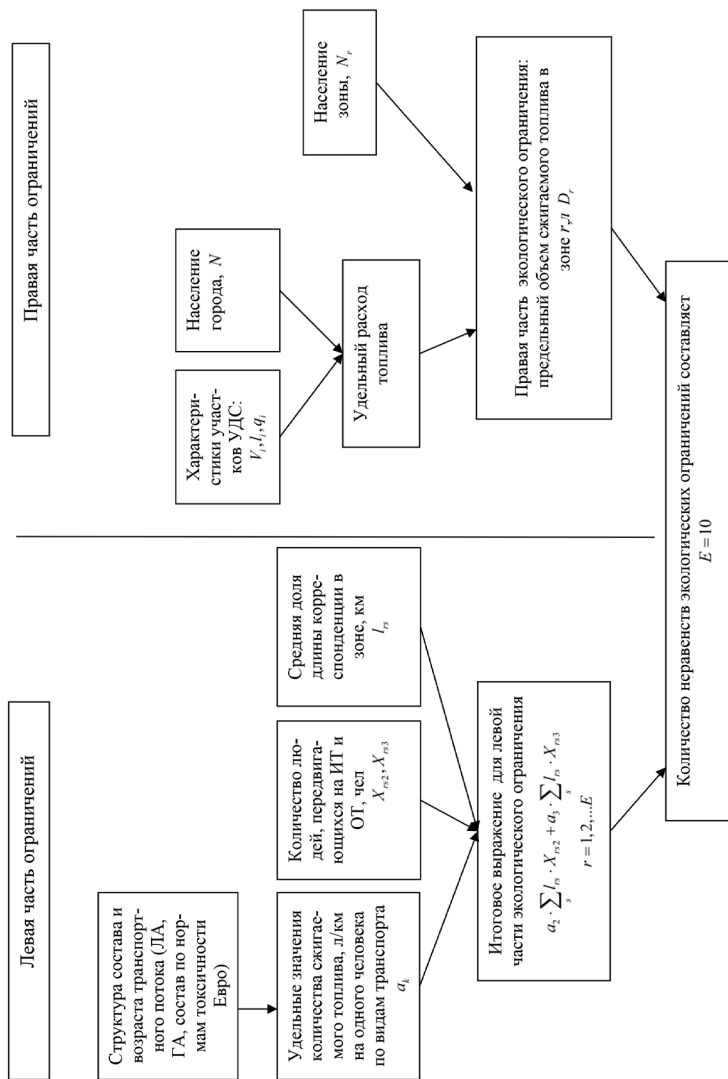


Рис. 4.14. Структурная схема постановки экологических ограничений

4.3.3.6.1. Постановка экологического ограничения в общем виде

Экологическое ограничение в общем виде будет иметь вид:

$$f(X_{rsk}, l_{rs}, a_k) \leq D \quad (4.46)$$

где X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в сутки, чел.; a_k – удельный объем сжигаемого топлива, требуемое на перемещение одного человека на 1 км видом транспорта k , л/км/чел; l_{rs} – средняя доля длины корреспонденции через зону r по типу s , км. $f(X_{rsk}, l_{rs}, a_k)$ – некоторая функция от вышеуказанных параметров, характеризующая объем сжигаемого топлива; D – предельный (существующий) объем сжигаемого топлива в течение суток в пересчете на одного жителя города, в сутки, л/чел.

4.3.3.6.2. Постановка левой части экологического ограничения

Левая часть экологического ограничения в общем виде будет иметь вид:

$$f(X_{rsk}) = a_1 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs1} + a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \quad (4.47)$$

где

X_{rs1} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s пешком в сутки, чел.;

X_{rs2} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ОТ в сутки, чел.;

X_{rs3} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ИТ в сутки, чел.;

l_{rs} – средняя доля длины корреспонденции через зону r по типу s , км;

a_k – удельный объем сжигаемого топлива, требуемое на перемещение одного человека на 1 км видом транспорта k , л/км/чел.

Для того чтобы получить значение энергии в пересчете на одного человека, левую часть неравенства разделим на количество жителей данной зоны:

$$f(X_{rsk}) = \frac{1}{N_r} (a_1 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs1} + a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3}) \quad (4.48)$$

где

X_{rs1} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s пешком в сутки, чел.;

X_{rs2} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ОТ в сутки, чел.;

X_{rs3} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ИТ в сутки, чел.;

l_{rs} – средняя доля длины корреспонденции через зону r по типу s , км;

a_k – удельный объем сжигаемого топлива, требуемое на перемещение одного человека на 1 км видом транспорта k , л/км/чел.;

N_r – количество жителей зоны r , чел.

Таким образом, в общем виде экологическое ограничение будет иметь вид:

$$\frac{1}{N_r} \left(a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \leq D \quad (4.49)$$

4.3.3.6.3. Постановка правой части экологического ограничения

Правая часть ограничения (D) определяет существующий объем сжигаемого транспортом топлива на одного жителя города, который рассчитывается по методике [160,161]. Цель выполнения данного ограничения – не допустить увеличения объема потребления топлива в расчете на одного жителя города по сравнению с существующим объемом.

4.3.3.6.4. Постановка экологического ограничения для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Проведем расчет коэффициентов a_2 и a_3 для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Значение параметра a_1 равно нулю.

Примем следующие значения параметров:

$$u_2 = 30 \text{ л} / 100 \text{ км} \quad (4.50)$$

$$u_3 = 10 \text{ л} / 100 \text{ км} \quad (4.51)$$

где

u_2 – средний расход топлива ОТ, л/100 км;

u_3 – средний расход топлива ИТ, л/100 км.

С учетом параметров вместимости коэффициенты a_2 и a_3 будут равны:

$$a_k = \frac{u_k}{w_k} / 100 \quad (4.52)$$

где

a_k – удельный объем сжигаемого топлива, требуемое на перемещение одного человека на 1 км видом транспорта k , л/км/чел;

u_k – расход топлива ТС вида транспорта k , л/100 км;

w_k – вместимость ТС вида транспорта k , чел/ед.

Таким образом, для автобуса удельный объем сжигаемого топлива, требуемое на перемещение одного человека на 1 км, составит:

$$a_2 = \frac{30 \text{ л} / 100 \text{ км}}{40 \text{ чел.}} / 100 = 0,0075 \text{ л} / \text{км} / \text{чел.} \quad (4.53)$$

Для легкового автомобиля удельный объем сжигаемого топлива, требуемое на перемещение одного человека на 1 км, составит:

$$a_3 = \frac{10 \text{ л} / 100 \text{ км}}{1,4 \text{ чел.}} / 100 = 0,071 \text{ л} / \text{км} / \text{чел.} \quad (4.54)$$

Значение D было рассчитано с помощью прогнозной транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. С использованием прогнозной транспортной модели были рассчитаны суточные интенсивности транспортных потоков на УДС российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми и был рассчитан суммарный суточный пробег индивидуального и общественного транспорта. Так, суточный пробег индивидуального транспорта составил 10 421 270,5 км. Суммарный пробег автобусов, обслуживающих регулярные маршруты регулярных перевозок, составил 155 873,9 км.

С учетом значений расхода топлива, представленных выше, и численности населения г. Перми 1 042 763 человек, значение D составит:

$$D = (10421270,5 \text{ км} \cdot 10 \text{ л} / 100 \text{ км} / 100 + 155873,9 \text{ км} \cdot 30 \text{ л} / 100 \text{ км} / 100) / (4.55) \\ 1042763 \text{ чел.} = 1088889,2 \text{ л} / 1042763 \text{ чел.} = 1,044 \text{ л} / \text{чел.}$$

Найденная величина D является суточным объемом сжигаемого топлива всем движущимся по УДС города Перми транспортом в расчете на одного жителя города.

Таким образом, экологическое ограничение города Перми будет иметь вид:

$$\frac{1}{N_r} (0,0075 \cdot \sum_S \frac{1}{N_r} \cdot \sum_{S=1}^3 I_{rs} \cdot X_{rs2} + 0,071 \cdot \sum_{S=1}^3 I_{rs} \cdot X_{rs3}) \leq 1,044 \quad (4.56)$$

Значения $l_{гс}$ для каждой зоны представлены в таблице 4.3.

4.3.3.7. Постановка ограничения по уровню шума

Ограничение по уровню шума относится к энергетическим ограничениям по транспортному предложению. Оценка по уровню шума была разделена на два направления: анализ существующего уровня шума в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми и постановка ограничения по уровню шума на одного жителя.

В ходе анализа уровня шума от автотранспортных потоков были разработаны алгоритм для расчета количества населения, находящегося в зоне превышения ПДУ, и алгоритм построения полей уровней транспортного шума на рассматриваемой территории.

При постановке ограничения в качестве правой части оптимальной модели было использовано существующее состояние по уровню транспортного шума на территории в расчете на одного жителя.

Структурная схема постановки ограничений по уровню транспортного шума представлена на рисунке 4.15. При постановке данного вида ограничений используются такие параметры, как площадь территории с определенным уровнем транспортного шума в зоне и вместимость ТС.

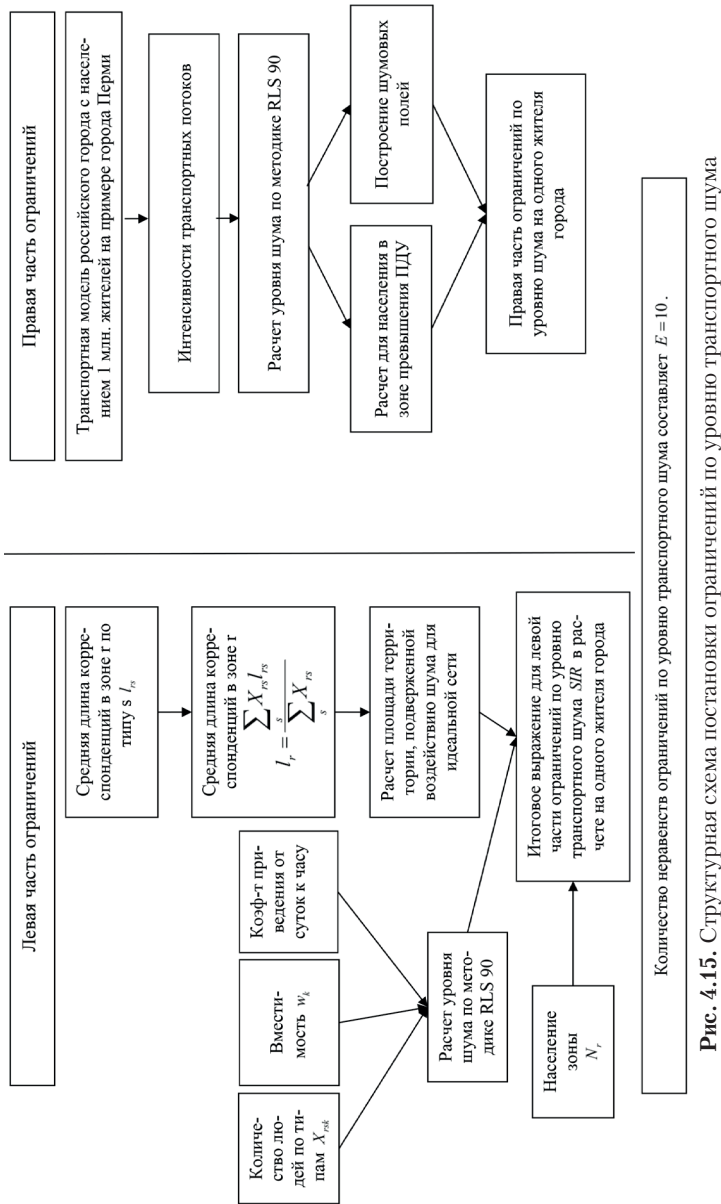


Рис. 4.15. Структурная схема постановки ограничений по уровню транспортного шума

4.3.3.7.1. Постановка ограничения по уровню транспортного шума в общем виде

В общем виде ограничение будет иметь вид:

$$f(X_{rsk}, \omega_k) \leq SR \quad (4.57)$$

где X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в сутки, чел.; ω_k – средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед. $f(X_{rsk}, \omega_k)$ – есть некоторая функция от вышеуказанных параметров, характеризующая величину негативного воздействия транспортного шума на население, проживающее на городской территории; SR – среднее значение уровня транспортного шума, приходящегося на одного жителя города в сутки, Вт/чел.

4.3.3.7.2. Постановка правой части ограничения по уровню транспортного шума

В качестве правой части ограничения будет использоваться фактическое значение уровней шума транспортных потоков, рассчитанных для реальной сети, приходящихся на одного жителя города. При этом решение оптимизационной задачи будет сводиться к тому, чтобы уменьшать общее время совершения корреспонденций, не увеличивая при этом значение уровня шума, приходящееся на каждого жителя города.

Расчет уровня шума производится для каждого участка УДС на основе интенсивности транспортных потоков в периоды:

- дневной (с 7 до 19 часов);
- вечерний (с 19 до 23 часов);
- ночной (с 23 до 7 часов).

Для каждого участка реальной УДС посчитан уровень шума l'_i по методике RLS (описание методики приведено для каждого периода).

l_{Di} – уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети в дневной период, дБА;

l_{Ei} – уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети в вечерний период дБА;

l_{Ni} – уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети в ночной период, дБА.

Далее для каждого отрезка сети был рассчитан средний уровень шума за период день-вечер-ночь:

$$L_{deni} = 10 \lg \frac{1}{24} (12 \cdot 10^{\frac{L_{Di}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{Ei}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{Ni}+10}{10}}) \quad (4.58)$$

где

L_{deni} – средний уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети за период день-вечер-ночь в час, дБ;

L_{Di} – уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети в дневной период (за 12 часов), дБА;

L_{Ei} – уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети в вечерний период (за 4 часа), дБА;

L_{Ni} – уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети в ночной период (за 8 часов), дБА.

Для всей территории города были построены поля уровней транспортного шума. Для этого территория города была разбита сеткой с шагом 10м. Для каждого узла сетки был рассчитан уровень шума в зависимости от уровня шума ближайших 4 участков УДС и расстояния до данных участков. Таким образом, для каждого узла сетки уровень шума рассчитывался как:

$$L_{xy} = \max(L_{xy1}, \dots, L_{xy4}) + \Delta(\max(L_{xy1}, \dots, L_{xy4}) - \min(L_{xy1}, \dots, L_{xy4})) \quad (4.59)$$

где

L_{xy} – уровень шума в точке с координатами (x, y) , дБА;

Δ – функция, зависящая от разности уровней шума источников с самым большим и самым маленьким уровнем шума, дБА. Значения Δ в зависимости от значения разности приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Значения Δ в зависимости от значения разности

Разность уровней шума, дБА	0	1	2,5	4	6	10
Значение Δ , дБА	3	2,5	2	1,5	1	0,5

L_{xyi} – уровень шума в точке с координатами (x, y) от i -го из четырех ближайших к данной точке участков УДС, дБА.

$$L_{xyi} = L_{deni} - 10 \cdot \log_{10} \frac{R_i}{7,5} \quad (4.60)$$

где

L_{deni} – средний уровень шума транспортного потока i -го отрезка реальной сети за период день-вечер-ночь, дБА;

R_i – расстояние от отрезка i до точки (x, y) , м.

В итоге была получена шумовая карта для всей территории города (рис. 4.16, см. цветную вклейку).

Далее для каждого здания на территории города рассчитаем, какая доля жителей данного здания находится в зоне превышения ПДУ шума:

1. Для всех отрезков реальной сети необходимо определить расстояние, на котором шумовая нагрузка не будет превышать ПДУ. В соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения» снижение уровня шума источника ($L_{A_{рас}}$) с расстоянием равно:

$$L_{A_{рас}} = 10 \cdot \log_{10} \frac{R_i}{R_0}, \text{ дБА} \quad (4.61)$$

где R – расстояние от акустического центра автотранспортного потока до расчетной точки, м;

$R_0 = 7,5$ м – для автотранспортных потоков.

Из данного соотношения можно выразить R :

$$R = R_0 \cdot 10^{\frac{L_{A_{рас}}}{10}}, \text{ м} \quad (4.62)$$

где за $L_{A_{рас}}$ примем разность между рассчитанным уровнем шума и ПДУ (45 дБА).

2. Далее для каждого отрезка строим через каждые 10 м лучи длиной R перпендикулярно отрезку:

Координаты начала и конца лучей определяются из следующих соотношений:

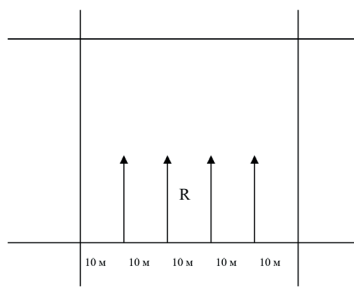


Рис. 4.17. Построение лучей перпендикулярно отрезку

$$xl_{ii} = x_1 + 10 \cdot \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \cdot i; \quad (4.63)$$

$$yl_{ii} = y_1 + 10 \cdot \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \cdot i; \quad (4.64)$$

$$xl_{2i} = xl_{1i} + R \cdot \frac{y_2 - y_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}; \quad (4.65)$$

$$yl_{2i} = yl_{1i} + R \cdot \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}; \quad (4.66)$$

$$i = 1, \dots, N; \quad (4.67)$$

$$N = (L \operatorname{div} 10); \quad (4.68)$$

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad (4.69)$$

где

div – операция целочисленного деления; (x_{l_i}, y_{l_i}) – координаты начала i -го луча; $(x_{l_{2i}}, y_{l_{2i}})$ – координаты конца i -го луча; (x_1, y_1) – координаты начала отрезка; (x_2, y_2) – координаты конца отрезка; L – длина отрезка; R – длина луча.

3. Для каждой точки отрезка, из которой выходит луч, ищем все здания, расстояние до центров которых не превышает R . Расстояние считаем по формуле:

$$l_i = \sqrt{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2} \quad (4.70)$$

где

X, Y – координаты начала луча; x_1, y_1 – координаты центра здания i .

4. Для найденных зданий проводим следующую операцию.

Перебираем каждый луч из рассматриваемого отрезка и проверяем каждую сторону данных зданий, пересекается ли сторона с рассматриваемым лучом. Для этого проверяем пересечение прямых, образующих сторону здания и луч. Если они пересекаются, необходимо определить, лежит ли точка пересечения внутри отрезка и внутри луча одновременно.

Для этого записываем оба уравнения прямых в виде:

$$1. A_1x + B_1y + C_1 = 0,$$

$$2. A_2x + B_2y + C_2 = 0.$$

1 – уравнение прямой луча длиной R ;

2 – уравнение прямой стороны здания.

Тогда координаты точки пересечения прямых:

$$x = -\frac{C_1B_2 - C_2B_1}{A_1B_2 - A_2B_1} \quad (4.71)$$

$$y = -\frac{A_1C_2 - A_2C_1}{A_1B_2 - A_2B_1} \quad (4.72)$$

Нахождение точки внутри луча и стороны здания проверяем следующим образом.

Считаем площади треугольников, образованных началом координат, точкой пересечения и одним из концов луча (стороны здания). Затем проверяем, равна ли сумма этих площадей площади треугольника, образованного началом координат и концами луча (сто-

роны здания). Если да, то вычисляем расстояние от начала луча до стороны здания:

$$l = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2} \quad (4.73)$$

где

x, y – координаты точки пересечения луча и стороны здания;
 x_1, y_1 – координаты начала луча.

5. Из всех сторон полигонов зданий выбираем ту, до которой расстояние от начала рассматриваемого луча наименьшее, и в свойствах данного здания увеличиваем значение параметра количества сторон, в которые приходят лучи (k_i , где i – идентификатор полигона здания), на единицу, также в свойствах стороны полигона.

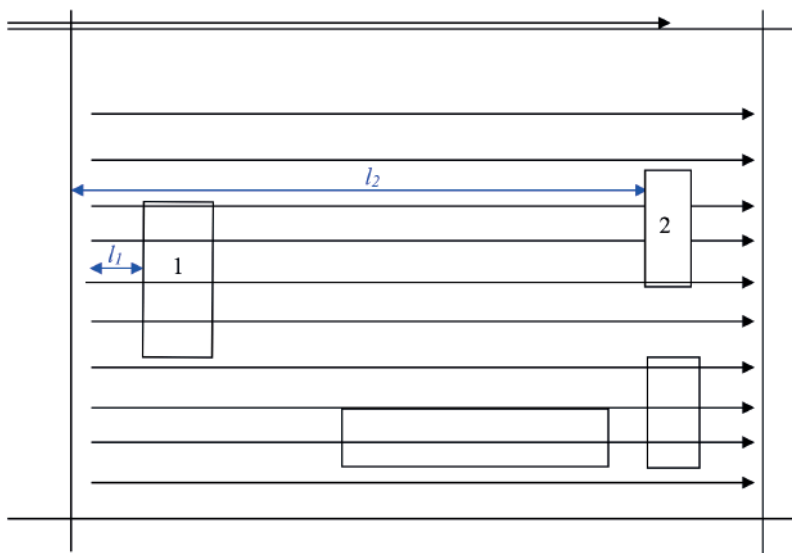


Рис. 4.18. Выбор стороны здания и определение значения параметра количества сторон

$$l_1 < l_2 \Rightarrow k_2 := k_2 + 1 \quad (4.74)$$

6. Переходим к следующему лучу, а затем к следующему отрезку. При этом исключаем из рассмотрения стороны полигонов зданий, которые пересек какой-либо из лучей.

7. Получаем для каждого полигона здания количество сторон, для которых превышен ПДУ, а также для каждой стороны – пересекает ее какой-либо луч или нет.

8. Считаем население в каждом здании, живущее в зоне превышения ПДУ по формуле:

$$N' = N \cdot \frac{\sum_{i=1}^k l_i}{P} \quad (4.75)$$

где

N' – население здания, живущее в зоне превышения ПДУ; l_i – длина i -й стороны полигона здания, которую пересекает один из лучей; P – периметр полигона здания.

10. Суммируем N' по зонам.

В результате для каждого здания в городе определена доля населения, попадающего в зону превышения ПДУ шума (рис. 4.19-4.20, см. цветную вклейку).

Таким образом, для каждой точки территории города известен уровень шума L_{xy} , дБА, для каждого здания известно количество жителей, живущих в зоне превышения ПДУ шума. Требуется определить уровень шумового воздействия в расчете на одного жителя города.

Для определения уровня шума на территории здания, в зависимости от полученных значений в узлах регулярной сетки, рассчитаем средний по площади здания уровень шума для каждого здания. Для этого найдем среднее значение уровня шума на территории каждого здания:

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^M L_{xyij}}{M} \quad (4.76)$$

где

L_i – уровень шума для i -го здания, дБА; L_{xyij} – уровень шума в j -й точке с координатами (x, y) , находящейся внутри здания i , дБА; M – количество узлов сетки с шагом 10 м внутри здания i .

Полученный уровень шума L_i для каждого здания из дБА переведем в Вт/м². При расчете уровня шума в дБА в качестве эталонного уровня шума принято значение 10⁻¹² Вт/м². Это означает, что рассчитанный уровень шума в 1 дБА соответствует 10⁻¹² Вт/м². В связи с этим, перевод из дБА в Вт/м² был произведен по формуле

$$L_i^{Bm} = 10^{-12 + \frac{L_i}{10}} \quad (4.77)$$

где

L_i^{Bm} – уровень шума для здания i , Вт/м²; L_i – уровень шума для здания i , дБА.

Для расчета абсолютного значения удельного уровня шума для каждого здания необходимо рассчитать площадь территории, для которой будет производиться оценка уровня шума. Принимается значение площади территории, занимаемое рассматриваемым зданием.

Таким образом, уровень воздействия транспортного шума в расчете на одного жителя города будет определяться следующим образом:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^K L_i^{Bm} \cdot S_i / N_i}{K} \quad (4.78)$$

где

L – удельный уровень шума в расчете на одного жителя, Вт;
 L_i^{Bm} – уровень шума для i -го здания, Вт/м²; S_i – площадь основания i -го здания, м²; N_i – количество жителей здания, живущих в зоне превышения ПДУ шума, чел.; K – количество жилых зданий в городе.

4.3.3.7.3. Расчет левой части ограничения по уровню шума

Расчет коэффициентов для постановки левой части ограничений по уровню шума будем осуществлять по той же методике, по которой происходит расчет уровней шума в прогнозной транспортной модели. Описание методики приведено в [162] и [163]. Отличие от расчета правой части ограничения будет в том, что левая часть ограничения строится в терминах идеальной сети.

В методике RLS 90 уровень шума рассчитывается как:

$$L = 37,5 + 10 \cdot \log_{10}(q) \quad (4.79)$$

где

L – уровень шума на участке УДС на расстоянии 7,5 м от края проезжей части, дБА; q – часовая интенсивность транспортного потока, авт/ч.

При расчете левой части ограничения примем некоторые допущения:

1. Вместо интенсивности транспортного потока будем использовать частные количества людей и вместимости введенных в модель единиц подвижного состава каждого вида транспорта.

2. Площадь полуцилиндров, характеризующих зону воздействия транспортного шума, будем строить для отрезков идеальной сети.

Тогда, с учетом допущения 1, выражение для уровня шума в дБА примет вид:

$$SI_r = 37,5 + 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum X_{rs2}}{\omega_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{\omega_3} \right) \quad (4.80)$$

где

SI_r – общий уровень шума в зоне r , рассчитанный для идеальной сети, дБА на расстоянии 7,5 м; X_{rsk} – количество людей, передвигающихся в зоне r по типу s видом транспорта k , чел/сутки; $r=1..10$ – номера зон; $s=1..3$ – типы прохождения зон (транзит, въезд, внутреннее движение); $k=1..3$ – вид транспорта (пешком, ОТ, ИТ); w_2 – вместимость ТС типа 2 (ОТ); w_3 – вместимость ТС типа 3 (ИТ).

Так как для расчета по методике требуется часовая интенсивность транспортного потока, будем использовать коэффициент приведения от суток dh :

$$SI_r = 37,5 + 10 \cdot \log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right). \quad (4.81)$$

Полученная величина будет выражаться в дБА. Переведем ее в Вт/м²:

$$SI_r = 10^{-12 + \frac{37,5 + \log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right)}{10}}, \quad (4.82)$$

где

SI_r – уровень шума в зоне r , рассчитанный для идеальной сети, Вт/м².

Далее, с учетом допущения 2, для получения энергии воздействия шума, нужно умножить получившееся выражение на площадь боковой поверхности эллиптического цилиндра S_r , построенного следующим образом:

– в качестве образующей прямой цилиндра выбирается средняя длина корреспонденций в зоне l_r , то есть средняя длина отрезка идеальной сети. При этом используется допущение о том, что все корреспонденции в зоне совершаются по одному среднему отрезку идеальной сети.

– в качестве направляющей кривой цилиндра выбирается эллипс с малой полуосью, равной 7,5 м, и большой полуосью, равной средней ширине проезжей части дороги + 7,5 м. Средняя ширина проезжей части в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми составляет 1,12 полосы или 3,92 м.

Высота цилиндра равняется средней длине корреспонденции в каждой зоне:

$$l_r = \frac{\sum_s X_{rs} l_{rs}}{\sum_s X_{rs}} \quad (4.83)$$

где

l_r – длина отрезка идеальной сети, равная средней длине корреспонденции в зоне r ; l_{rs} – средняя длина корреспонденции типа прохождения s в зоне r ; X_{rs} – фактическое количество людей, передвигающихся в зоне r по типу s .

Вид полуцилиндра приведен на рисунке 4.21.

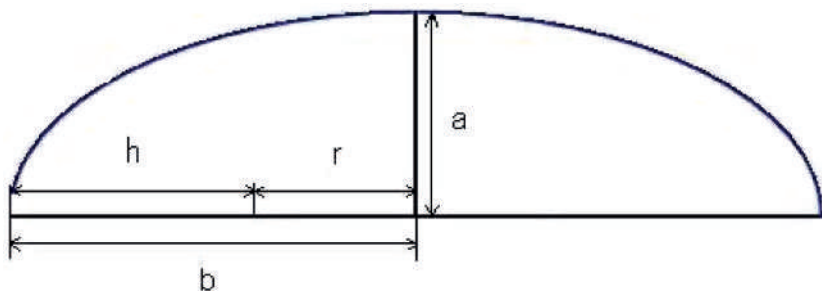


Рис. 4.21. Сечение полуцилиндра

Где:

a – малая полуось эллипса, м, $a = h = 7,5$ м; b – большая полуось эллипса, м, $b = h + r = 7,5$ м + $n \cdot 3,5$ м; r – ширина проезжей части, м; n – количество полос движения в одном направлении.

Площадь полуцилиндра будет равна:

$$S_r = \frac{1}{2} \pi \cdot (a + b) \cdot l_r \quad (4.84)$$

где

S_r – площадь полуцилиндров в зоне r ; a – малая полуось цилиндра; b – большая полуось цилиндра; l_r – длина отрезка идеальной сети, равная средней длине корреспонденции в зоне r .

$$l_r = \frac{\sum_s X_{rs} l_{rs}}{\sum_s X_{rs}} \quad (4.85)$$

где

l_{rs} – средняя длина корреспонденции типа прохождения s в зоне r ; X_{rs} – фактическое количество людей, передвигающихся в зоне r по типу s .

Далее мы должны получить значение энергии шумового воздействия, приходящейся на одного жителя зоны. Для этого разделим левую часть на количество жителей зоны N_r .

Таким образом, получим следующие ограничения по шуму:

$$\frac{S_r}{N_r} \cdot 10^{-12 + \frac{37,5 + 10 \log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right)}{10}} \leq SR \quad (4.86)$$

Приведем неравенство к линейному виду:

$$\log_{10} 10^{-12 + \frac{37,5 + 10 \log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right)}{10}} \leq \log_{10} \frac{SR \cdot N_r}{S_r} \quad ; \quad (4.87)$$

$$-12 + \frac{37,5 + 10 \log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right)}{10} \leq \log_{10} \frac{SR \cdot N_r}{S_r} \quad ; \quad (4.88)$$

$$\log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right) \leq \log_{10} \frac{SR \cdot N_r}{S_r} + 8,25 \quad ; \quad (4.89)$$

$$\log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right) \leq \log_{10} \frac{SR \cdot N_r}{S_r} + \log_{10} 10^{8,25} \quad (4.90)$$

$$\log_{10} \left(dh \cdot \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \right) \log_{10} \left(\frac{SR \cdot N_r}{S_r} \cdot 10^{8,25} \right) ; \quad (4.91)$$

$$\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \leq \frac{1}{dh} 10^{8,25} \cdot \frac{SR \cdot N_r}{S_r} ; \quad (4.92)$$

$$\frac{S_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum X_{rs3}}{w_3} \right) \leq SR \quad (4.93)$$

Полученное неравенство является линейным и может использоваться в постановке оптимизационной задачи.

4.3.3.7.4. Постановка ограничения по уровню шума для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Для постановки левой части ограничения был проведен расчет площадей полуцилиндров s_r . Значения s_r приведены в Таблице 4.6.

Таблица 4.6

Значения параметра s_r по зонам

Номер зоны	Значение параметра s_r , м ²
1	127 560,60
2	188 563,53
3	135 689,70
4	183 038,51
5	242 803,77
6	268 745,61
7	332 808,10
8	145 066,39
9	180 444,33
10	236 130,18

Расчет правой части ограничения проводился с помощью данных прогнозной транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. С помощью модели были получены характеристики участков УДС, а также интенсивности транспортных потоков.

В результате расчета для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми получилось следующее значение энергии воздействия шума, приходящейся на одного жителя:

$$SR=0.00006556 \text{ Вт/м}^2$$

Стоит отметить, что полученное значение энергии воздействия шума, приходящейся на одного жителя, является средним за час. Для получения значения энергии воздействия шума за сутки полученное значение необходимо умножить на 24. Таким образом, для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми суточное значение энергии воздействия шума на одного жителя составляет:

$$SR=0.001573346 \text{ Вт/м}^2$$

Величина SR представляет собой величину энергии воздействия шума на население, образуемой транспортными потоками, в расчете

на одного жителя российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

Таким образом, для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми ограничение по воздействию транспортного шума примет вид:

$$\frac{s_r \cdot 0,1}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum X_{rs2}}{40} + \frac{\sum X_{rs3}}{1,4} \right) \leq 0,001573346 \quad (4.94)$$

4.3.3.7.5. Сравнение алгоритмов расчета правой и левой частей при формировании ограничения по уровню транспортного шума

Главное отличие расчета правой и левой частей ограничения – разное суммирование показателей уровня шума. Это связано с тем, что левая часть ограничения определена в терминах идеальной сети, а правая часть – в терминах реальной сети. Изобразим схематически алгоритмы расчета правой и левой частей ограничения.

Таким образом, в левой части сначала суммируется весь поток в зоне, а затем уровень шума в зоне. При этом используется допущение, что все корреспонденции через зону \tilde{X}_{rsk} совершаются по одному участку идеальной сети с длиной, равной средней длине корреспонденции в зоне l_r (рис. 4.23).

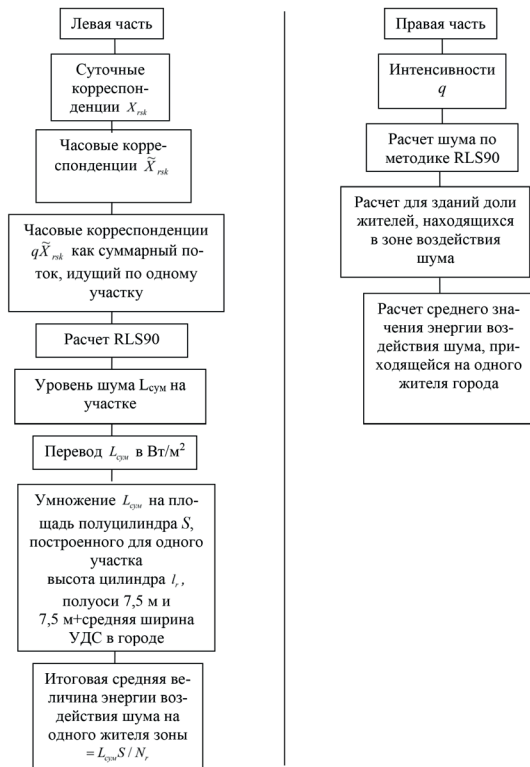


Рис. 4.22. Алгоритм расчета правой и левой частей ограничения

Ширина данного участка равняется средней ширине участка на УДС города.

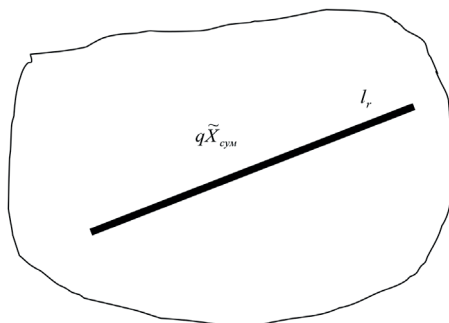


Рис. 4.23. Сеть для расчета уровня шума для идеальной сети

территории, попадающей в зону воздействия шума, определяется через полуцилиндр, построенный для данного участка. Высота полуцилиндра равна l_r , оси полуцилиндра равны 7,5 метров и 7,5 метров + средняя ширина участка УДС города.

В правой же части соответствующей реальной сети сначала считается энергия воздействия шума для каждого участка УДС города (рис. 4.24).

Затем определяется доля населения в зоне воздействия транспортного шума и рассчитывается существующее среднее значение энергии воздействия шума, приходящейся на одного жителя города в сутки.

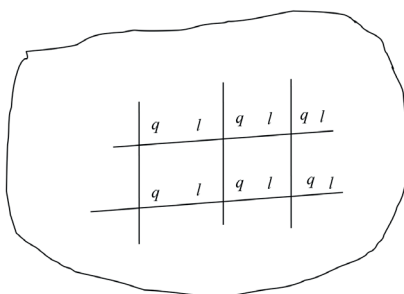


Рис. 4.24. Сеть для расчета уровня шума для реальной сети

4.3.3.8. Ограничения по рискам возникновения ДТП

Ограничение по рискам возникновения ДТП, как и экологическое ограничение и ограничение по уровню шума, относится к энергетическим ограничениям по транспортному предложению.

Оценка риска возникновения ДТП важна, так как при ДТП кинетическая энергия движущегося транспортного средства утилизируется в прямой вред жизни и здоровью человека, снижая качество жизни людей, сказываясь на самых первых и главных – физиологических и экзистенциальных потребностях людей. Кроме того, в случае сохранения

безопасности для самих участников дорожного движения при возникновении мелких ДТП энергия транспортного потока также тратится неэффективно: в результате ДТП возникают заторы, которые влияют на функционирование всей транспортной системы города [128,164-166].

Введем следующие определения:

Риск возникновения ДТП – это качественная характеристика опасности попадания участников дорожного движения в ДТП. Понятие риск введем как прямую зависимость частотности возникновения ДТП и ущерба от ДТП. Их произведение будет являться риском возникновения ДТП.

Частотность возникновения ДТП – это вероятностная характеристика риска возникновения ДТП. В расчете на одного человека, частотность возникновения ДТП характеризует вероятность попадания одного человека в ДТП, произошедшие в рассматриваемой области за рассматриваемый период.

Ущерб от ДТП – это денежный эквивалент риска возникновения ДТП. Совокупный ущерб от ДТП определяется как средний ущерб от одного ДТП, умноженный на количество ДТП. В расчете на одного человека ущерб от ДТП определяет в денежном эквиваленте приходящийся на одного жителя города ущерб от всех произошедших за рассматриваемый период ДТП с учетом материального ущерба, а также количества погибших и раненых в ДТП.

Таким образом, риск ДТП будем оценивать по частотности возникновения ДТП и ущербу от ДТП. При этом частотность будет характеризовать вероятность реализации риска ДТП, а ущерб будет характеризовать последствия реализации риска ДТП.

При постановке ограничений по рискам возникновения ДТП оцениваются частотность возникновения ДТП и ущерб от ДТП для каждого из типов перемещения – пешком, на индивидуальном и общественном транспорте. При этом и частотность возникновения ДТП, и ущерб от ДТП будут определяться в расчете на одного жителя города.

Правая часть ограничения по риску возникновения ДТП будет строиться из принципа «не хуже, чем сейчас». Будет рассчитана оценка существующих значений частотности возникновения ДТП и ущерба от ДТП для одного жителя города с учетом имеющегося на сегодня разделения реализации транспортного спроса по типам транспорта.

Структурная схема постановки ограничений по риску возникновения ДТП представлена на рис. 4.25. При постановке данного вида ограничений используются такие параметры, как средняя вместимость и скорость ТС.

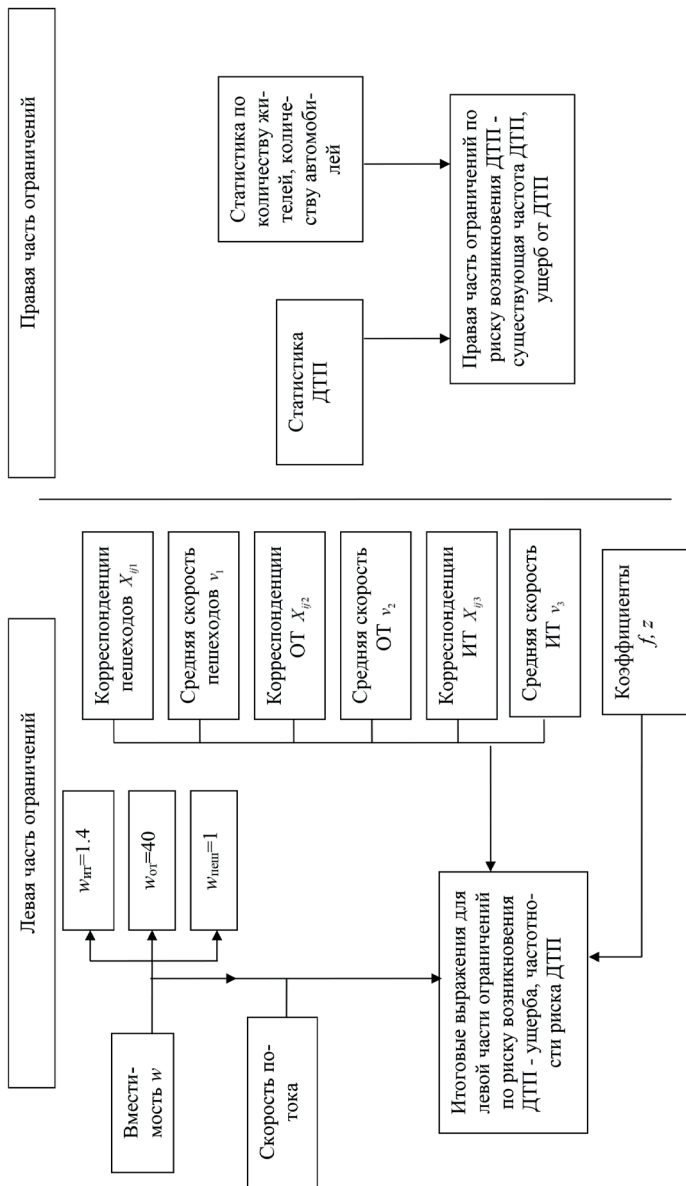


Рис. 4.25. Структурная схема постановки ограничений по риску возникновения ДТП

4.3.3.8.1. Постановка ограничения по риску возникновения ДТП в общем виде

В общем виде ограничения по частотности возникновения ДТП и ущербу от ДТП будет иметь вид:

$$\begin{aligned} e(X_{rsk}, v_k, \omega_k) &\leq P, \\ g(X_{rsk}, v_k, \omega_k) &\leq U, \end{aligned} \quad (4.95)$$

где

X_{rsk} - количество корреспонденций, совершаемых через зону r по типу s видом транспорта k в сутки, чел.; v_k - скорость движения транспортного средства типа k , км/ч; ω_k - средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед.; P - частотность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города, ДТП/чел/год; U - ущерб от ДТП в расчете на одного жителя города, руб./чел./год; $e(X_{rsk}, v_k, \omega_k)$, $g(X_{rsk}, v_k, \omega_k)$ - некоторые функции от вышеуказанных параметров, характеризующие частотности возникновения и ущерб от ДТП.

4.3.3.8.2. Постановка левой части ограничения

Левая часть ограничения имеет вид:

$$\begin{aligned} e(X_{rsk}, v_k, \omega_k), \\ g(X_{rsk}, v_k, \omega_k), \end{aligned}$$

При определении конкретного вида ограничений примем гипотезу, что ограничение имеет линейный вид. Тогда необходимо ввести коэффициенты z и f_k , которые будут характеризовать частотность возникновения (коэффициент z) и ущерб от ДТП (коэффициенты f_k) в пересчете на единицу потока, так как общепринятой методики определения этих коэффициентов не существует. По своему смыслу эти коэффициенты будут являться аналогами коэффициентов a_k для экологического ограничения (количество энергии, затрачиваемой одной единицей ТП типа k на выброс 1 кг NO_x).

Ограничение по риску ДТП определяет частотность возникновения ДТП и величину ущерба от ДТП в расчете на одного жителя города, поэтому необходимо добавить в ограничение зависимость от количества жителей, а также от количества пользователей ИТ и ОТ зоны.

Тогда ограничение будет иметь вид:

$$z \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot \omega_1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot \omega_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \right) \leq P; \quad (4.96)$$

$$f_1 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + f_2 \cdot \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + f_3 \cdot \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \leq U, \quad (4.97)$$

где

P – частотность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города, ДТП/чел./год; U – ущерб от ДТП в расчете на одного жителя города, руб./чел./год; X_{rsk} – количество корреспонденций, совершаемых через зону r по типу s видом транспорта k , чел.; v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч; w_k – средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед.; N_{1r} – количество жителей в зоне r , чел.; N_{2r} – количество пользователей ОТ в зоне r , чел.; N_{3r} – количество пользователей ИТ в зоне r , чел.; z – нормирующий коэффициент, характеризующий частотность возникновения ДТП в расчете на одно транспортное средство, км/час/ед.; f_k – нормирующий коэффициент, характеризующий ущерб от ДТП для корреспонденций, совершаемых на транспортном средстве типа k в расчете на одно транспортное средство, руб • км/ч/ед.; s – тип прохождения через зону: транзит, въезд, внутреннее движение, $s = 1, 2, 3$.

Значения параметров z и f_k определяются на основании существующей статистики ДТП. Методика их расчета описана ниже.

4.3.3.8.3. Постановка правой части ограничения

Правые части ограничения характеризуют удельное отношение частотности и ущерба от ДТП на одного человека: для ОТ величина риска и ущерба в расчете на одного пассажира ОТ, для ИТ – в расчете на одного пользователя ИТ, для пешеходов – на одного жителя города.

Правая часть неравенства будет рассчитана по существующей ситуации на основе данных о местах концентрации ДТП, их количества и тяжести. На рисунке 4.26 (см. цветную вклейку) представлены места концентрации ДТП. Для каждой точки концентрации ДТП привязана следующая информация:

- общее количество ДТП;
- количество погибших в ДТП;
- количество раненых в ДТП.

На основе статистических данных будет рассчитан существующий ущерб от ДТП для каждой группы корреспонденций и найдены зависимости ущерба от существующего количества корреспонденций каждой группы.

В правой части неравенства в качестве ограничения будет использоваться существующий уровень риска ДТП. Его расчет проведем на основе статистических данных о ДТП, произошедших на территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми за 2009 год, предоставленных ГИБДД города.

Представленные данные о имевших место ДТП можно классифицировать по типовому набору различных причин их возникновения. Для этих целей используем принятую в практике региональных подразделений ГИБДД классификацию типовых причин возникновения ДТП:

Таблица 4.7

Классификация типовых причин возникновения ДТП

Виды причин ДТП	Пострадавшие в ДТП
Боковой интервал	ИТ, ОТ
«Встречка»	ИТ, ОТ
«Встречка», выход	ИТ, ОТ
«Встречка», скорость	ИТ, ОТ
Выход	ИТ, ОТ
Дистанция	ИТ, ОТ
Дистанция, сигнал	ИТ, ОТ
Интервал, не уступил	ИТ, ОТ
Маневрирование	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества	ИТ, ОТ
Нарушение правил проезда перекрестка	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, «встречка»	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, дистанция	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, задний ход	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, переход	пешеход
Непредоставление преимущества, сигнал	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, скорость	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, наезд	пешеход
Непредоставление преимущества, скорость	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, сигнал	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества	ИТ, ОТ

Виды причин ДТП	Пострадавшие в ДТП
Непредоставление преимущества, «встречка»	ИТ, ОТ
Непредоставление преимущества, скорость	ИТ, ОТ
Непредставление преимущества	ИТ, ОТ
Несоблюдение скоростного режима	ИТ, ОТ
Обгон	ИТ, ОТ
Переход	пешеход
Переход в неустановленном месте	пешеход
Переход, непредоставление преимущества, скорость	пешеход
Переход, скорость	пешеход
Переход, скорость, «встречка»	пешеход
Расположение на проезжей части	ИТ, ОТ
Сигнал	ИТ, ОТ
Скорость	ИТ, ОТ
Скорость, «встречка»	ИТ, ОТ
Скорость, дистанция	ИТ, ОТ
Скорость, непредоставление преимущества	ИТ, ОТ
Скорость, обгон	ИТ, ОТ
Скорость, переход	ИТ, ОТ
Скорость, правила обгона	ИТ, ОТ
Скорость	ИТ, ОТ

Для каждого из видов ДТП по причине возникновения определены пострадавшие – пассажиры ИТ, ОТ или пешеходы. Соотношение участия ТС ИТ и ТС ОТ в данных ДТП примем пропорциональным количеству одновременно движущихся по УДС единиц подвижного состава транспортных средств различной принадлежности.

Далее построим статистику по количеству ДТП, погибших и раненых по видам транспорта. При этом важно учесть следующие случаи:

1. Если для данного вида ДТП пострадавшие – ИТ и ОТ, то и материальный ущерб, и количество погибших и раненых делятся пропорционально количеству одновременно движущихся по УДС единиц подвижного состава транспортных средств различной принадлежности.

2. Если для данного вида ДТП пострадавшие – пешеходы, то все погибшие и раненые относятся к пешеходам, а материальный ущерб относится к ОТ и ИТ также пропорционально количеству од-

новременно движущихся по УДС единиц подвижного состава транспортных средств различной принадлежности.

Таким образом, учитывается ущерб для каждого вида транспорта. В результате получена таблица 4.8.

Таблица 4.8

Статистика ДТП по видам транспорта

	Всего ДТП с участием	Погибших	Раненых
Пешеходы	DTP_{11}	DTP_{12}	DTP_{13}
ОТ	DTP_{21}	DTP_{22}	DTP_{23}
ИТ	DTP_{31}	DTP_{32}	DTP_{33}

где DTP_{ij} – количество ДТП с пострадавшими типа i и последствиями типа j ; $i = 1..3$ (1 – пешеход, 2 – пассажир ОТ, 3 – пассажир ИТ); $j = 1..3$ (1 – всего ДТП, 2 – ДТП с погибшими, 3 – ДТП с ранеными).

Например, DTP_{11} – это общее количество ДТП с участием пешеходов, DTP_{32} – это количество ДТП с погибшими пассажирами ИТ и т.д.

Частотность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города будет рассчитываться как:

$$P = \frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \frac{P_3}{N_3} \quad (4.98)$$

где

P – частотность возникновения ДТП, ДТП/чел./год; P_1 – количество ДТП с участием пешеходов, ДТП/год; P_2 – количество ДТП с участием пассажиров ОТ, ДТП/год; P_3 – количество ДТП с участием пользователей ИТ, ДТП/год; N_1 – количество жителей города, чел.; N_2 – количество пользователей ОТ города, чел.; N_3 – количество пользователей ИТ города, чел.

Таким образом, при расчете частотности возникновения риска ДТП учитывается именно та группа пользователей, которая рискует попасть в конкретный вид ДТП. Стоит еще раз отметить, что группы ДТП по видам пострадавших формировались именно на основе причин ДТП, поэтому имеет смысл использовать разные знаменатели для каждого слагаемого. Так, например, в ДТП из числа P_1 пострадавшие – пешеходы, поэтому не имеет смысл учитывать в данной группе ДТП дополнительно пассажиров ИТ и пассажиров ОТ. Ана-

логично в ДТП из числа P_2 не принимают участия пешеходы (так как в этой группе находятся такие причины ДТП, как несоблюдение бокового интервала, выезд на встречную полосу движения), поэтому не имеет смысла учитывать пешеходов при расчете частотности возникновения ДТП данного типа.

С учетом статистики ДТП по видам транспорта, итоговый ущерб от всех ДТП за год на одного жителя города будет равен:

$$U = U_{N_0} \cdot \left(\frac{D_{11}}{N_1} + \frac{D_{12}}{N_2} + \frac{D_{13}}{N_3} \right) + U_{N_1} \cdot \left(\frac{D_{21}}{N_1} + \frac{D_{22}}{N_2} + \frac{D_{23}}{N_3} \right) + U_{N_2} \cdot \left(\frac{D_{31}}{N_1} + \frac{D_{32}}{N_2} + \frac{D_{33}}{N_3} \right) \quad (4.99)$$

где

D_{1k} – число ДТП с материальным ущербом с видом транспорта k ; D_{2k} – число погибших в ДТП видом транспорта k ; D_{3k} – число раненых в ДТП видом транспорта k ; U_{N_0} – экономические потери от одного ДТП с материальным ущербом, руб.; U_{N_1} – экономические потери от одного ДТП с погибшими, руб.; U_{N_2} – экономические потери от одного ДТП с ранеными, руб.; N_1 – количество жителей города, чел.; N_2 – количество пользователей ОТ города, чел.; N_3 – количество пользователей ИТ города, чел.

Значение U_{N_1} согласно исследования [167] по формированию методики оценки стоимости среднестатистической жизни человека равняется 30 млн. руб. Значения U_{N_2} и U_{N_0} выразим через U_{N_1} :

$$U_{N_0} = K^N \cdot U_{N_1}, \quad (4.100)$$

$$U_{N_2} = K^N \cdot U_{N_1}, \quad (4.101)$$

где K^N – коэффициент снижения ущербов; K^N для ДТП с материальным ущербом – 0,01; K^N для ДТП с легкими ранениями – 0,04; с тяжелыми ранениями – 0,07; с тяжелыми ранениями, приведшими к инвалидности – 0,7. Для расчетов примем среднее значение коэффициента – 0,07.

Повторим, что для нормирования правой и левой частей (приведения их к одному порядку и единицам измерения), мы вводим коэффициенты z и f . При этом для частотности возникновения ДТП коэффициент z общий для всех слагаемых, а для ущерба от ДТП будет свой коэффициент f_k для каждого слагаемого (т.е. вида транспорта k).

Проведем расчет нормирующего коэффициента z . Правая часть ограничения по частотности возникновения ДТП рассчитана по существующей статистике ДТП, то есть определена существующая частот-

ность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города. Далее для определения значения коэффициента z подставим в левую часть ограничения суммарные существующие объемы движения в реальной сети по видам транспорта для мест концентрации ДТП. Отношение правой и левой частей, рассчитанных для существующих объемов движения, и будут определять значение коэффициента z .

$$z = \frac{P}{\left(\frac{\sum_{i=1}^H q_{i1}}{N_1 \cdot v_1 \cdot \omega_1} + \frac{\sum_{i=1}^H q_{i2}}{N_2 \cdot v_2 \cdot \omega_2} + \frac{\sum_{i=1}^H q_{i3}}{N_3 \cdot v_3 \cdot \omega_3} \right)}, \quad (4.102)$$

где

q_{ik} – существующий объем движения по реальной сети вида транспорта k в месте концентрации ДТП i , чел.; v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч; ω_k – средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед.; N_1 – количество жителей города, чел.; N_2 – количество пользователей ОТ города, чел.; N_3 – количество пользователей ИТ города, чел.; z – нормирующий коэффициент, характеризующий частотность возникновения ДТП на исследуемой территории, км/ч/ед.; H – количество мест концентрации ДТП в представленной ГИБДД статистике по российскому городу с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

Расчет коэффициентов f_k происходит аналогично, но отдельно для каждого типа перемещений:

$$f_1 = \frac{\frac{D_{11}}{N_1} \cdot U_{N0} + \frac{D_{21}}{N_1} \cdot U_{N1} + \frac{D_{31}}{N_1} \cdot U_{N2}}{\frac{\sum_{i=1}^H q_{i1}}{N_1 \cdot v_1 \cdot \omega_1}}; \quad (4.103)$$

$$f_2 = \frac{\frac{D_{12}}{N_2} \cdot U_{N0} + \frac{D_{22}}{N_2} \cdot U_{N1} + \frac{D_{32}}{N_2} \cdot U_{N2}}{\frac{\sum_{i=1}^H q_{i2}}{N_2 \cdot v_2 \cdot \omega_2}}; \quad (4.104)$$

$$f_3 = \frac{\frac{D_{13}}{N_3} \cdot U_{N0} + \frac{D_{23}}{N_3} \cdot U_{N1} + \frac{D_{33}}{N_3} \cdot U_{N2}}{\frac{\sum_{i=1}^H q_{i3}}{N_3 \cdot v_3 \cdot \omega_3}}; \quad (4.105)$$

где

q_{ik} – существующий объем движения по реальной сети вида транспорта k в месте концентрации ДТП i , чел.; v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч; w_k – средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед.; D_{1k} – число ДТП с материальным ущербом с видом транспорта k ; D_{2k} – число погибших в ДТП видом транспорта k ; D_{3k} – число раненых в ДТП видом транспорта k ; U_{N_0} – экономические потери от одного ДТП с материальным ущербом, руб.; U_{N_1} – экономические потери от одного ДТП с погибшими, руб.; U_{N_2} – экономические потери от одного ДТП с ранеными, руб.; N_1 – количество жителей города, чел.; N_2 – количество пользователей ОТ города, чел.; N_3 – количество пользователей ИТ города, чел.; f_1 – нормирующий коэффициент, характеризующий ущерб от ДТП с участием пешеходов, руб • км/ч/ед.; f_2 – нормирующий коэффициент, характеризующий ущерб от ДТП с участием пассажиров ОТ, руб • км/ч/ед.; f_3 – нормирующий коэффициент, характеризующий ущерб от ДТП с участием пассажиров ИТ, руб • км/ч/ед.; H – количество мест концентрации ДТП в представленной ГИБДД статистике по российскому городу с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

4.3.3.8.4. Постановка ограничения по риску ДТП для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Значения параметров V_s для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9

Значения скорости V_s по видам транспорта

Вид транспорта	Скорость V_s, км/ч
Пешком, V_1	4
ОТ, V_2	18
ИТ, V_3	24

Значения параметров w_k приняты те же, что и в остальных ограничениях:

$$w_1 = 1; w_2 = 40; w_3 = 1,4.$$

Количество ДТП в год с разбиением по местам их концентрации для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми представлено в таблице 4.10.

Таблица 4.10

Статистика ДТП по местам концентрации ДТП

Номер места концентрации ДТП	Вид ДТП	Всего ДТП	Раненые	Погибшие
1	Боковой интервал	6	0	0
2	«Встречка»	6	3	1
3	«Встречка»	4	6	4
4	«Встречка»	4	5	1
5	«Встречка»	3	3	0
6	«Встречка», выход	5	8	0
7	«Встречка», выход	11	18	2
8	«Встречка», выход	3	3	1
9	«Встречка», выход	6	7	1
10	«Встречка», скорость	3	2	1
11	«Встречка», скорость	18	0	0
12	Выход	0	3	0
13	Дистанция	20	6	0
14	Дистанция	7	4	0
15	Дистанция	4	5	2
16	Дистанция	8	5	1
...

Определим соотношение участия в ДТП подвижного состава ИТ и ОТ для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Для ИТ количество одновременно движущихся единиц подвижного состава составляет примерно 17000 единиц, для ОТ – 1000 единиц. Таким образом, примерное соотношение количества единиц подвижного состава ИТ и ОТ одновременно движущегося по УДС города составляет 17 к 1. Соответственно, частотность возникновения ДТП того или иного вида для пассажира ИТ и ОТ будет также отличаться в 17 раз.

Исходя из данных соображений, на основе представленной статистики ДТП была получена статистика ДТП для каждого вида перемещения для всего города, т.е. были получены значения параметров DTP_{ij} .

Так, значение $DTP_{11} = 382$, $DTP_{12} = 10$ и т.д.

Таблица 4.11

Статистика ДТП по видам перемещения для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

	Всего ДТП с участием	Погибших	Раненых
Пешеходы	382	10	91
Пассажиры ОТ	198	3	23
Пассажиры ИТ	3339	58	397

На основе полученной статистики для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми были получены следующие значения коэффициентов z и f_k (табл. 4.12):

z – коэффициент, характеризующий частотность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города; f_k – коэффициент, характеризующий ущерб от ДТП на одного жителя города для типа перемещения k .

Таблица 4.12

Значения коэффициентов z , f_k для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми

Параметр	z_r
z	0,0000025369
f_1	0,484
f_2	0,770
f_3	3,300

Количество пользователей ОТ для зоны r определяется как:

$$N_{2r} = \frac{1}{\alpha} \cdot B_r \cdot \frac{N_{1r}}{N_1} \quad (4.106)$$

где

N_{2r} – количество пользователей ОТ в зоне r ; N_{1r} – количество жителей в зоне r ; N_1 – количество жителей в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми; B – количе-

ство проданных за сутки билетов в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми; α – коэффициент пересадочности (по данным натуральных обследований и опросов населения).

Количество пользователей ИТ для зоны r определяется как:

$$N_{3r} = 0,5 \cdot 1,4 \cdot A_r, \quad (4.107)$$

где

N_{3r} – количество пользователей ИТ в зоне r ; A_r – количество зарегистрированных в зоне r автомобилей; $0,5$ – коэффициент использования автомобиля для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми; $1,4$ – средняя наполненность автомобиля для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

При этом стоит отметить, что в общем случае $N_2 + N_3 \neq N_1$, так как одни и те же люди могут быть учтены и в N_2 , и в N_3 . Например, для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми разность между $(N_2 + N_3)$ и N_1 составляет примерно 3%, то есть 3% населения российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми регулярно пользуются и ОТ, и ИТ.

Полученное для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми значение частотности возникновения ДТП на одного жителя составляет:

$$P = 0,0201889 \text{ ДТП/чел./год.}$$

Полученное для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми значение ущерба от всех произошедших за год ДТП на одного жителя города составляет:

$$U = 20598,4767 \text{ руб./чел./год.}$$

Таким образом, ограничение по частотности возникновения ДТП и ущербу от ДТП будет иметь вид:

$$0,0000025369 \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot 5 \cdot 1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,4} \right) \leq 0,0201889 \quad (4.108)$$

$$0,484 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot 5 \cdot 1} + 0,77 \cdot \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} + 3,3 \cdot \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,4} \leq 20598,48 \quad (4.109)$$

4.3.4. Оптимальная модель формирования эффективной транспортной системы российского города на примере города Перми

Для поставленной модели оптимизационной задачи распределения транспортного спроса невозможно найти аналитическое ре-

шение в общем виде. В связи с этим, будем находить численное решение модели оптимизационной задачи для конкретных значений, характеризующих транспортную систему российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми.

Строить и решать оптимальную модель формирования эффективной транспортной системы крупного города в первом приближении будем для трех способов передвижений:

- пешком;
- на общественном транспорте;
- на индивидуальном транспорте.

Каждый из способов перемещений в каждой зоне будет рассматриваться в зависимости от типа перемещения:

- АВ – транзит;
- ВС – въезд в зону;
- CD – внутреннее движение в зоне.

В качестве набора ограничений, накладываемых на целевую функцию, будем использовать шесть типов ограничений:

- ограничение по протяженности существующей улично-дорожной сети;
- ограничение по спросу на перемещение в исследуемых областях;
- экологическое ограничение;
- ограничение по рискам возникновения ДТП;
- ограничение по имеющемуся подвижному составу;
- ограничение по уровню транспортного шума.

Каждый тип ограничений представляет собой набор неравенств следующих видов:

Рассмотрим следующие виды ограничений:

По спросу на перемещение в исследуемых областях.

Ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях будут иметь следующий вид:

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs} \quad (4.110)$$

где l_{rs} – средняя длина всех корреспонденций, проходящих через область исследования по типу s (км); G_{rs} – транспортная зависимость области r по типу s (чел-км).

Значения параметров l_{rs} и G_{rs} для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми представлены в таблицах 4.2, 4.3.

Экологическое ограничение

Экологическое ограничение на передвижения по исследуемым областям будет иметь следующий вид:

$$\frac{1}{N_r} (a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3}) \leq D, \quad (4.111)$$

где:

D – предельный суточный объем расхода топлива (энергии) на одного жителя города в сутки, Дж/чел.; a_1 – удельный расход энергии, требуемый на перемещение одного человека на 1 км пешком ($a_1 = 0$); a_2 – удельный расход энергии, требуемый на перемещение одного человека на 1 км на ОТ (Дж/км/чел.); a_3 – удельный расход энергии, требуемый на перемещение одного человека на 1 км на ИТ (Дж/км/чел.); N_r – количество жителей зоны r , чел.

Значения параметра D для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми представлены в разделе 4.3.3.6.

Значения коэффициентов a_i для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми рассчитаны в пункте 4.3.3.6.4.

Ограничение по протяженности существующей улично-дорожной сети.

Ограничения по протяженности существующей улично-дорожной сети для области исследования имеют вид:

$$\frac{1}{p_2 w_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{p_3 w_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, \quad (4.112)$$

где:

L_r – суммарная длина проезжих частей дорог в области r ; p_2 – плотность транспортного потока ОТ при скорости v_2 (авто/км); p_3 – плотность транспортного потока ИТ при скорости v_3 (авто/км); w_2 – среднее количество человек, перевозимых на одном транспортном средстве ОТ, (средняя вместимость транспортного средства); w_3 – среднее количество человек, перевозимых на одном транспортном средстве ИТ.

Значения параметра L_r для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми представлены в таблице 4.4.

Значения коэффициентов p_i и w_i для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми приведены в пункте 4.3.3.3.5.

Ограничение по риску возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

$$z \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \right) \leq P \quad (4.113)$$

$$f_1 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + f_3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \leq U \quad (4.114)$$

где

P – частотность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города, ДТП/чел./год; U – ущерб от ДТП в расчете на одного жителя города, руб./чел./год; X_{rsk} – количество корреспонденций, совершаемых через зону r по типу s видом транспорта k , чел.; v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч; w_k – средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед.; N_{1r} – количество жителей в зоне r , чел.; N_{2r} – количество пользователей ОТ в зоне r , чел.; N_{3r} – количество пользователей ИТ в зоне r , чел.; z – нормирующий коэффициент, характеризующий частотность возникновения ДТП в расчете на одно транспортное средство, км/ч/ед., f_k – нормирующий коэффициент, характеризующий ущерб от ДТП для корреспонденций, совершаемых на транспортном средстве типа k в расчете на одно транспортное средство, руб. • км/ч/ед.; s – тип прохода через зону: транзит, въезд, внутреннее движение, $s = 1, 2, 3$.

Ограничение по имеющемуся подвижному составу.

Ограничение по имеющемуся подвижному составу будет иметь вид:

$$\frac{1}{u_2 \cdot z_2 \cdot kl_2} \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq OT \quad (4.115)$$

$$\frac{1}{w_3 \cdot z_3} \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq ИТ \quad (4.116)$$

где

OT – количество единиц подвижного состава общественного транспорта, который используется в единой маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования, авт.; $ИТ$ – количество зарегистрированного в городе индивидуального транспорта, авт.; u_2 – средний пассажирооборот единицы транспортного средства общественного транспорта за один оборотный рейс, чел./рейс; z_2 – среднее количество оборотных рейсов на единицу подвижного состава общественного транспорта, рейс/авт.; kl_2 – коэффициент выхода подвижного состава на линию; w_3 – средняя вместимость транспортного средства ИТ, чел/авт.; z_3 – среднее количество поездок на ИТ одного человека в сутки, рейс.

Значения параметров, используемых в данном ограничении, для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми представлены в пункте 4.3.3.4.

Ограничение по уровню шума.

Для удобства использования ограничения по уровню шума в постановке оптимизационной задачи оно было преобразовано к линейному виду:

$$\frac{s_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum X_{rs2}}{s} + \frac{\sum X_{rs3}}{s} \right) \leq SR \quad (4.117)$$

где

SR – среднее значение энергии воздействия шума, приходящейся на одного жителя города в сутки, Вт/чел.; dh – коэффициент приведения от часа пик к суткам; s_r – площадь территории, прилегающей к УДС в зоне и попадающей под воздействие шума транспортных потоков, м²; N_r – количество жителей зоны r , чел.

Значения параметров dh и s_r для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми приведены в пункте 4.3.3.7.

Целевая функция будет иметь вид:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} \cdot \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.118)$$

Описанные выше ограничения и целевая функция позволяют построить оптимальную модель формирования эффективной транспортной системы города. В общем виде модель имеет следующую запись:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} \cdot \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.119.1)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.119.2)$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{N_r} \left(a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \leq D, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.119.3)$$

$$\frac{1}{p_2 \omega_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{p_3 \omega_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.119.4)$$

$$z \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot \omega_1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot \omega_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \right) \leq P, \quad (4.119.5)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$f_1 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot \omega_1} + f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot \omega_2} + f_3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \leq U, \quad (4.119.6)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$\frac{S_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum_s X_{rs2}}{\omega_2} + \frac{\sum_s X_{rs3}}{\omega_3} \right) \leq SR, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.119.7)$$

$$\frac{1}{u_2 \cdot z_2 \cdot kl_2} \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq OT \quad (4.119.8)$$

$$\frac{1}{\omega_3 \cdot z_3} \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq IT \quad (4.119.9)$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3 \quad (4.119.10)$$

Количество переменных модели (4.119.1) – (4.119.10) – $3 \cdot S \cdot E$.

Количество ограничений типа (4.119.2) – (4.119.9) – $S \cdot E + 3E$.

Постановка задачи для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми с учетом рассчитанных значений параметров и коэффициентов имеет вид следующей математической модели:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{4} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} + \frac{1}{18} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} + \frac{1}{37,8} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.120.1)$$

$$\frac{1}{1596} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{112,28} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, r = \overline{1..10} \quad (4.120.2)$$

$$\frac{1}{N_r} (0,08 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + 0,757 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3}) \leq 18,753, \quad (4.120.3)$$

$$r = \overline{1..10}$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.120.4)$$

$$r = \overline{1..10}, s = 1, 2, 3$$

$$0,0000025369 \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot 5 \cdot 1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,4} \right) \leq 0,0201889 \quad (4.120.5)$$

$$4 \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot 5 \cdot 1} + 0,77 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} + 3,3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,4} \leq 20598,48 \quad (4.120.6)$$

$$r = \overline{1..10}$$

$$\frac{S_r \cdot 0,1}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum_s X_{rs2}}{40} + \frac{\sum_s X_{rs3}}{1,4} \right) \leq 0,001573346, \quad (4.120.7)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$0,00042 \cdot \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq 1000 \quad (4.120.8)$$

$$0,2381 \cdot \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq 285000 \quad (4.120.9)$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0 \quad r = \overline{1..10}, s = \overline{1,2,3} \quad (4.120.10)$$

Количество переменных модели для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми – 90.

Количество ограничений для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми – 72.

4.3.5. Оптимальная модель формирования эффективной транспортной системы региона

Построение оптимальной модели формирования эффективной транспортной системы региона будет отличаться от оптимальной модели крупного города или городской агломерации. Дело в том, что в России до настоящего момента до конца не решена задача транспортного освоения территорий, то есть не решена задача транспортной доступности огромной территории Российской Федерации и ее регионов. В связи с этим, цель развития транспортного комплекса за пределами городских агломераций – обеспечение транспортной доступности территории региона.

В связи с этим, при постановке оптимизационной задачи для региона объектом исследования является территория региона за пределами городских агломераций [168].

В качестве целевой функции при постановке оптимизационной задачи для региона выбирается целевой показатель функционирования транспортной системы, а именно среднее время реализации транспортных корреспонденций всеми пользователями транспортной системы региона с учетом параметров, характеризующих транспортную доступность территории региона – регулярность работы пассажирского транспорта общего пользования и качество (соответствие нормативному техническому состоянию) автомобильных дорог.

Также при постановке оптимизационной задачи для региона будет отличаться набор ограничений при расчете оптимального транспортного спроса. Для региона в качестве набора ограничений, накладываемых на целевую функцию, используются следующие типы ограничений:

- ограничение по спросу на перемещение в исследуемых областях;
- экологическое ограничение;
- ограничение по рискам возникновения ДТП;
- ограничение по скорости сообщения внутри региона.

В данном случае оптимальное решение поставленной задачи – это количество людей, передвигающихся по территории региона в той или иной транспортной зоне, тем или иным способом, тем или иным видом транспорта. Пространством линейных ограничений будет набор принятых показателей качества функционирования транспортной системы.

4.3.5.1. Формирование целевой функции для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций

Целевая функция для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций будет иметь вид, аналогичный целевой функции для оптимальной модели крупного города. В отличие от оптимальной модели крупного города, в оптимальной модели региона исключены слагаемые, связанные с пешеходным движением. Это связано с большим масштабом модели. Кроме того, в целевой функции для региона учтены коэффициенты, характеризующие транспортную доступность территории региона – регулярность работы пассажирского транспорта. Таким образом, целевая функция для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций будет иметь вид:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} \cdot \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} \cdot \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.121)$$

где

v_2 – средняя скорость перемещения одного человека на ОТ (км/час); v_3 – средняя скорость перемещения одного человека на ИТ (км/час); l_{rs} – средневзвешенная по количеству людей длина доли корреспонденций, проходящих через зону r по типу s , км; X_{rsk} количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в неделю, чел.; m_r – коэффициент, характеризующий состояние дорог в зоне r , соответствует доле протяженности дорог, находящихся в нормативном состоянии. Изменяется в диапазоне от 0 до 1; b_r – коэффициент, характеризующий регулярность работы общественного транспорта в зоне r , изменяется в диапазоне от 0 до 1, рассчитывается как:

$$b_r = \frac{t_r}{T_r + t_r} \quad (4.122)$$

где

t_r – среднее время поездки (в подвижном составе) на ОТ в зоне r , часов; T_r – регулярность работы общественного транспорта в зоне r , часов.

Далее рассмотрим ограничения для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций. Как было сказано выше, для региона в качестве набора ограничений, накладываемых на целевую функцию, используются следующие типы ограничений:

- ограничение по спросу на перемещение в исследуемых областях;
- экологическое ограничение;
- ограничение по рискам возникновения ДТП;
- ограничение по численности подвижного состава ПТОП;
- ограничение по скорости сообщения внутри региона.

4.3.5.2. Постановка ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях

Ограничения по спросу на перемещение в исследуемых областях в оптимальной модели региона за пределами городских агломераций будут иметь тот же вид, что в постановке оптимальной модели для крупного города.

Ограничение по спросу на перемещение в исследуемых областях для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций будет иметь вид:

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.123)$$

$$r = \overline{1..10}, s = 1, 2, 3$$

где

l_{rs} – средневзвешенная по количеству людей длина доли корреспонденций, проходящих через зону r по типу s (км); X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в неделю, чел.; G_{rs} – транспортная зависимость области исследования r по типу s в неделю, чел. • км.

4.3.5.3. Постановка экологического ограничения

Экологическое ограничение в оптимальной модели региона за пределами городских агломераций будет иметь тот же вид, что в постановке оптимальной модели для крупного города, а именно:

$$\frac{1}{N_r} (a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3}) \leq D, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.124)$$

где

X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в неделю, чел.; a_k – объем расхода топлива (энергии), требуемый на перемещение одного человека на 1 км видом транспорта k , Дж/км/чел.; l_{rs} – средняя доля длины корреспонденции через зону r по типу s , км; D – предельный объем потребления топлива (энергии) на одного жителя города в неделю, Дж/чел.

4.3.5.4. Постановка ограничения по рискам возникновения ДТП

Ограничение по рискам возникновения ДТП в оптимальной модели региона также имеет вид, аналогичный постановке оптимальной модели для крупного города. Однако, в постановке для региона, так же как и в целевой функции, для региона учтены коэффициенты, характеризующие транспортную доступность территории региона – регулярность работы пассажирского транспорта и состояние дорог.

Ограничение по рискам возникновения ДТП для оптимальной модели региона за пределами городских агломераций будет иметь вид:

$$z \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot b_r \cdot v_2 \cdot w_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot m_r \cdot v_3 \cdot w_3} \right) \leq P, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.125)$$

$$f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot m_r \cdot v_2 \cdot w_2} + f_3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot b_r \cdot v_3 \cdot w_3} + U, r = 1, 2, \dots, E \quad (4.126)$$

X_{rsk} – количество корреспонденций, совершаемых через зону r по типу s видом транспорта k в неделю, чел.; v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч; w_k – средняя вместимость транспортного средства типа k , чел/ед.; P – частотность возникновения ДТП в расчете на одного жителя города, ДТП/чел/год; U – ущерб от ДТП в расчете на одного жителя города, руб./чел./год; m_r – коэффициент, характеризующий состояние дорог в зоне r , соответствует доле протяженности дорог, находящихся в нормативном состоянии; b_r – коэффициент, характеризующий регулярность работы общественного транспорта в зоне r .

4.3.5.5. Постановка ограничения по численности подвижного состава ПТОП

Ограничение по численности подвижного состава ПТОП в оптимальной модели региона также имеют вид, аналогичный постановке

ке оптимальной модели для крупного города. Однако, в постановке для региона, так же как и в целевой функции, для региона учтен коэффициент, характеризующий транспортную доступность территории региона – регулярность работы пассажирского транспорта.

Для учета коэффициента, характеризующего регулярность работы общественного транспорта в ограничении по численности подвижного состава ПТОП в оптимальной модели региона за пределами городских агломераций, рассмотрим связь коэффициента z_2 , соответствующего среднему количеству оборотных рейсов на единицу подвижного состава, и коэффициента регулярности работы ПТОП b_r :

$$z_2 = \frac{24 \cdot 7}{T_r + t_r} = \frac{24 \cdot 7 \cdot t_r}{b_r} \quad (4.127)$$

где

t_r – среднее время поездки (в подвижном составе) на ОТ в зоне r , часов; T_r – регулярность работы общественного транспорта в зоне r , часов; z_2 – среднее количество оборотных рейсов на единицу подвижного состава общественного транспорта в час, рейс/ед.; 24 – коэффициент перевода от часа к суткам; 7 – коэффициент перевода от суток к неделе; b_r – коэффициент, характеризующий регулярность работы общественного транспорта в зоне r .

Подставим полученное выражение и получим *ограничение по численности подвижного состава ПТОП* в оптимальной модели региона за пределами городских агломераций:

$$\frac{b_r}{u_2 \cdot 24 \cdot 7 \cdot t_r \cdot kl_2} \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq OT \quad (4.128)$$

X_{rs2} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s на ОТ за неделю, чел.; OT – количество единиц подвижного состава общественного транспорта, который используется в межмуниципальной маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования, ед.; u_2 – средний пассажирооборот единицы транспортного средства общественного транспорта за один оборотный рейс, чел./рейс; t_r – среднее время поездки (в подвижном составе) на ОТ в зоне r , часов; T_r – регулярность работы общественного транспорта в зоне r , часов; z_2 – среднее количество оборотных рейсов на единицу подвижного состава общественного транспорта в час, рейс/ед.; 24 – коэффициент перевода от часа к суткам; 7 – коэффициент перевода от суток к неделе; b_r – коэффициент, характеризующий регулярность работы общественного транспорта в зоне r ; kl_2 – коэффициент выхода подвижного состава на линию.

4.3.5.6. Постановка ограничения по скорости сообщения внутри региона

Последним ограничением в оптимальной модели для региона является ограничение, характеризующее транспортную доступность территории региона и связанное с качеством состояния дорог – ограничение по скорости сообщения внутри региона.

4.3.5.6.1. Постановка ограничения по скорости сообщения внутри региона в общем виде

Ограничение по скорости сообщения внутри региона имеет вид:

$$f(X_{rsk}, v_k, w_k) \leq L_r^{\text{норм}} \quad (4.129)$$

где

v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч;
 w_k – вместимость ТС типа k , чел./ед.; X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в неделю, чел.; $f(X_{rsk}, v_k, w_k)$ – некоторая функция от вышеуказанных параметров, характеризующая связь параметров и необходимый объем УДС в нормативном состоянии; $L_r^{\text{норм}}$ – суммарная длина всех полос движения проезжих частей улиц и дорог в области r , находящихся в нормативном состоянии. Функция f должна быть предпочтительно линейного вида относительно переменных X_{rsk} .

4.3.5.6.2. Постановка левой части ограничения

В общем виде левая часть ограничения будет иметь вид:

$$f(X_{rsk}) = k_{\text{норм}} \left(v_2 \frac{1}{w_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + v_3 \frac{1}{w_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \right) \quad (4.130)$$

где

v_k – скорость движения транспортного средства типа k , км/ч;
 w_2 – вместимость ТС ОТ, чел./ед.; w_3 – вместимость ТС ИТ, чел./ед.; X_{rsk} – количество людей, передвигающихся через зону r по типу s видом транспорта k в неделю, чел.; $k_{\text{норм}}$ – нормирующий коэффициент, значение коэффициента определяется для текущей протяженности всех полос движения проезжих частей улиц и дорог в области r , находящихся в нормативном состоянии, и существующего транспортного спроса.

4.3.5.6.3. Постановка правой части ограничения

Суммарная длина всех полос движения проезжих частей улиц и дорог в области r , находящихся в нормативном состоянии, рассчитывается как:

$$L_r^{\text{норм}} = 7 \cdot m_r \cdot L_3 = 7 \cdot m_r \cdot \sum_{i=1}^m d_{ri} \cdot k_i \quad (4.131)$$

где

d_{ri} – длина i -го участка сети в области исследования r , км; k_i – количество полос, соответствующее i -ому участку; 7 – коэффициент перевода от суток к неделе; m_r – коэффициент, характеризующий состояние дорог в зоне r , соответствует доле протяженности дорог, находящихся в нормативном состоянии.

Таким образом, ограничение по скорости сообщения внутри региона будет иметь вид:

$$k_{\text{норм}} (v_2 \frac{1}{\omega_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + v_3 \frac{1}{\omega_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3}) \leq 7 \cdot m_r L_r \quad (4.132)$$

Оптимальная модель формирования эффективной транспортной системы региона будет иметь следующую постановку:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{b_r v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} + \frac{1}{m_r v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.133)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs} \quad (4.134)$$

$$\frac{1}{N_r} (a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3}) \leq D \quad (4.135)$$

$$z \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot b_r \cdot v_2 \cdot \omega_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot m_r \cdot v_3 \cdot \omega_3} \right) \leq P \quad (4.136)$$

$$f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot m_r \cdot v_2 \cdot \omega_2} + f_3 \cdot \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot b_r \cdot v_3 \cdot \omega_3} + U \quad (4.137)$$

$$\frac{b_r}{u_2 \cdot 24 \cdot 7 \cdot t_r \cdot kl_2} \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq OT \quad (4.138)$$

$$k_{\text{норм}} (v_2 \frac{1}{\omega_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + v_3 \frac{1}{\omega_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3}) \leq 7 \cdot m_r L_r \quad (4.139)$$

4.4. Поиск решения оптимизационной задачи

Решение оптимальной модели формирования эффективной транспортной системы российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми осуществлено с использованием надстройки Solver (Поиск решения) программы Excel компании Frontline System. При решении будем использовать нелинейный метод обобщенного понижающего градиента (ОПГ). Данный метод используется для гладких нелинейных задач. В нашем случае из-за существенной нелинейности в группе ограничений, связанных с ограничениями вероятности рисков ДТП, вся математическая модель является нелинейной.

Процедура поиска решения проводилась при следующих параметрах работы алгоритма поиска:

- Предельное число итераций – 20000;
- Относительная погрешность – 0,000001;
- Допустимое отклонение – 0,005%;
- Сходимость – 0,000001.

Решение оптимальной модели формирования эффективной транспортной системы российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми осуществлено с использованием алгоритма симплекс-метода.

Общий объем времени, необходимый для оптимального удовлетворения имеющихся в городе транспортных потребностей, для всех людей (значение целевой функции) составляет – **995 406 час** в суточном цикле транспортных потребностей, что на **35%** меньше показателя существующего объема времени – **1 546 779 часов**. Это достигается путем изменения существующего в городе распределения транспортного спроса по различным способам перемещений, при сохранении существующего объема транспортного предложения и основных параметров среды обитания – уровня вреда от ДТП, сжигания моторного топлива, приводящего к загрязнению атмосферного воздуха токсичными и вредными веществами, включая парниковые газы, а также повышенного уровня транспортного шума в пересчете на одного жителя города. Распределение найденных параметров распределения транспортного спроса в таблицах и на картограмме города по зонам представлено в таблицах 4.13., 4.14, рисунках 4.27 и 4.28 (см. цветную вклейку).

Таблица 4.13

Значения найденных переменных для зон 1-5

Вид перемещений	Тип прохода зоны	Номер зоны				
		1	2	3	4	5
Пешеходы	AB	0	0	0	0	0
	BC	0	0	0	0	0
	CD	0	0	0	0	0
ОТ	AB	0	0	0	0	4 168
	BC	304 225	500 514	212 630	325 132	189 739
	CD	87 462	0	0	49 526	31 161
ИТ	AB	77 513	87 545	23 672	39 098	42 037
	BC	88 732	17 589	67 898	0	0
	CD	0	257 686	54 378	54 748	0

Таблица 4.14

Значения найденных переменных для зон 6-10

Вид перемещений	Тип прохода зоны	Номер зоны				
		6	7	8	9	10
Пешеходы	AB	0	0	0	0	0
	BC	0	0	0	0	0
	CD	0	0	0	0	0
ОТ	AB	7 600	0	0	76 541	78 941
	BC	0	64 363	23 863	48 227	40 219
	CD	19 156	0	0	944	1 619
ИТ	AB	8 503	8 040	0	0	23 025
	BC	173 376	79 036	2 628	19 061	0
	CD	115 181	198 931	0	0	0

4.5. Анализ решения оптимальной модели

Суммарные затраты времени для оптимального удовлетворения имеющихся в городе транспортных потребностей для **всех** людей (значение целевой функции) составляют – 956 751 часа в суточном цикле транспортных потребностей.

Распределение на картограмме города найденных параметров распределения транспортного спроса по зонам представлено на рисунках 4.27, 4.28 (см. цветную вклейку).

В поставленной оптимальной модели на конечный результат влияют не только такие ограничения как предельный суточный объем сжигания (потребления) моторного топлива в области исследования, ее транспортная зависимость и ограничения транспортного предложения, но и характеристики транспортных средств, участвующих в реализации транспортного спроса.

Варьируемыми исходными параметрами, кроме правых частей системы ограничений, являются такие характеристики транспортных средств, как: средняя вместимость транспортного средства – w_i , удельный расход топлива транспортного средства – a_i , габариты и максимальная плотность потока, которые влияют как на целевую функцию, так и на ограничения. Так, при изменении показателя средней вместимости транспортного средства изменится как целевая функция, так и ограничения, что приводит к поиску решения оптимальной модели с другими исходными данными. Моделирование позволяет при изменении исходных параметров оценить конечный результат распределения транспортного спроса, а также оценить целевой показатель – максимальную суммарную скорость перемещения всех участников движения.

Используя в качестве целевой функции максимум средней скорости перемещений (раздел 4.2.2.2), можно решить задачу о том, как распределится транспортный спрос и изменится суммарная скорость перемещения всех участников движения при изменении подвижного состава транспорта, используемого при совершении транспортных корреспонденций.

Оригинальность подхода заключается в том, что можно менять расположение, размер и количество областей исследования (в зависимости от поставленной задачи) и каждый раз, строя и решая оптимальную модель, получать оптимальное распределение спроса по выбранным областям. Варьируемыми показателями при этом, формирующими новое распределение транспортного спроса, являются: длина (площадь) проезжих частей дорог исследуемых областей; предельная экологическая нагрузка; спрос на передвижение. Ценность моделирования любой ситуации заключается в возможности варьирования (изменения) исходной информации и получения оценки влияния на конечный результат. В нашем случае, меняя длину проезжих частей дорог исследуемых областей, предельную экологическую нагрузку, спрос на передвижение, будем каждый раз получать новое распределение транспортного спроса. Возможность исследования поведения транспортной системы города по предложенной

модели представляет значительный интерес ввиду отсутствия необходимости детального представления структуры действующей УДС города и моделирования особенностей транспортного предложения.

В качестве примера рассмотрим на представленной модели как отреагирует транспортная система российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми на уменьшение количества площади (протяженности) проезжих частей автомобильных дорог в центральной зоне.

Для этого в ограничении по протяженности существующей улично-дорожной сети для зоны номер 1 уменьшим в 10 раз значение правой части и снова проведем расчет оптимизационной задачи.

В результате решения получим следующее решение (см. табл. 4.15 и рис.4.29):

Таблица 4.15

**Значения найденных переменных для зоны 1
при изменении протяженности УДС в зоне**

Вид перемещений	Тип про- хождения зоны	Значения X при протя- женности УДС 301,5 км	Значения X при протя- женности УДС 30 км
Пешеходы	AB	0	0
	BC	0	0
	CD	0	54 651
ОТ	AB	0	77 513
	BC	304 225	392 956
	CD	87 462	32 811
ИТ	AB	77 513	0
	BC	88 731	0
	CD	0	0

В результате изменения протяженности УДС в исследуемой зоне в 10 раз (с 301,5 км до 30 км) произошло изменение баланса между используемыми для совершения корреспонденций видами транспорта. Значения переменных, связанных с индивидуальным транспортом, стали равны нулю. Так, для совершения внутризональных корреспонденций в зоне 1 баланс сместился к пешеходному движению. Корреспонденции въезда в зону 1 и транзитного движе-

ния сместились к общественному транспорту. Это связано с тем, что общественный транспорт использует площади проезжих частей эффективнее, чем индивидуальный.

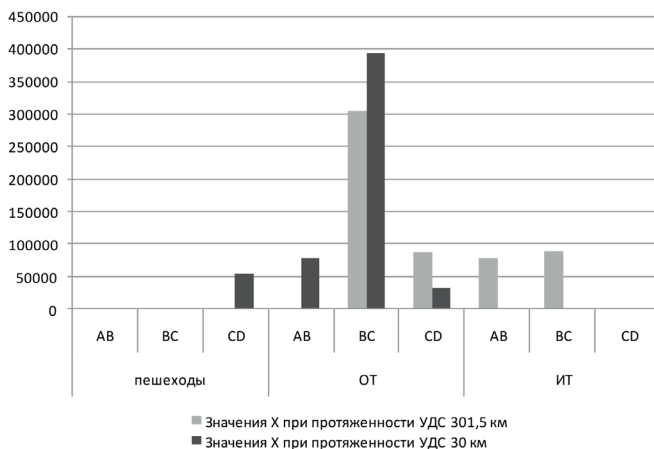


Рис. 4.29. Изменение найденных переменных X для зоны 1 при изменении протяженности УДС в зоне

Значительно увеличился объем пешеходного движения внутри исследуемой зоны (до ≈ 54500), так как совершение корреспонденций внутри зоны 1 пешком стало менее затратным по сравнению даже с общественным транспортом с точки зрения использования территории.

Таким образом, построенная оптимальная модель позволяет находить наиболее эффективные решения задачи формирования транспортной системы города.

Следующим этапом проводимых исследований является построение и решение двойственной задачи математического программирования к задаче формирования эффективной транспортной системы города. Результаты решения двойственной задачи, в свою очередь, позволят исследователю ответить на вопросы о значимости тех или иных формализованных моделью ограничений развития транспортных систем. Анализ переменных двойственной задачи даст ответы на вопрос о необходимых объемах развития транспортной инфраструктуры при изменениях транспортного спроса, а также позволит оценить объемы необходимых мероприятий в области охраны окружающей среды и обеспечения безопасности дорожного движения, при сохранении целевых показателей эффективности работы транспортной системы.

4.5.1. Оптимальная модель двойственной задачи

Полученная модель оптимизационной задачи имеет вид:

$$Z = \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} + \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} + \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \rightarrow \min \quad (4.140.1)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.140.2)$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{N_r} \left(a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \leq D, \quad r = 1, 2, \dots, E \quad (4.140.3)$$

$$\frac{1}{p_2 w_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{p_3 w_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, \quad r = 1, 2, \dots, E \quad (4.140.4)$$

$$\frac{s_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum_s X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum_s X_{rs3}}{w_3} \right) \leq SR \quad (4.140.5)$$

$$z \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \right) \leq P, \quad (4.140.6)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$f_1 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + f_3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \leq U, \quad (4.140.7)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3 \quad (4.140.8)$$

Таким образом, в постановке вида (4.140.1-4.140.8) оптимизационная задача является линейной и для нее может быть построена двойственная задача. Решив двойственную задачу, можно выявить закономерности влияния того или иного ограничения на значение целевой функции.

Переменные двойственной задачи обозначим как Y_k , где k – номер ограничения в постановке прямой задачи. Тогда постановка двойственной задачи примет вид:

$$F = \sum_{r=1}^E L_r Y_r + \sum_{r=1}^E D Y_{E+r} + \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 (-G_{rs} Y_{2E+3(r-1)+s}) + OT \cdot Y_{5E+1} + ИТ \cdot Y_{5E+2} \quad (4.141.1)$$

$$+ SR \cdot \sum_{r=1}^E Y_{5E+2+r} + \sum_{r=1}^E U Y_{6E+2+r} + \sum_{r=1}^E P Y_{7E+2+r} \rightarrow \max$$

$$-l_{rs} Y_{2E+3(r-1)+s} + \frac{z}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot \omega_1} \cdot Y_{6E+2+r} + \frac{f}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot \omega_1} \cdot Y_{r+7E+2} \geq \frac{1}{v_1} \cdot l_{rs}, \quad (4.141.2)$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{p_2 \omega_2} \cdot Y_r + \frac{1}{N_r} \cdot a_3 \cdot l_{rs} \cdot Y_{r+E} - l_{rs} \cdot Y_{r+2E} + \frac{1}{\omega_3 z_3} Y_{5E+1} + \frac{S_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \cdot \frac{1}{\omega_3} Y_{r+5E+2} + \quad (4.141.3)$$

$$+ \frac{z}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \cdot Y_{r+6E+2} + \frac{f}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \cdot Y_{r+7E+2} \geq \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs}$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{p_3 \omega_3} \cdot Y_r + \frac{1}{N_r} \cdot a_3 \cdot l_{rs} \cdot Y_{r+E} - l_{rs} \cdot Y_{r+2E} + \frac{1}{\omega_3 z_3} Y_{5E+1} + \frac{S_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \cdot \frac{1}{\omega_3} Y_{r+5E+2} + \quad (4.141.4)$$

$$+ \frac{z}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \cdot Y_{r+6E+2} + \frac{f}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot \omega_3} \cdot Y_{r+7E+2} \geq \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs}$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми математическая модель двойственной задачи примет вид:

$$(4.142.1)$$

$$F = \sum_{r=1}^E L_r Y_r + \sum_{r=1}^E 18,753 \cdot Y_{E+r} +$$

$$+ \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 (-G_{rs} Y_{2E+3(r-1)+s}) + 1000 \cdot Y_{5E+1} +$$

$$+ 285000 \cdot Y_{5E+2} + 0,001573346 \cdot \sum_{r=1}^E Y_{5E+2+r} + 0,0201889 \sum_{r=1}^E Y_{6E+2+r} +$$

$$20598,48 \sum_{r=1}^E Y_{7E+2+r} \rightarrow \max$$

$$-l_{rs} Y_{2E+3(r-1)+s} + \frac{0,0000025369}{N_{1r} \cdot 4 \cdot 1} \cdot Y_{r+6E+2} + \frac{0,484}{N_{1r} \cdot 4 \cdot 1} \cdot Y_{r+7E+2} \geq \frac{1}{4} \cdot l_{rs}, \quad (4.142.2)$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{1596} \cdot Y_r + \frac{1}{N_r} \cdot 0,08 \cdot l_{rs} \cdot Y_{E+r} - l_{rs} \cdot Y_{r+2E} + \frac{1}{0,00042} Y_{5E} + \quad (4.142.3)$$

$$+ \frac{s_r \cdot 0,1}{N_r \cdot 10^{8,25}} \cdot \frac{1}{40} Y_{r+5E+2} + \frac{0,0000025369}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} \cdot Y_{r+6E+2} +$$

$$+ \frac{0,484}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} \cdot Y_{r+7E+2} \geq \frac{1}{18} \cdot l_{rs}$$

$$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{112,28} \cdot Y_r + \frac{1}{N_r} \cdot 0,757 \cdot I_{rs} \cdot Y_{r+E} - I_{rs} \cdot Y_{r+2E} + \frac{1}{0,2381} Y_{5E+1} + \frac{s_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \cdot \frac{1}{1,45} Y_{r+5E+2} + \\ & + \frac{0,0000025369}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,45} \cdot Y_{r+6E+2} + \frac{0,484}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,45} \cdot Y_{r+7E+2} \geq \frac{1}{24} \cdot I_{rs} \end{aligned} \quad (4.142.4)$$

$r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3$

Решение двойственной задачи

Исключительное значение для решения оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города имеет самостоятельный анализ решения двойственной задачи (4.142.1) – (4.142.4). Рассмотрим некоторые особенности анализа решения двойственной задачи подробнее.

Переменные Y_i при коэффициенте G_{rs} , участвующие в целевой функции двойственной задачи со знаком «минус», соответствуют «верхним» ограничениям модели, ограничениям по транспортной зависимости территории. В двойственной задаче они оценивают влияние величины транспортной зависимости территории на целевую функцию. Физически это будет означать, что если увеличится транспортная зависимость области r по одному из типов корреспонденций s (G_{rs}) на единицу, то на величину соответствующих переменных Y_r увеличится суммарное время совершения корреспонденций всех участников движения в транспортной системе. Транспортная зависимость есть показатель, напрямую формирующий объем транспортного движения на исследуемой территории, и в общем случае именно она определяет итоговое перераспределение транспортных потоков по УДС. Можно сказать, что Y_r оценивает влияние спроса на суммарное время осуществления транспортных корреспонденций. Особое внимание следует уделить тем областям r , где двойственные оценки Y_i наибольшие. Это наиболее загруженные территории, увеличение спроса в этих областях существенно повлияет на увеличение суммарного времени совершения корреспонденций. Там же, где двойственные оценки Y_i минимальны, есть резервы увеличения транспортного спроса, т.е. в этих областях транспортное предложение превышает транспортный спрос.

Переменные Y_i при коэффициенте D_r , участвующие в целевой функции двойственной задачи со знаком «плюс», соответствуют «нижним» ограничениям модели, ограничениям по загрязнению атмосферного воздуха в области r , они оценивают влияние величины предельной экологической нагрузки на целевую функцию. Напри-

мер, если удастся увеличить (уменьшить) предельную экологическую нагрузку области $r(D_r)$ на единицу, то на величину Y_i уменьшится (увеличится) суммарное время совершения корреспонденций всех участников движения за счет перераспределения транспортных потоков. Такой анализ интересен, например, при проведении мероприятий по снижению объемов потребления моторных топлив и других энергоресурсов, выбросов загрязняющих веществ предприятиями, расположенными в черте города.

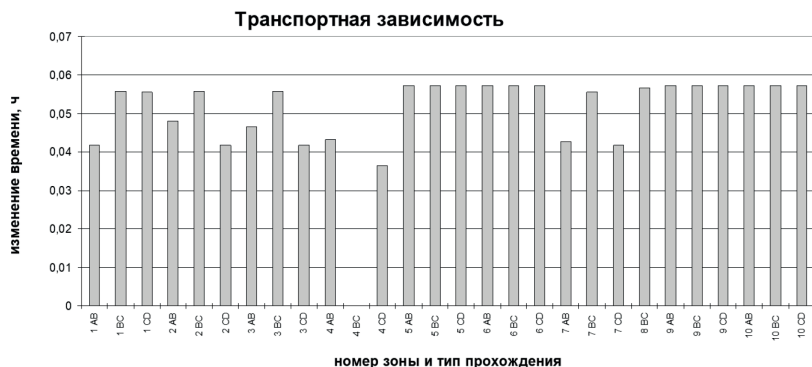


Рис. 4.30. Влияние ограничения по спросу на перемещение на целевую функцию

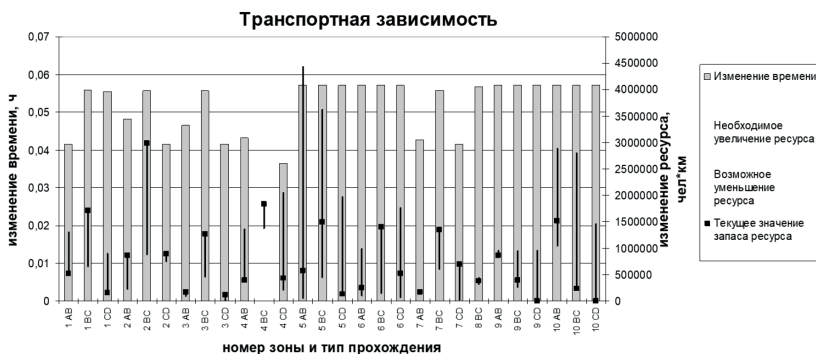


Рис. 4.31. Анализ устойчивости решения по спросу на перемещение

Конечно, в идеале следует рассматривать вариант уменьшения предельной экологической нагрузки на каждую территорию, очевидно, что вследствие этого суммарное время совершения транспортных корреспонденций увеличится.

Для областей r , где двойственная оценка $Y_i \geq 0$, экологическая составляющая достигает предельного значения D . Эти области экологически наиболее уязвимы. Для тех областей r , где двойственная оценка $Y_i = 0$, экологическая составляющая в норме, т.е. не достигает своего предельного значения и не является определяющим ограничением для зоны g .

Переменные Y_i при коэффициенте L_r также участвуют в целевой функции со знаком «плюс» и соответствуют «нижним» ограничениям модели, ограничениям по длине проезжих частей автомобильных дорог. Они оценивают влияние длины проезжих частей дорог исследуемой области на целевую функцию. Например, если в области g увеличить длину проезжих частей улиц и дорог L_r на единицу (на 1 км), то на величину Y_i уменьшится суммарное время совершения всех транспортных корреспонденций во всем городе. Если переменные $Y_i = 0$, то в соответствующей области g есть резервы пропускной способности УДС, и строить новые участки автомобильных дорог в исследуемой области нецелесообразно. Если $Y_i \geq 0$, то в соответствующей области r автомобильные дороги используются полностью, и для уменьшения суммарного времени совершения всех транспортных корреспонденций во всем городе необходимо вводить в эксплуатацию дополнительные элементы УДС именно в этой зоне. Очевидно, что, в первую очередь, ввод дополнительных провозных мощностей автомобильных дорог и проезжих частей улиц необходим в тех областях r , которым соответствует наибольшее значение двойственной оценки Y_i . Например, решение двойственной модели для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми показало, что наиболее эффективными с точки зрения сокращения суммарного времени реализации транспортных корреспонденций, будут являться мероприятия по развитию УДС в 4-й зоне.

Решение имеет прикладное значение. Решение двойственной задачи определяет ценность каждого из потребляемых транспортной системой ресурсов с точки зрения её целевой функции. Представим результаты решения двойственной задачи в виде так называемых «биржевых» диаграмм (рисунки 4.32 – 4.39). На рисунках представлены только диаграммы с ненулевым влиянием на целевую функцию.

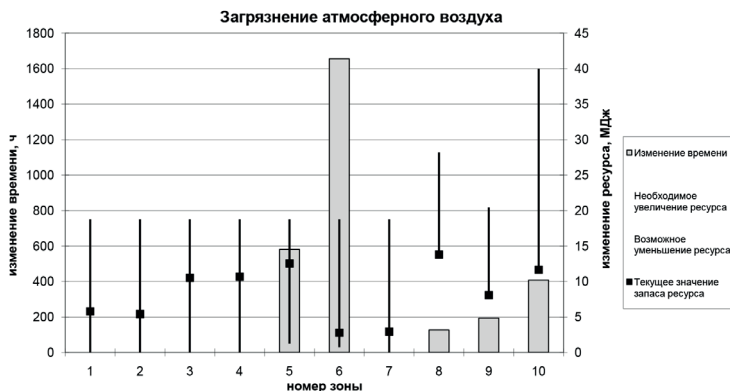


Рис. 4.32. Влияние экологического ограничения на целевую функцию

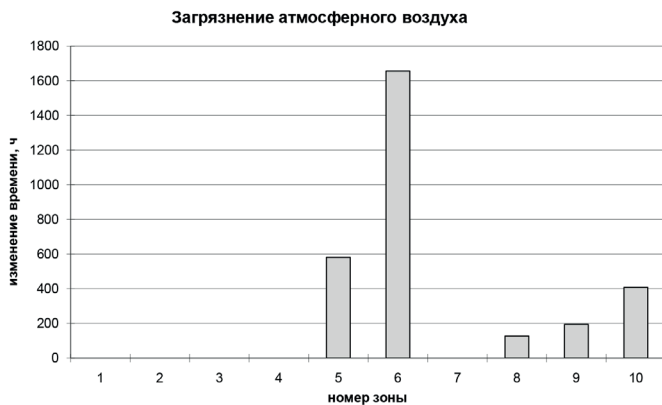


Рис. 4.33. Анализ устойчивости решения по экологической нагрузке

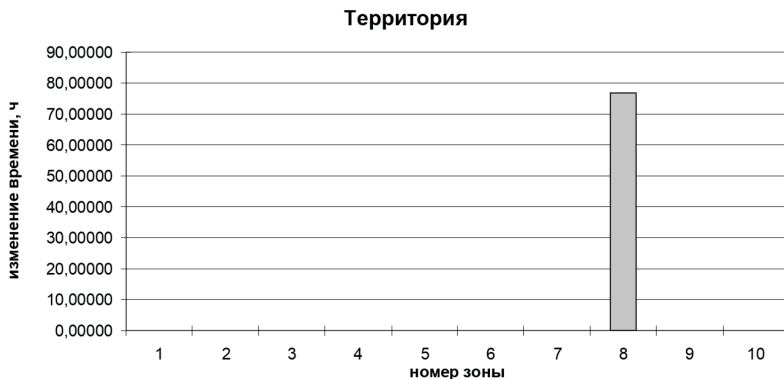


Рис. 4.34. Влияние ограничения по территории на целевую функцию

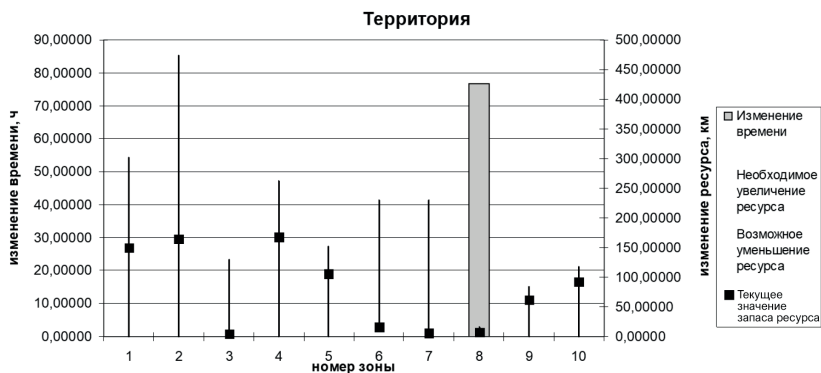


Рис. 4.35. Анализ устойчивости решения по территории

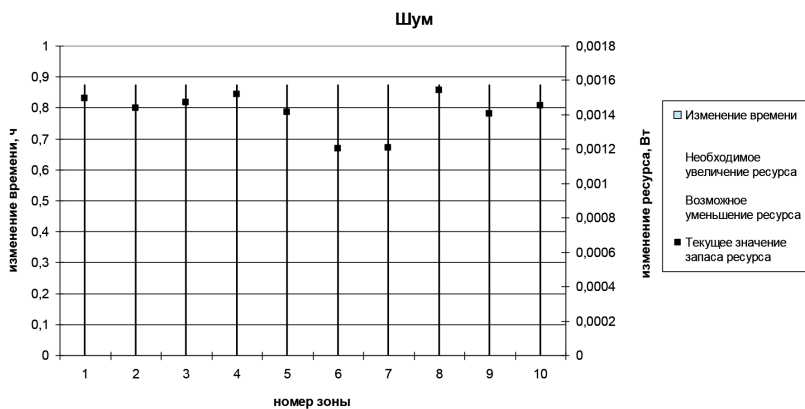


Рис. 4.36. Анализ устойчивости решения по уровню шума

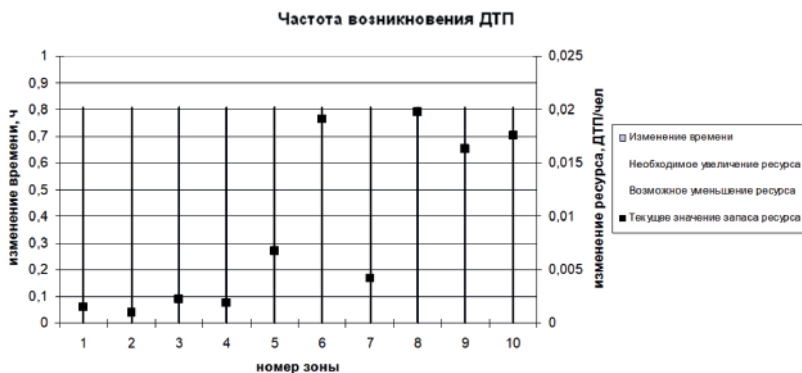


Рис. 4.37. Анализ устойчивости решения по частоте возникновения ДТП

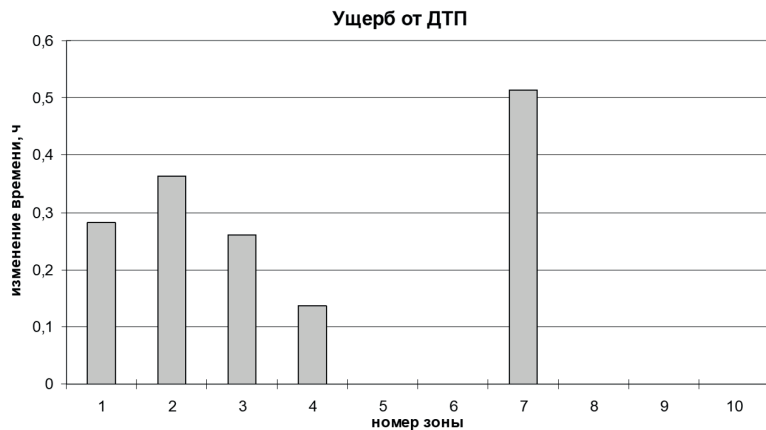


Рис. 4.38. Влияние ограничения по ущербу от ДТП на целевую функцию

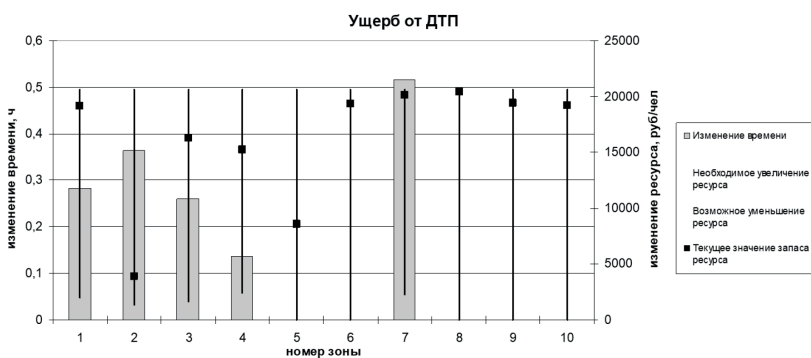


Рис. 4.39. Анализ устойчивости решения по ущербу от ДТП

Каждая из диаграмм оценивает определенную группу потребляемых ресурсов. Проиллюстрируем прикладной смысл решения двойственной модели на ресурсе «территория». Черные точки обозначают имеющийся запас ресурса, т.е. в нашем случае протяженности УДС в каждой транспортной зоне. Столбцы показывают значение соответствующей переменной двойственной задачи, это «теневая цена» ресурса, выраженная в единицах измерения целевой функции и показывающая, насколько изменится целевая функция при изменении запаса соответствующего ресурса на единицу. Тонкие черные линии показывают диапазоны устойчивости решения, в нашем случае – изменения запаса ресурса (протяженности УДС в зоне).

Например, решение двойственной модели для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми показало, что наиболее эффективными с точки зрения сокращения суммарного времени реализации транспортных корреспонденций будут мероприятия по развитию УДС в 4-й зоне. Каждый новый километр, введенный в эксплуатацию в этой зоне, сократит суммарное суточное время реализации корреспонденций в городе на 110 часов, а предельный объем ввода новых дорог в этой зоне не должен превышать 50 км. (стоимость 4-х полосной дороги 100 млн. рублей, стоимость рабочего часа 200 рублей, экономия 44 тыс. рублей в день, окупаемость – 568 дней). Двойственные оценки представляют собой уникальный инструмент для принятия обоснованных управленческих решений в области транспортного планирования и организации дорожного движения в городе. На основе анализа значений двойственных оценок представленных моделей можно принимать обоснованные решения о строительстве или ограничении движения на отдельных участках УДС города в той или иной области, точно представляя при этом, как изменение транспортных потоков повлияет на исследуемый показатель – суммарной скорости движения транспортных потоков.

В итоге, зная подобные оценки каждого из потребляемых ресурсов, а также объемы имеющихся в распоряжении сообщества финансовых ресурсов, можно сформировать экономически обоснованную программу мероприятий по повышению эффективности функционирования городской транспортной системы.

4.6. Решение оптимизационных задач в альтернативной постановке

В разделе 4.5 приведен пример иллюстрации адекватности предлагаемой модели на примере инфраструктурных ограничений. Показано, как изменятся основные параметры функционирования транспортной системы города, при изменениях в объеме городской транспортной инфраструктуры. Не нарушая общности подхода, можно отметить, что точно такой же ресурсный подход можно применить при постановке задачи поиска оптимального распределения транспортного спроса при ужесточении других введенных в модель ограничений, в частности нематериальных.

Приведем пример решения задачи по формированию эффективной транспортной системы города при ужесточении требований

к качеству среды обитания, в частности к объему шумового воздействия на человека в течение суток. Правая часть шестого ограничения оптимальной модели уменьшена в 20 раз. В систему ограничений вместо неравенства (4.119.7) введем следующее соотношение:

$$\frac{s_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum_s X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum_s X_{rs3}}{w_3} \right) \leq SR / 20 \quad (4.143)$$

После чего также решим прямую задачу.

Решение представлено также по зонам (рис. 4.40)

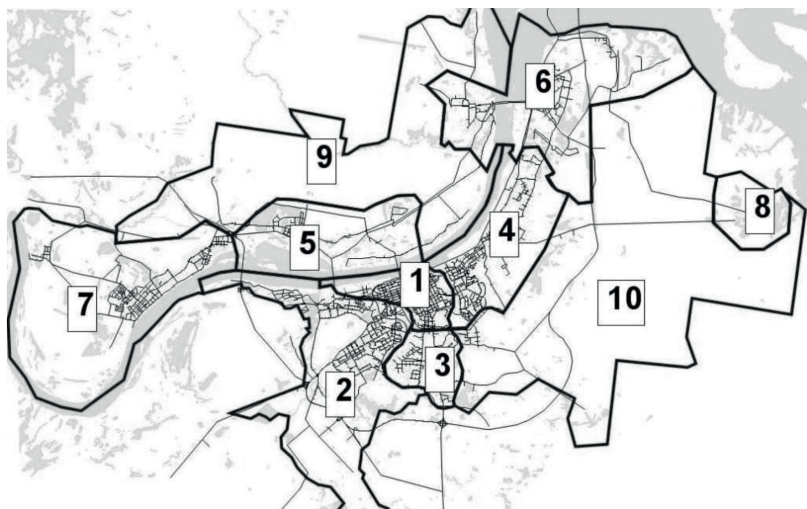


Рис. 4.40. Деление российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми на зоны исследования

В таблицах 4.16, 4.17 и рис. 4.41 (см. цветную вклейку) представлены численные значения найденных неизвестных прямой задачи.

Таблица 4.16

**Значения найденных переменных
в альтернативной постановке задачи для зон 1-5**

Вид перемещений	Тип прохождения зоны	Номер зоны				
		1	2	3	4	5
Пешеходы	AB	0	0	0	0	0
	BC	0	0	0	0	0
	CD	87 462	0	54 378	31 740	0

Вид перемещений	Тип прохождения зоны	Номер зоны				
		1	2	3	4	5
ОТ	AB	0	0	0	0	30 707
	BC	399 027	411 099	192 526	217 654	189 739
	CD	0	257 686	0	72 533	31 161
ИТ	AB	77 513	87 545	23 672	39 098	15 499
	BC	93 930	107 004	88 002	107 478	0
	CD	0	0	0	0	0

Таблица 4.17

**Значения найденных переменных
в альтернативной постановке задачи для зон 6-10**

Вид перемещений	Тип прохождения зоны	Номер зоны				
		6	7	8	9	10
Пешеходы	AB	0	0	0	0	0
	BC	0	0	0	0	0
	CD	0	0	0	0	0
ОТ	AB	0	0	0	70 493	88 987
	BC	136 096	100 739	18 214	67 289	40 219
	CD	134 337	198 931	0	944	1 619
ИТ	AB	16 103	8 040	0	6 048	12 979
	BC	37 280	42 660	8 277	0	0
	CD	0	0	0	0	0

Следует отметить, что, как видно из таблицы, при ужесточении одного из параметрических ограничений оптимальным является режим функционирования транспортной системы города, в которой часть внутренних перемещений в отдельных зонах реализуется пешком. Вследствие этого вполне разумно ожидать увеличения суммарного времени реализации транспортных корреспонденций в транспортной системе города. При ужесточении нормы уровня шума на одного жителя в 20 раз до **0,0000787** Вт · час/чел. значение целевой функции составит **1 167 543** часов в суточном цикле транспортных потребностей, что, тем не менее, на 25% меньше показателя существующего объема времени – **1 546 779** часов.

Следовательно и далее при таком изменении исходных параметров работы транспортной системы потребуются решение двойственной задачи и анализ её устойчивости с целью определения ценности каждого потребляемого транспортной системой ресурса и выработки программы её развития.

Истинная ценность представленного подхода к формированию эффективной транспортной системы города на основе этого класса моделей заключается в первую очередь в вариабельности постановки задачи в зависимости от целей исследования. На время забудем о представленных в предыдущих главах логических построениях к обоснованию эффективности транспортных систем, как отношения времени людей к потребленным системой ресурсам. Поменяем места целевую функцию оптимальной модели и одно из ограничений, в частности экологическое ограничение. Получим математическую модель формирования экологически чистой транспортной системы крупного города при неухудшении всех остальных её характеристик, в том числе общего времени реализации корреспонденций. Такая модель приведена в следующих соотношениях:

$$a_2 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + a_3 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \rightarrow \min \quad (4.144.1)$$

$$\sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{v_1} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} + \frac{1}{v_2} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} + \frac{1}{v_3} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \leq TSYS \quad (4.144.2)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.144.3)$$

$$r = 1, 2, \dots, E, \quad s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{p_2 w_2} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{p_3 w_3} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, \quad r = 1, 2, \dots, E \quad (4.144.4)$$

$$z \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \right) \leq P, \quad (4.144.5)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$f_1 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot v_1 \cdot w_1} + f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot v_2 \cdot w_2} + f_3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot v_3 \cdot w_3} \leq U, \quad (4.144.6)$$

$$r = 1, 2, \dots, E$$

$$\frac{s_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum_s X_{rs2}}{w_2} + \frac{\sum_s X_{rs3}}{w_3} \right) \leq SR \quad (4.144.7)$$

$$\frac{1}{u_2 \cdot z_2 \cdot kl_2} \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq OT \quad (4.144.8)$$

$$\frac{1}{w_3 \cdot z_3} \sum_{r=1}^E \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq IT \quad (4.144.9)$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0, r = 1, 2, \dots, E, s = 1, 2, 3 \quad (4.144.10)$$

В приведенных соотношениях заменена целевая функция, вследствие чего полученную к решению задачу можно сформулировать как задачу минимизации расхода углеводородного топлива и выбросов парниковых газов на пути декарбонизации транспортной деятельности, в которой объем выбросов парниковых газов – цель, а время реализации транспортных корреспонденций – ограничение. Для российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми новая целевая функция и новое ограничение будет выглядеть следующим образом:

$$0,08 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs2} + 0,757 \cdot \sum_{s=1}^3 l_{rs} \cdot X_{rs3} \rightarrow \min \quad (4.145.1)$$

$$\sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 \left(\frac{1}{4} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs1} + \frac{1}{18} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs2} + \frac{1}{37,8} \cdot l_{rs} \cdot X_{rs3} \right) \leq 1\,546\,779 \quad (4.145.2)$$

$$l_{rs} \cdot X_{rs1} + l_{rs} \cdot X_{rs2} + l_{rs} \cdot X_{rs3} \geq G_{rs}, \quad (4.145.3)$$

$$r = \overline{1..10}, s = 1, 2, 3$$

$$\frac{1}{1596} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs2} + \frac{1}{112,28} \cdot \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq L_r, r = \overline{1..10} \quad (4.145.4)$$

$$2569 \cdot \left(\sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot 5 \cdot 1} + \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} + \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,4} \right) \leq 0,0201889, \quad (4.145.5)$$

$$r = \overline{1..10}$$

$$0,484 \cdot \sum_s \frac{X_{rs1}}{N_{1r} \cdot 5 \cdot 1} + f_2 \sum_s \frac{X_{rs2}}{N_{2r} \cdot 18 \cdot 40} + f_3 \sum_s \frac{X_{rs3}}{N_{3r} \cdot 24 \cdot 1,4} \leq 20598,48, \quad (4.145.6)$$

$$r = \overline{1..10}$$

$$\frac{s_r \cdot dh}{N_r \cdot 10^{8,25}} \left(\frac{\sum_s X_{rs2}}{40} + \frac{\sum_s X_{rs3}}{1,4} \right) \leq 0,001573346, r = \overline{1..10}, \quad (4.145.7)$$

$$0,00042 \cdot \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs2} \leq 1000 \quad (4.145.8)$$

$$0,2381 \cdot \sum_{r=1}^{10} \sum_{s=1}^3 X_{rs3} \leq 285000 \quad (4.145.9)$$

$$X_{rs1} \geq 0, X_{rs2} \geq 0, X_{rs3} \geq 0, r = \overline{1..10}, s = 1,2,3 \quad (4.145.10)$$

Решение – это также набор «икс» – способов перемещений, естественно, совсем других, отличных от предыдущей задачи.

В таблицах 4.18, 4.19 представлены численные значения найденных неизвестных прямой задачи. Распределение на картограмме города найденных неизвестных по зонам представлено на рисунках 4.42-4.44 (см. цветную вклейку).

Таблица 4.18

**Значения найденных переменных
в альтернативной постановке задачи для зон 1-5**

Вид перемещений	Тип прохождения зоны	Номер зоны				
		1	2	3	4	5
Пешеходы	AB	0	0	0	0	0
	BC	74 862	0	0	0	0
	CD	87 462	187 573	0	104 274	31 161
ОТ	AB	77 513	87 545	23 672	39 098	46 206
	BC	318 094	518 103	280 528	325 132	189 739
	CD	0	0	0	0	0
ИТ	AB	0	0	0	0	0
	BC	0	0	0	0	0
	CD	0	70 112	54 378	0	0

Таблица 4.19

**Значения найденных переменных
в альтернативной постановке задачи для зон 6-10**

Вид перемещений	Тип прохождения зоны	Номер зоны				
		6	7	8	9	10
Пешеходы	AB	0	0	0	0	0
	BC	0	0	0	0	0
	CD	112 167	0	0	0	0

Вид перемещений	Тип прохождения зоны	Номер зоны				
		6	7	8	9	10
ОТ	АВ	16 103	8 040	0	76 541	101 966
	ВС	173 376	143 399	26 491	67 289	40 219
	СD	0	0	0	944	0
ИТ	АВ	0	0	0	0	0
	ВС	0	0	0	0	0
	СD	22 169	198 931	0	0	1 619

Как видно из приведенных таблиц и картограмм, при постановке оптимизационной задачи как задачи минимизации сжигания углеводородного топлива и выбросов парниковых газов оптимальным является режим функционирования транспортной системы города, в которой часть внутренних перемещений в отдельных зонах реализуется пешком. В некоторых зонах (1, 4, 5) все внутренние корреспонденции совершаются пешком. Кроме того, в зоне 1 часть пограничных корреспонденций совершается пешком, при этом на индивидуальном транспорте в зоне 1 не совершается ни одной корреспонденции.

Далее на рисунках 4.43 и 4.44 приведены результаты решения двойственной задачи минимизации выбросов парниковых газов в виде «биржевых» диаграмм.

Построение и решение двойственной модели к задаче формирования экологически чистой транспортной системы позволяет определить ограничения и их вес при стремлении минимизировать нагрузку на окружающую среду. В данном случае ограничителем является наличие подвижного состава ОТ.

Введение в транспортную систему города дополнительно одной единицы подвижного состава общественного транспорта позволяет сократить на **1 509 кг** суточную массу выбросов парниковых газов при сохранении существующего времени реализации транспортных корреспонденций.

Формирование системы транспортного моделирования городов

Предложенные прямая и двойственная модели решения оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города представляют новый класс транспортных моделей. По отношению к прогнозным и имитационным транспортным

моделям такие модели являются моделями более высокого уровня – предпрогнозными моделями (рис 4.47). Основная цель таких моделей – выработка сценариев развития ТС и подготовка этих сценариев для дальнейшего прогнозирования. Предполагаемая связь моделей различного назначения представлена на рисунке 4.47 на примере известных классов моделей.

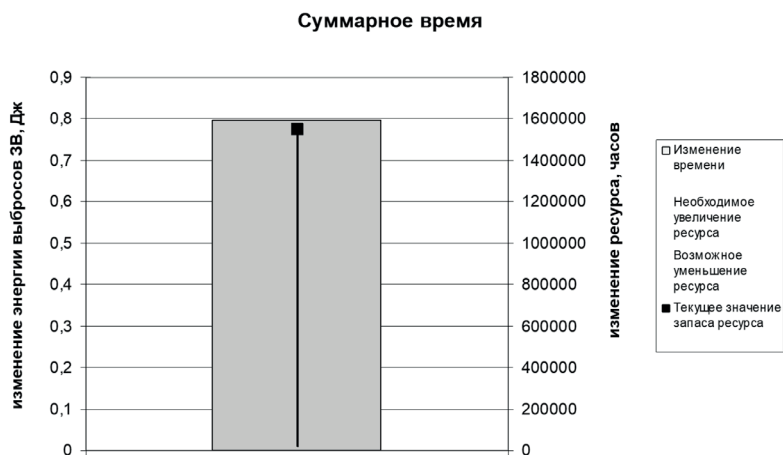


Рис. 4.45. Влияние ограничения по суммарному времени реализации транспортных корреспонденций на целевую функцию

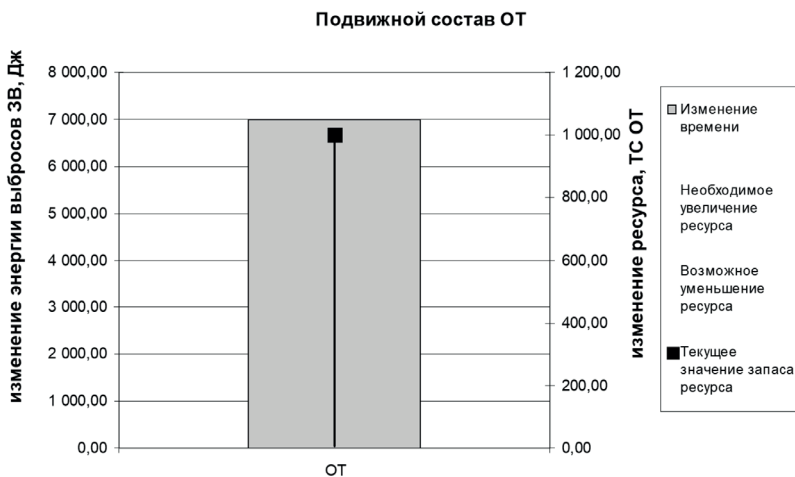


Рис. 4.46. Влияние ограничения по подвижному составу ОТ на целевую функцию

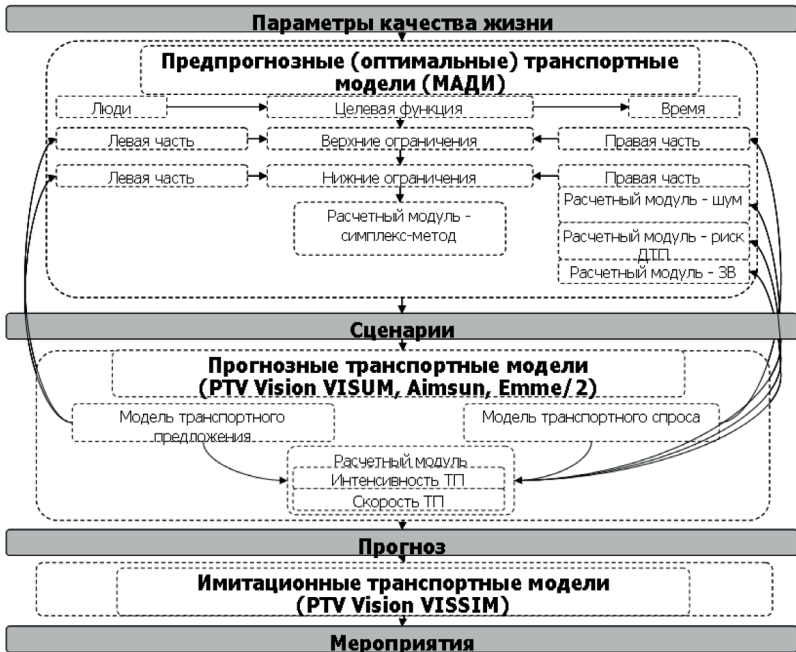


Рис. 4.47. Взаимосвязь трехуровневой классификации транспортных моделей городов

В представленных моделях удалось применить широко используемые в логистике (в технических системах) методы постановки оптимизационных задач (транспортных задач) к исследованию природно-технических систем, к которым относится транспортная система крупного города.

Терминологически можно проследить параллели в структуре и постановке задач логистики и задачи формирования эффективной транспортной системы (рис. 4.48).

Применение предпрогнозных (оптимальных) моделей связано с ценностями решений как прямой, так и двойственной задачи. В обоих случаях результаты решения представляют собой возможные сценарии.

В первом случае – сценарии изменения организации дорожного движения: пешеходные улицы; улицы для движения общественного транспорта; специализация полос движения.

Во втором случае – сценарии в транспортном планировании: формирование транспортного спроса; планирование развития инфраструктуры; планирование природоохранных мероприятий.



Рис. 4.48. Схема структурного и терминологического соответствия оптимальных моделей в задачах оптимизации технических и природно-технических систем

Оптимальные модели имеют обратные связи с отдельными компонентами прогнозных транспортных моделей. Прогнозная модель является генератором ограничений (правых частей ограничений) для постановки оптимальной модели. В представленной работе это осуществлено через дополнительные модули, такие как стандартный модуль – emission of air pollution, и вновь разработанные модули расчета рисков ДТП и шумового загрязнения территории [118,169-172].

В свою очередь результаты решения предпрогнозных моделей определяют оптимальные сценарии развития всей транспортной системы города. Решение прямой и затем двойственной задачи линейного программирования при помощи расчетного модуля simplex method позволяет оценивать запасы ресурсов и получать наборы

сценариев развития транспортной системы. Далее в автоматическом режиме эти сценарии можно вводить как изменения в прогнозную модель, вносить соответствующие изменения в модель транспортного спроса и вновь искать сценарии его оптимального удовлетворения. Имея в распоряжении трёхуровневую **систему** транспортных моделей (предпрогнозная, прогнозная, имитационная), можно сформировать единую систему выработки и принятия решений, направленных на эффективное, с точки зрения качества жизни, функционирование и развитие транспортной системы крупного города, в идеале строго формализованную и отвлеченную от субъективного воздействия и влияния человека на принятие решений.

4.7. Выводы по главе 4

Установленная в предыдущих главах логическая связь качества жизни на территории и эффективности функционирования транспортной системы позволила в настоящей главе, при формализации оптимизационной задачи аналогичным образом сформировать основные составляющие оптимальной модели – целевую функцию и систему ограничений.

В соответствии с логико-графической моделью формирования эффективной транспортной системы крупного города, математическая модель также есть результат сопоставления целей – времени реализации транспортных корреспонденций и ресурсов, затрачиваемых на достижение этих целей.

Для решения оптимизационной задачи была построена оптимальная модель математического программирования (линейного). Использование теории и инструментов математического программирования, в частности линейного программирования, широко применяется в решении различных задач транспортной отрасли, в которую эти задачи перешли из области промышленного производства, планирования и управления. В транспортной сфере наиболее распространены модели в виде транспортной задачи. Использование этих моделей решает большой класс логистических задач, задач оптимизации перевозочного процесса в отраслях производства и на предприятиях, в том числе на отдельных предприятиях пассажирского транспорта.

В данном исследовании впервые предложено использовать теорию и инструменты постановки и решения оптимизационных задач линейного программирования для решения задачи транспортной системы в целом, в частности задачи формирования эффективной

транспортной системы крупного города. Постановка такой задачи и последующее формирование модели для её решения стало возможным благодаря приведенной в предыдущих главах строгой формализации назначения транспортной системы города в виде построенной модели транспортного спроса.

Найденный транспортный спрос позволил сформировать «верхние» ограничения оптимизационной задачи. Поставленные в настоящей главе и введенные в оптимальную модель «нижние» ограничения могут быть существенно дополнены заданием дополнительных (пользовательских) требований к функционированию транспортной системы города.

Главное достоинство математических моделей оптимального планирования заключается в строгости теоретических положений их решения и анализа. Приведенное оптимальное решение формирования эффективной транспортной системы российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми в этом плане – лучшее решение модели, причем не абсолютно, а относительно принятых степеней свободы и ограничений задачи. Кроме того, определяющее значение имеет выбранный на этапе постановки задачи критерий оптимальности.

При построении математической модели число степеней свободы задачи определено в зависимости от зоны (территории города), в которой совершается корреспонденция; способа и типа реализации корреспонденции.

Представленная модель, её решение и анализ решения двойственной задачи проведен в 90-мерном линейном пространстве возможных решений. Найденное в этом пространстве оптимальное решение представляет собой эффективную транспортную систему.

Ценность моделирования при поиске эффективности транспортной системы заключается в возможности изменения параметров функционирования системы и оценки влияния этого изменения на конечный результат. В представленной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми, меняя длину проезжих частей дорог исследуемых областей; предельную экологическую нагрузку; спрос на передвижение, характеристики подвижного состава и степень их использования, в результате моделирования будем получать новое оптимальное распределение транспортного спроса. Это позволит находить наиболее эффективные решения задачи формирования транспортной системы города в условиях любых ограничений, как территориальных, так и финансовых.

В практическом плане интерес вызывает решение соответствующей двойственной задачи линейного программирования. Впервые создан инструмент, позволяющий оценить имеющиеся в распоряжении сообщества различные ресурсы, с точки зрения их запасов и вклада (влияния) на эффективность транспортной системы города, а следовательно, и качество жизни. Этими ресурсами являются входящие в оптимизационную задачу ограничения развития транспортных систем – объемы инфраструктуры различных систем транспорта, предельные уровни загрязнения атмосферы и шумового загрязнения территории.

В конечном итоге именно управление имеющимися ресурсами есть единственный инструмент улучшения как качества жизни на территории, так и качества функционирования действующей на территории транспортной системы.

Созданию системы эффективного управления транспортной системой крупного города в условиях действующих ограничений по потребляемым ресурсам посвящена следующая глава.

Глава 5

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ КРУПНОГО ГОРОДА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

5.1. Основы теории управления природно-техническими системами

В мире существуют уже опробованные и доказанные временем основные направления повышения эффективности функционирования транспортных систем в городах и общего повышения качества жизни [12]. С большой долей вероятности можно сказать, что реализация любого из этих направлений позволит улучшить основные качественные показатели функционирования городской транспортной системы. При их реализации можно вообще не проводить научные исследования, не строить прогнозные и оптимизационные модели, а только лишь следовать опыту европейских городов, которые прошли путь своей автомобилизации чуть раньше, чем города России. Однако этот путь имплементации зарубежных организационно-технических решений в области транспортного планирования и организации дорожного движения не всегда венчается успехом. Причиной этому несовершенство инструментов и технологий реализации управленческих решений. В отличие от того «что делать», вопросам «как делать» не учат в ВУЗе, а обучение на своих ошибках обходится слишком дорого. Мало принять закон или распоряжение – необходимо предусмотреть механизмы их реализации.

Транспортная система крупного города, включающая в себя дорожно-транспортный комплекс, участников дорожного движения и окружающую среду, как отмечалось выше, является сложной природно-технической системой. Участники дорожного движения в процессе взаимодействия друг с другом образуют социальную систему, являясь при этом (в терминах теории управления) агентами.

Организация дорожного движения, как и вообще организация транспортного обслуживания населения и дорожное строительство, осуществляемое в соответствии с законом органами местного самоуправления, представляет собой организационную систему (ОС), состоящую (в терминах теории управления) из управляющего центра и агентов (субъектов управления). Она представляет собой объединение людей, совместно реализующих некоторую цель и действующих на основе определенных процедур и правил (федеральных, региональных и местных законодательных актов, ПДД и т.п.). Это будет отличать рассматриваемую организационную систему от коллектива или группы людей, не имеющих одной четкой цели и свода процедур и правил [123,173].

Применительно к организационным системам, подобным транспортной, *механизм функционирования* – это совокупность правил, законов и процедур, регламентирующих взаимодействие участников организационной системы (ОС); *механизм управления* – совокупность процедур принятия управленческих решений [174-177]. В теории управления *объектом исследования* являются организационные системы, *предметом исследований* – механизмы управления организационными системами, а основным *методом исследования* – математическое моделирование.

Метод исследования механизма управления основывается на *оптимизационных* [178] и *теоретико-игровых моделях* [179]. Механизмы, основывающиеся на оптимизационных моделях, в свою очередь подразделяются на механизмы, использующие аппарат: теории вероятностей (в том числе теорию надежности, теорию массового обслуживания, теорию статистических решений), теории оптимизации – линейное и нелинейное (а также стохастическое, целочисленное, динамическое и др.) программирование, дифференциальных уравнений, оптимального управления; дискретной математики – в основном теорию графов (транспортная задача, задача о назначении, выбор кратчайшего пути, календарно-сетевое планирование и управление, задачи о размещении, распределение ресурсов на сетях и т.д.). Сформулированные в предыдущих главах подходы, алгоритмы и техноло-

гии решения задачи построения эффективной транспортной системы крупного города в конечном итоге решают управленческую задачу, методом решения которой является математическое моделирование, сводящееся на конечном этапе к решению оптимальной модели задачи линейного программирования [176, 180-184].

На каждом уровне управления можно выделить два способа управления: процессное управление и проектное управление (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Различные способы управления организационными системами

Способы управления	Компоненты и инструменты управления			
Процессное управление	Планирование процесса	Организация процесса	Стимулирование процесса	Контроль за процессом
Проектное управление	Концепция	Стратегия	План	Программа

В настоящей главе сформулируем принципы построения системы управления транспортной системой города, классифицируемые по четырем основным признакам, определяющим задачи исследования:

1. Предмет управления:

- 1.1. Состав ОС (управление составом);
- 1.2. Структура ОС (управление структурой);
- 1.3. Ограничения и нормы деятельности (институциональное управление);

- 1.4. Предпочтения (мотивационное управление);

- 1.5. Информированность (информационное управление).

2. Функция управления:

- 2.1. Планирование;
- 2.2. Организация;
- 2.3. Стимулирование;
- 2.4. Контроль.

3. Масштаб реальных систем:

- 3.1. Город;

4. Отраслевая специфика:

- 4.1. Муниципальное управление.

Процесс формирования эффективной транспортной системы в крупном городе изначально возможен при условии существования в городе эффективной системы управления городским хозяйством.

Достижение качества функционирования транспортной системы города предполагает наличие эффективной системы управления дорожно-транспортным комплексом города. Однако эффективное функционирование транспортной системы, понятие о котором дано в предыдущих главах, предполагает наличие качественной системы управления различными сферами жизни современного города. Объекты влияния, управление которыми согласно Федерального закона от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» (далее – Федеральный закон № 131-ФЗ) относится к вопросам местного значения городского округа, могут находиться в различных функциональных блоках в системе городского хозяйства и управления в соответствии с подп. 2, 3, 5, 7, 15, 25 и 26 ст. 16 этого Закона, определяющими полномочия и зоны ответственности органов местного самоуправления на своих территориях.

Можно указать на соответствие между введенными в Главе 4 в математическую модель оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города видами ограничений и предметами управления, относящимися к вопросам местного самоуправления согласно Федерального закона № 131-ФЗ (табл. 5.2) [185].

Таблица 5.2

Соответствие управляющих воздействий, введенных в оптимальную модель в виде ограничений и полномочий органов местного самоуправления, определенных законом

Предметы управления, введенные в оптимальную модель задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города в виде ограничений	Вопросы местного значения, согласно Федерального закона № 131-ФЗ
<p><i>Протяженность улично-дорожной сети города</i></p> <p><i>Протяженность выделенных линий для движения маршрутных транспортных средств в системе улично-дорожной сети города</i></p>	<p><i>Статья 16.</i></p> <p><i>3) владение, пользование и распоряжение имуществом, находящимся в муниципальной собственности городского округа</i></p> <p><i>5) содержание и строительство автомобильных дорог общего пользования, мостов и иных транспортных инженерных сооружений в границах городского округа, за исключением автомобильных дорог общего пользования, мостов и иных транспортных инженерных сооружений федерального и регионального значения</i></p>

Предметы управления, введенные в оптимальную модель задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города в виде ограничений	Вопросы местного значения, согласно Федерального закона № 131-ФЗ
<i>Количество подвижного состава городского пассажирского транспорта общего пользования</i>	Статья 16. 7) создание условий для предоставления транспортных услуг населению и организация транспортного обслуживания населения в границах городского округа
<i>Уровень загрязнения городской атмосферы отработанными газами АМТС Уровень шумового загрязнения территории города</i>	Статья 16. 11) организация мероприятий по охране окружающей среды в границах городского округа 12) организация и осуществление экологического контроля объектов производственного и социального назначения на территории городского округа, за исключением объектов, экологический контроль которых осуществляют федеральные органы государственной власти 25) организация благоустройства и озеленения территории городского округа, использования и охраны городских лесов, расположенных в границах городского округа
<i>Уровень риска ДТП на улично-дорожной сети города</i>	Нет полномочий
Предметы управления, введенные в оптимальную модель задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города в виде ограничений	Вопросы местного значения, согласно Федерального закона № 131-ФЗ

Выбранный в качестве ограничений функционирования транспортной системы набор представляет собой систему неравенств, каждое из которых определяет ту или иную сферу воздействия на режим функционирования транспортной системы. Комплекс (сочетание) этих воздействий определяет текущую предельную эффективность действующей транспортной системы. Дальнейшее развитие транспортной системы предполагает выработку управленческих решений и осуществление воздействий на систему ограничений оптимальной модели формирования эффективной транспортной системы крупного города. Например, введенные в модель группы ограничений по транспортному предложению, по различного вида

загрязнениям городской среды, по рискам вреда от ДТП, в решении двойственной задачи покажут целесообразность принятия тех или иных управленческих воздействий, направленных на изменения показателей каждого из введенных ограничений на территории города.

Некоторые из этих управленческих решений относятся функционально к сферам управления, напрямую не затрагивающих вопросы транспортного обслуживания населения и дорожной деятельности. Однако, наличие в оптимальной модели системной связи ограничений с целевой функцией функционирования транспортной системы не позволит повышать качественные показатели функционирования транспортной системы, осуществляя управленческие воздействия на изменения только одной группы ограничений в модели – например, в области транспортного предложения, бесконечно увеличивая объемы ввода в эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры (дорог).

Своих воздействий потребуют другие сферы управления, затрагивающие введенные в модель типы ограничений. Это, в свою очередь, потребует качественной системы управления не только дорожно-транспортным комплексом города, но и всей сферой городского управления.

5.2. Субъективные и объективные проблемы развития управления транспортными системами в городах. Несовершенство существующей системы управления

5.2.1. Объективные проблемы развития транспортных систем городов

Можно выделить целый комплекс объективно существующих внешних и наследуемых внутренних факторов, являющихся первопричинами существования проблем в развитии транспортных систем городов. К ним следует отнести:

- рост уровня автомобилизации населения;
- рост производительности труда, связанный с этим рост потребности жителей города в перемещениях;
- диспропорция между темпами автомобилизации и темпами дорожного строительства;
- градостроительно-планировочные проблемы развития городской территории, связанные с возрастом, традициями и укладом жизни в городах.

5.2.2. Субъективные проблемы управления развитием транспортных систем городов

Следует дать оценку существующим субъективным проблемам развития транспортных систем городов. Как и все субъективные проблемы, вопросы развития транспортных систем городов находятся в зависимости от качества существующей в этой сфере системы управления. Исходя из этого, можно характеризовать все субъективные проблемы в развитии транспорта в крупных городах как проблемы управления. Зафиксируем и остановимся подробнее на каждом из субъективных факторов.

5.2.2.1. Несовершенство системы организации и управления развитием дорожно-транспортного комплекса

Практически все российские регионы и города в настоящий момент стоят на пороге переосмысления общих подходов к развитию дорожно-транспортного комплекса своих территорий. Каждый регион (муниципальное образование) идет своим путем. Присутствуют самые разнообразные формы и методы организации системы управления как в сфере организации дорожного движения, так и в сфере дорожного строительства, содержания и благоустройства – комитеты, департаменты, отделы, государственные и муниципальные учреждения и предприятия. Все чаще монопольными субъектами принятия решений по развитию транспортной системы города становятся первые лица городской и региональной власти, а также строительное лобби. В этих условиях системные ошибки, в том числе носящие необратимый характер, становятся практически неизбежными.

Даже бытовой опыт подсказывает: умея управлять, можно использовать по назначению и систему с плохой материальной основой или базисом. Сегодняшний акцент на совершенствование базиса системы необходим, но не первичен. Мероприятия по развитию транспортного комплекса и организации дорожного движения, как правило, локальны, плохо связаны и не представляют единую городскую систему управления. Подразделения, службы, органы управления и власти не всегда представляют для себя цели управления дорожным движением и, вследствие этого, не понимают, чем управлять и для чего управлять. В результате сегодня можно констатировать, что **серьезные вливания (материальные и финансовые) в дорож-**

но-транспортную систему в течение последних десяти лет не дали положительного эффекта.

Все принимаемые в настоящий момент управленческие решения в области развития дорожной сети и организации дорожного движения носят волевой характер, нередко зависят от мнения одного человека и поэтому в лучшем случае решают задачу устранения дефектов, видимых на глаз.

Несмотря на кажущуюся очевидность, решение проблемы улучшения условий движения на УДС путем выделения основных капиталовложений развитие в улично-дорожной сети в условиях крупного города совершенно ошибочно. Улучшение транспортного обслуживания осуществляется через направление бюджетных средств на строительство дорогостоящих магистралей и преждевременных многоуровневых пересечений, что еще более усугубит транспортную обстановку, поскольку уже сегодня разрыв между количеством автомобилей, находящихся в собственности жителей крупных городов, и приростом пропускной способностей УДС чрезвычайно велик.

К сожалению, представители органов местного самоуправления городов из соседних регионов слабо контактируют между собой. Хотя **обмен опытом** с другими крупными городами России пригодился бы. Нет необходимости заключать партнерские отношения с зарубежными городами, тратить деньги на заграничные командировки, достаточно посетить соседние российские города и обменяться опытом в вопросах транспортного планирования и организации дорожного движения.

Во многих крупных российских городах **отсутствует единый постоянно действующий орган управления**, ответственный за координацию работы различных организаций, деятельность которых непосредственно связана с обеспечением надлежащих условий движения и надлежащего состояния дорожной сети.

На сегодняшний день в крупных российских городах также **не реализован механизм участия граждан** в организации и управлении развития дорожно-транспортного комплекса. Нет ответственного лица, которому попадают письма граждан с жалобами на качество маршрутной сети и вопросами организации дорожного движения. Также нет организации, ответственного лица, защищающего интересы конечного потребителя и заказчика – участника дорожного движения (пешехода, водителя).

Очень часто отсутствие в структуре муниципального управления подразделений, ответственных за состояние, эффек-

тивность функционирования и развития транспортной системы, не только приносит прямые убытки городскому бюджету, но и все больше перекладывает решение чисто городских вопросов на плечи региональной власти. В конечном итоге, это приводит к размыванию ответственности за результаты осуществляемых (или не осуществляемых) мероприятий в названной сфере.

Более **серьезными следствиями отсутствия единого заказчика**, учитывающего как общие экономические интересы развития транспортной инфраструктуры, так и интересы непосредственных участников дорожного движения – водителей, пассажиров, пешеходов, являются:

- отсутствие единых критериев оценки деятельности по транспортному планированию и организации дорожного движения;
- неэффективное использование возможностей существующей УДС;
- неэффективное использование материальных средств в строительстве, реконструкции и ремонте УДС;
- отсутствие взаимосвязанной схемы финансирования развития и содержания УДС;
- убытки и упущенная выгода автоперевозчиков;
- низкая экологическая безопасность дорожно-транспортного комплекса, риски возникновения ДТП.

Решения в области среднесрочного, краткосрочного планирования и оперативного управления должны обязательно решаться, что называется «на местах». Еще много крупных российских городов, в которых вопросами разработки генеральных планов и документов транспортного планирования занимались сторонние специалисты извне, что само по себе именно в дорожно-транспортной сфере недопустимо.

Затрачиваемые в последнее время бюджетные ресурсы, направленные на автоматизацию процессов организации дорожного движения, не есть панацея от бед. В первом приближении необходимо знать до тонкостей весь алгоритм «ручного» процесса управления предметной областью, что в отсутствие специализированных знаний и необходимой информации вынуждает использовать интуитивные подходы к решению формальных инженерных задач.

Без четко прописанных и алгоритмизированных «ручных» процедур принятия решений в области организации дорожного движения, попытки автоматизировать этот процесс обречены на неудачу (нечего автоматизировать).

В области управления дорожно-транспортным комплексом города, как и в других вопросах развития экономики и повышения качества жизни, до конца не ясна функция государства. Призывы к наращиванию функций государственного управления в сфере транспортных систем городов не кажутся обоснованными. Даже роль муниципалитетов городов представляется вполне соответствующей по объемам, рычагам и возможностям в деле создания эффективных способов удовлетворения потребностей горожан в удовлетворении своих транспортных потребностей. Уже сейчас представляется возможным в действующем правовом поле уверенно проводить на муниципальном и государственном уровне политику поддержания баланса интересов всех участников функционирования системы городского транспорта.

Именно поддержанием баланса интересов различных по объемам потребляемых ресурсов участников дорожного движения продиктованы в своем большинстве бюджетные решения представительных органов власти городов. Например, чтобы принять решение муниципалитету собственными средствами вкладываться в строительство автомобильных стоянок, требуется серьезная политическая воля. В этом контексте автостоянки представляются такими же объектами дорожного сервиса, как и автозаправочные станции (АЗС) и станции техобслуживания (СТО). При таком их позиционировании очевидно, что депутаты любого представительного органа никогда не проголосуют за то, чтобы строить АЗС за муниципальные деньги. Представляется, что и автостоянки есть объекты из того же ряда, и, следовательно, они должны возводиться на основе открытой свободной конкуренции и рынка [186-187]. При этом надо понимать, что затраты в конечном итоге всё равно оплатят автовладельцы. Но автовладельцы пока представляют не большинство городского населения, а это значит, что общественный ресурс в виде автостоянок, построенных на общественные деньги, используется не в интересах большинства.

Гораздо интереснее в этом отношении представляется вариант государственно – частного партнерства, когда инвестиционную составляющую выбирает частный инвестор, а муниципалитет, государство, если речь об участии региональных бюджетов, вкладывается в это гарантиями перед банками, как это представляется при концессии в дорожном строительстве, или посредством информационной и административной поддержки. Например, заранее доводя до сведения автовладельцев, что в таком-то квартале, например при

долевом участии, будет построена автопарковка, при этом все другие бесплатные парковки на территориях общего пользования в данном районе будут закрыты.

Конечные формы управления муниципальным имуществом могут быть разные (например, передача в доверительное управление коммерческим структурам построенных муниципальных объектов).

С ростом общей автомобилизации населения в городах становится очевидно, что всем автовладельцам нужно готовиться к существенному увеличению своей доли ответственности за содержание и развитие дорожно-транспортного комплекса по сравнению со всеми другими горожанами, не имеющими в собственности автомобили.

В современном городе должна закрепиться общественная парадигма: если ты обладаешь личным автомобилем, то в городе он не средство передвижения, а роскошь. Со временем финансовая нагрузка на содержание и эксплуатацию автомобиля будет расти все больше и больше: бензин, техобслуживание, платные стоянки, парковки и прочее, и к этому нужно быть готовым.

Отчасти иждивенческая позиция автовладельцев относительно ожидания завышенных объемов предоставления им гарантированных услуг по содержанию и эксплуатации их движимого имущества, по меньшей мере, не обоснована. Следует не забывать, что все современные блага в виде индивидуальной мобильности создаются всеми жителями города, а вот объемы потребления этих благ существенно различны.

5.2.2.2. Недостаточная законодательная база в области управления транспортной системой города

Конституция Российской Федерации устанавливает основные принципы построения системы органов государственной власти, определяет их правовой статус, разграничивает предметы ведения Российской Федерации и ее субъектов, провозглашает права и свободы человека и гражданина, гарантирует их государственную защиту, содержит иные важнейшие положения, касающиеся функционирования демократического правового государства. При этом слово «транспорт» употребляется в основном документе только один раз. Даже обеспечение безопасности дорожного движения как самостоятельное направление деятельности, составляющим элементом которой является организация дорожного движения, не отражено в положениях Конституции Российской Федерации.

Опосредованное отношение к транспортным системам имеет лишь деятельность по обеспечению безопасности дорожного движения, которая охватывается понятием «общественная безопасность», которую ст. 72 Конституции Российской Федерации относит к совместному ведению Российской Федерации и субъектов Российской Федерации.

Соответствующее положение Конституции Российской Федерации получило дальнейшее развитие в нормах федеральных законов, в указах Президента Российской Федерации, постановлениях Правительства Российской Федерации, правовых актах федеральных органов исполнительной власти, а также в нормах законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации.

Государственное регулирование в сфере организации дорожного движения и эффективного развития городских и региональных транспортных систем развивается по следующим направлениям:

- совершенствование территориального и территориально-транспортного планирования;
- организация городского парковочного пространства и парковочная политика;
- совершенствование работы общественного пассажирского транспорта и немоторизированного передвижения;
- введение ограничений на движение автотранспорта;
- оптимизация работы грузового автотранспорта;
- совершенствование инженерных средств и методов организации дорожного движения;
- правовое, институциональное и методическое обеспечение решения проблем в сфере дорожного движения;
- развитие улично-дорожных сетей.

В процессе государственного регулирования транспортного планирования в городах и регионах можно отметить несколько значимых дат. В 2014 году были внесены изменения в Градостроительный кодекс Российской Федерации, предусматривающие разработку программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов (Федеральный закон от 29.12.2014 № 456-ФЗ) [188]. В 2015 году было принято Постановление Правительства Российской Федерации № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов» [189]. В 2016 году был издан Приказ Минтранса России № 131 «Об утверждении порядка

осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов» [190].

Из наиболее значимых нововведений этого периода можно выделить следующее:

1. Мероприятия по развитию транспортной инфраструктуры, которые включают:

а) комплексные мероприятия по организации дорожного движения, в том числе мероприятия по повышению безопасности дорожного движения, снижению перегруженности дорог и (или) их участков;

б) мероприятия по внедрению интеллектуальных транспортных систем;

в) мероприятия по снижению негативного воздействия транспорта на окружающую среду и здоровье населения;

г) мероприятия по мониторингу и контролю за работой транспортной инфраструктуры и качеством транспортного обслуживания населения и субъектов экономической деятельности.

2. Перечень мероприятий (инвестиционных проектов) по проектированию, строительству, реконструкции объектов транспортной инфраструктуры, который должен быть разработан с учетом развития объектов транспортной инфраструктуры регионального и федерального значения.

3. Оценка объемов и источников финансирования мероприятий (инвестиционных проектов) по проектированию, строительству, реконструкции объектов транспортной инфраструктуры.

В процессе государственного регулирования и совершенствования процессов организации дорожного движения в городах можно выделить следующие значимые даты. В 2013 году были внесены изменения в Правила дорожного движения, которыми были введены:

– понятие транспортное средство Олимпийских и Паралимпийских игр;

– новые дорожные знаки, обозначающие дорогу и полосу для движения указанных транспортных средств;

– соответствующая дорожная разметка.

В 2014 году были внесены фундаментальные изменения в ПДД в части регламентации движения и использования велосипедного транспорта. В 2015 году был издан Приказ Минтранса России № 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения». В 2017 году был принят Федеральный закон

№ 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [191]. В 2018-2019 гг. были приняты подзаконные акты к Федеральному закону № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В 2020 году было дано Распоряжение Правительства № 724-р «О Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования» [192].

В итоге на сегодняшний день сформирована основная часть федеральных законов и нормативно-правовых документов в области развития транспортных систем городов, которые представляют собой систему, состоящую из следующих документов:

1. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях [193];

2. Градостроительный кодекс Российской Федерации [188];

3. Правила дорожного движения Российской Федерации [194];

4. Федеральный закон от 08.11.2007 № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации» [195];

5. Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта [196];

6. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» [185];

7. Федеральный закон от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» [197];

8. Федеральный закон от 06.10.1999 № 184-ФЗ «Об общих принципах организации законодательных и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» [198];

9. Федеральный закон от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации» [199];

10. Федеральный закон от 29.12.2017 № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [191].

Принятие Федерального закона от 29.12.2017 № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о вне-

сении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» позволило решить ряд наиболее важных задач в области повышения эффективности функционирования транспортного комплекса в городах:

- унифицировать определение параметров дорожного движения. Такая унификация стала возможной благодаря изданию ряда Постановлений Правительства Российской Федерации и приказов Министерства транспорта Российской Федерации (Постановление Правительства от 16.11.2018 № 1379 «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета» [200], Приказ Минтранса России от 26.12.2018 № 479 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения в части расчета значений основных параметров дорожного движения» [201], Приказ Минтранса России от 18.04.2019 № 114 «Об утверждении Порядка осуществления мониторинга дорожного движения» [202]);

- сформировать единый перечень работ по организации дорожного движения. Данные положения закреплены в Приказе Минтранса России от 13.11.2018 № 406 «Об утверждении классификации работ по организации дорожного движения» [203];

- позволило сформировать универсальный подход к разработке документов по организации дорожного движения. Данные положения закреплены в Приказе Минтранса России от 30.07.2020 № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения» [204];

- сформулировать единые требования к специалистам по организации дорожного движения. Данные положения закреплены в Приказе Минтранса России от 28.07.2020 № 260 «Об утверждении перечня профессий и должностей, связанных с организацией дорожного движения, и квалификационных требований к ним».

Особо отметим, что с января 2021 года взамен Приказа № 480 вступил в действие Приказ Министерства транспорта РФ № 274 от 30 июля 2020 года, называется он «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения» [204]. Данным Приказом устанавливаются требования к составу и содержанию комплексных схем организации дорожного движения и проектов организации дорожного движения, в том числе:

- требования к порядку подготовки, согласования и утверждения КСОДД и ПОДД (срок рассмотрения проектов КСОДД органами и организациями, рассматривающими КСОДД, не может превы-

шать тридцать календарных дней со дня их поступления на согласование);

- требования к составу и содержанию КСОДД и ПОДД (разработка мероприятий по организации дорожного движения должна учитывать снижение негативного воздействия на окружающую среду от транспортных средств);

- требования по оформлению КСОДД и ПОДД (графический материал (схемы, чертежи) в составе (КСОДД и ПОДД разрабатываются на основе топосъемки или ортофотоплана высокого разрешения в масштабе 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10000, 1:20000);

- примерный перечень исходной информации, необходимой для разработки документации по организации дорожного движения (размещение и наименование ТСОДД, данные о ДТП в динамике за период не менее трех лет).

Принимаемые законодательные акты, нацеленные на совершенствование государственного управления в области дорожной деятельности, такие как «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» [196], федеральный закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в РФ и внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» [195] и федеральный закон № 220 «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации» [199]. Согласно требованиям федерального закона № 220 «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации», для каждого маршрута регулярных перевозок организатору перевозок необходимо определить вид перевозок (по регулируемому тарифу или по нерегулируемому тарифу), заключить с перевозчиками муниципальные контракты на осуществление регулярных перевозок или выдать свидетельства для работы на маршрутах. В связи с принятием данного закона, многие муниципалитеты провели работы по обследованию пассажиропотоков и оптимизации маршрутной сети.

5.2.2.3. Недостаточная информационная составляющая при принятии управленческих решений

То, что было только моделью, не всегда воплощается в реальности. Но то, что все же воплотилось, изначально было последователь-

но идей, моделью, потом проектом. Можно отметить, что к глубокому сожалению после реализации какого-либо проекта в области развития дорожно-транспортного комплекса любого без исключения российского города мало кто об этом вспоминает, не предпринимаются попытки подтвердить или опровергнуть прогнозы модели на основе наблюдений за реальным объектом: участком улично-дорожной сети или новой схемы организации дорожного движения.

Эффективное управление такими сложными организационно-техническими системами, как транспортный комплекс города, возможно лишь в тех городах, где внедрена система количественных оценок принимаемых управленческих решений.

Существенное увеличение объемов транспортного движения требует принятия обоснованных решений по развитию дорожной сети и организации дорожного движения на базе своевременной, полной и достоверной информации о параметрах транспортных потоков на дорожной сети городов и регионов. Получаемая в настоящее время информация является недостаточной, разрозненной и не систематизируется. Организации, нуждающиеся в подобной информации, не получают ее вовремя и не имеют автоматизированных рабочих мест для обработки этой информации, номенклатура показателей ограничена, что не позволяет принимать эффективные управленческие решения. Кроме того, транспортная система является весьма сложным объектом в плане ведения учета и контроля за его состоянием.

В вопросах содержания объектов транспортной инфраструктуры и средств регулирования дорожного движения первоочередной стоит задача паспортизации, учета и контроля функционирования объектов. Приведем примеры:

– *орган администрации города, уполномоченный в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения*, не всегда владеет информацией о технических характеристиках принадлежащих ему дорог (протяженность, ширина проезжей части, количество полос движения и т.д.) и, как следствие, испытывает трудности при планировании работ;

– отсутствие схем дорожной разметки, утвержденных ГИБДД, ведет к невозможности проведения тендера на эти работы;

– отсутствие полной дислокации дорожных знаков городов значительно затрудняет оперативное управление дорожным движением, приводит к бесконтрольному использованию бюджетных денег на их обслуживание;

– отсутствие учета мест установки пешеходных ограждений, их собственников и информации о закреплении их содержания за конкретными организациями приводит к бесхозности этого элемента организации дорожного движения и, как следствие, неприглядному виду городских улиц;

– судебные органы, органы ГИБДД, страховые компании не могут своевременно получить необходимые и достоверные сведения для рассмотрения дел по автодорожным происшествиям.

Вместе с тем, разрешение этих и других вопросов позволит максимально быстро и своевременно принимать эффективные управленческие решения, снизить затраты на содержание и ремонты, улучшить экологическую обстановку, увеличить эффективность функционирования транспортной системы города в целом.

Дорожно-транспортный комплекс города, как и любой другой элемент природно-технической системы, может находиться в трех состояниях:

Работать. Иметь набор потребительских и эксплуатационных свойств, заложенных в него при его создании.

Не работать. Не соответствовать тем потребительским и эксплуатационным свойствам, которые были заложены в него при его создании (разрушение дорожной одежды, нарушение работоспособности технических средств организации движения). При этом требуется ремонт вышедших из строя элементов дорожно-транспортного комплекса города с целью доведения его потребительских и эксплуатационных свойств до значений, заложенных при его создании.

Морально устареть. При поддержании дорожно-транспортного комплекса города в заданных на период его создания параметрах потребительских и эксплуатационных свойств он не удовлетворяет возрастающим потребностям потребителей. Требуется реконструкция элементов дорожно-транспортного комплекса города с целью изменения его потребительских и эксплуатационных свойств.

Основной тезис в такой декомпозиции можно сформулировать следующим образом: нельзя подвергать реконструкции дорожно-транспортный комплекс города, находящийся в неработающем состоянии.

Серьезной проблемой в развитии дорожно-транспортного комплекса города является отсутствие информации о существующем состоянии транспортной системы и системы работы с этой информацией, а не проблема нехватки финансирования, как это принято часто считать.

Хорошей иллюстрацией этого утверждения может служить анализ опыта развитых европейских стран в вопросах развития дорожно-транспортного комплекса. Имея существенно большие финансовые возможности в реализации различных проектов в области дорожного строительства и организации движения, ни один европейский город не смог решить проблему обеспечения транспортных потребностей населения при помощи простого финансового вливания. Проблема развития дорожно-транспортного комплекса в городах России еще не набрала достаточную остроту, т.к. большинство участников дорожного движения не осознают свои права в данном вопросе. Приобретая товар или услугу, участники дорожного движения понимают, что вовлечены в товарно-денежные отношения. Находясь в пробках на дорогах города, большинство водителей (владельцев транспортных средств) забывают, а может, не задаются вопросом о том, почему, заплатив дорожный налог, они должны терять время. Рано или поздно ситуация изменится, и будет невозможно избежать исков и судебных разбирательств, исход которых будет в первую очередь зависеть от аргументации и информационной основы на этапе принятия различных управленческих решений в области развития дорожной сети и организации дорожного движения.

Дорожно-транспортная отрасль в городе остается единственной хозяйственной сферой, в которой управление огромными финансовыми потоками (чаще всего бюджетных денег) происходит на основе весьма скудного объема информации. На лицо отсутствие единого информационного пространства в работе различных служб и комитетов администраций городов.

Использование на этапе принятий управленческих решений единой и качественной информационной основы, современных методов обработки и анализа информации в сочетании с созданием высокоэффективных механизмов управления в отрасли является основным стратегическим направлением в решении задач по повышению эффективности функционирования транспортной системы крупного города.

5.2.2.4. Недостатки финансирования развития средств организации и управления движением

Отсутствует единая схема финансирования как мероприятий по развитию сети, ее реконструкции и ремонту, так и организационных мероприятий в области транспортного планирования и орга-

низации дорожного движения. Не решены вопросы взаимодействия и межбюджетных отношений между органами федеральной, региональной и муниципальной власти в решении вопросов финансирования и принятия решений в области развития дорожно-транспортного комплекса.

В бюджетах всех уровней мероприятий на организацию дорожного движения не предусматривается. В этом случае надо понимать, что мероприятия, направленные на совершенствование организации дорожного движения, всегда являются экономически более эффективными по сравнению с новым дорожным строительством.

Не определены механизмы привлечения внебюджетных средств в развитие УДС, мероприятия по организации дорожного движения, совершенствованию технических средств организации дорожного движения и их содержанию.

5.2.2.5. Нерешенность имущественных вопросов и вопросов разграничения прав собственности и управления объектами транспортной инфраструктуры

Неопределенность имущественных вопросов касается в первую очередь средств организации дорожного движения. В последние годы наблюдается перекрестное финансирование процессов установки, содержания и ремонта технических средств организации движения. Финансирование проводится из бюджетов субъектов федерации и муниципальных образований по различным целевым программам, а чаще по остаточному принципу. В связи с этим возникают объективные трудности не только на этапе контроля расходования этих средств, но и при инвентаризации и учете самих средств регулирования (дорожных знаков и светофоров). По состоянию на 2022 год в России насчитывается 36 государственных и муниципальных казенных и бюджетных учреждений, в обязанности которых входит сбор данных о дорожном движении, включая параметры транспортных и пассажирских потоков, дорожных условий, действующей организации дорожного движения, а также разработка рекомендаций по повышению эффективности и безопасности организации дорожного движения. При этом 22 учреждения называют себя Центрами организации дорожного движения (МКУ г. Томска «Центр организации дорожного движения», ГКУ Тверской области «Центр организации дорожного движения»), 10 учреждений называют себя Центром безопасности дорожного движения (ГКУ Ростовской области

«Центр безопасности дорожного движения», ГКУ Нижегородской области «Центр безопасности дорожного движения», 4 учреждения называют себя Дирекциями (МКУ «Пермская дирекция дорожного движения», Санкт-Петербургское ГКУ «Дирекция по организации дорожного движения Санкт-Петербурга»).

Инфраструктурные элементы маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования также не являются самостоятельными объектами управления. Соответственно не имеют своего самостоятельного закрепления за каким-либо функциональным блоком или органом администрации города. Отсутствие объекта и предмета управления в этой части делает невозможным рациональное использование имеющихся в муниципальном образовании ресурсов в виде пропускных способностей остановочных пунктов, разворотных площадок и площадок отстоя, а также выделенных полос для движения маршрутных транспортных средств.

Такая ситуация делает трудновыполнимой задачу обеспечения эффективности и безопасности функционирования транспорта общего пользования в городах.

Кроме отсутствия единого заказчика, существует недостаток квалифицированных кадров в отрасли. В России нет учебных заведений по подготовке специалистов в области транспортного планирования и организации дорожного движения. Люди, принимающие решения в указанной области, имеют чаще дорожное или общестроительное образование. Стратегическое (уровня генерального плана) транспортное планирование отдано на откуп иностранным специалистам. И это часто бывает разумным и оправданным.

Решение острейшего кадрового вопроса было предпринято на этапе разработки и утверждения Приказа Минтранса России от 28.07.2020 № 260 «Об утверждении перечня профессий и должностей, связанных с организацией дорожного движения, и квалификационных требований к ним» [205], в котором утвержден перечень профессий и должностей, связанных с организацией дорожного движения, в частности:

- специалист по разработке проектов организации дорожного движения;
- специалист по моделированию дорожного движения;
- специалист по эксплуатации технических средств организации дорожного движения;
- специалист по организации и мониторингу дорожного движения;

- специалист по контролю в сфере организации дорожного движения;
- специалист по разработке комплексных схем организации дорожного движения.

Кроме того, в настоящее время существует также потребность в качественных образовательных программах высшего образования по направлениям 38.04.04 Государственное и муниципальное управление, направленность (профиль) «Транспортное планирование», с целью подготовки квалифицированных специалистов в области транспортного планирования.

Миссия таких образовательных программ – всестороннее и полное научное и практическое исследование возможности интеграции различных систем и видов транспорта с целью повышения эффективности функционирования транспортной системы страны, ее регионов и городов.

Основная прикладная цель образовательных программ по направлению «Транспортное планирование» – продвижение передового опыта и наилучших практик в области интеграции различных видов и систем транспорта в политику государственного и муниципального управления и пространственного планирования на основе принципов устойчивого развития территорий и повышения качества жизни населения через подготовку высокопрофессиональных кадров.

Ожидаемым результатом реализации образовательных программ является обеспечение высокого качества подготовки и конкурентоспособности выпускников на мировом рынке образования и труда.

В настоящее время Правительством Российской Федерации и Министерством транспорта Российской Федерации принят ряд нормативных правовых актов и распоряжений, определяющих цели, механизмы и основные направления развития транспортных систем, охватывающих все виды транспорта и транспортной деятельности. Эффективная реализация целей и задач, определенных в этих стратегических, программных и методических документах с учетом реальных бюджетных ограничений, требует оптимального согласованного планирования развития транспортных систем всех видов и масштабов от уровня страны и федерального округа до субъекта федерации, муниципального района и городской агломерации.

В последнее время рынок спроса на решение задач транспортного планирования существенно расширился, особенно в регионах и муниципальных образованиях, где разработка программ комплекс-

ного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ) и комплексных схем организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом (КСОТ) стали обязательными для местных администраций. Для закрепления этих обязанностей три года назад приняты изменения в Градостроительный кодекс Российской Федерации, изданы соответствующие приказы Министерства транспорта Российской Федерации.

В зарубежной практике для этих целей широко применяются различные аналитические методы, методологии, математические модели и специализированные программные средства, разработанные для решения задач транспортного планирования и прогнозирования. В настоящее время эти методы и средства доступны российским разработчикам, но ощущается явный дефицит кадров, способных пользоваться ими при решении практических задач.

Профиль специальности ориентирован на подготовку специалистов в сфере решения комплексных задач транспортного планирования, сбалансированного развития всех систем транспорта федерального, регионального и муниципального уровня. Предусматривается формирование у студентов системы знаний и инженерных навыков, обеспечивающих применение современных методов и моделей исследования транспортных систем, расчета их параметров, определения ключевых показателей эффективности, прогнозирования, математического и имитационного моделирования, формирования финансовых моделей реализации и отбора оптимальных вариантов сбалансированного развития всех видов транспорта и транспортной деятельности при решении комплексных задач транспортного планирования, направленных на оптимизацию ключевых характеристик транспортных систем.

Сферой применения этих знаний и навыков является обоснование и формирование программ и планов транспортного развития территорий, реконструкции и развития объектов транспортной инфраструктуры всех видов транспорта и их интеграции, разработка транспортных схем различного уровня, программ комплексного развития транспортной инфраструктуры, комплексных планов транспортного обслуживания населения, схем организации дорожного движения, маршрутных сетей транспорта общего пользования, планов развития парковочного пространства и транспортно-пересадочных узлов, планов развития транспортно-логистической инфраструктуры, схем транспортно-логистического обслуживания, а также транспортных стратегий и других документов транспортного планирования.

5.2.2.6. Негативное влияние человеческого фактора

Автомобильная общественность не консолидирована и сосредоточена на консервации так называемых обычных прав автовладельцев или псевдоправ, сложившихся в дореформенные времена. Например, «обычное право» стоянки автомобиля на проезжей части по месту назначения поездки (у дома или места работы), приводящее к потере 20% суммарного ресурса улично-дорожной сети, и столь же «обычное право» бесплатного и неупорядоченного пользования другой городской территорией.

Нерешенность многих вопросов, связанных с организацией дорожного движения, и недостаточно грамотная ее организация формирует у участников дорожного движения пренебрежительное отношение как к правилам дорожного движения, так и в целом к выполнению своих обязанностей как участника движения. Гораздо в большей степени выраженное расслоение общества в среде водителей и владельцев автомобилей не способствует утверждению принципа равенства всех перед законом. Этому способствует бездействие контролирующих органов (ГАИ, ДПС) на систематические нарушения водителями ПДД (правила остановки и стоянки, предоставления приоритетов пешеходам, правил проезда перекрестков, обязанностей водителей...). Основной (если не единственной) функцией подразделений ГИБДД на ближайшее время должен стать контроль неукоснительного соблюдения ПДД всеми участниками дорожного движения.

5.2.3. Прогноз ситуации

Реализуемые в последние годы мероприятия по улучшению дорожно-транспортной ситуации в городах ведутся по двум направлениям:

- реконструкция существующих и строительство новых дорог;
- повышение пропускной способности существующей УДС за счет таких мероприятий по организации движения, как изменение схем и режимов светофорного регулирования, организация одностороннего движения, расширение подходов к перекресткам и пр.

Однако прогнозы сохранения высоких темпов автомобилизации и ограниченности бюджетных возможностей говорят о том, что принимаемые меры не могут обеспечить устойчивый и долговременный положительный эффект. Поэтому необходимо применение

целого комплекса мер, доказавших свою результативность в других странах, переживших аналогичный критический период автомобилизации раньше России.

В противном случае, дорожно-транспортная ситуация в городах будет ухудшаться с каждым годом, что неминуемо приведет к замедлению темпов социально-экономического развития, потере инвестиционной привлекательности городов и ухудшению условий проживания.

Последствия нерешенной проблемы:

- увеличение перегруженности улично-дорожной сети и издержек городского сообщества из-за потерь времени;
- рост количества дорожно-транспортных происшествий и издержек, связанных с гибелью, травмированием людей и материальным ущербом;
- замедление пропуска транзита и снижение возможности многих крупных городов реализовать потенциальные выгоды от транзитного положения;
- рост транспортной составляющей в составе цен на товары и услуги и снижение конкурентоспособности местных производителей на внешних рынках;
- ухудшение качества окружающей среды и здоровья населения;
- снижение качества жизни населения в крупных городах.

5.3. Принципы формирования системы государственного и муниципального управления транспортом крупного города

Предлагается решить заявленную задачу с учетом вышеназванных проблем и существующих противоречий, принимая их в качестве постоянно действующих ограничений. Точно таких же, как и существующие финансовые ограничения бюджетных ассигнований, направляемых на создание условий для удовлетворения транспортных потребностей населения. Такой же подход предлагается распространить и на формирование системы управления транспортной системой города. Обратим внимание на проблемы функционирования транспортных систем современных городов, лежащих в сфере социально-экономических взаимоотношений субъектов, вовлеченных в систему транспортных взаимоотношений:

- реформируется сознание людей к новой экономической реальности; не реформируется отношение людей к назначению

и функционированию дорожно-транспортной сферы и связанных с этим общественных отношений;

- изменяется отношение людей ко всем уровням власти в стране; нет понимания о назначении и роли власти (государства и местных органов власти) в решении вопросов удовлетворения транспортных потребностей населения;

- изменяется отношение власти к новым вызовам цивилизации; нет понимания об угрозах, в настоящем и будущем стоящих перед сообществом и окружающей средой от бурно развивающейся транспортной отрасли;

- активно трансформируются, постоянно изменяются и совершенствуются системы управления всеми отраслями промышленности; не существует системы управления в транспортной отрасли; не ясны объекты управления и механизмы их управления;

- во многих сферах управления появляются новые амбициозные цели и задачи; в транспортной отрасли не ясны цели этого управления и способы достижения этих целей.

Вследствие нерешенности перечисленных проблем наблюдается:

- снижение эффективности функционирования действующих транспортных систем городов;

- замедление социально-экономического развития городов;

- отсутствие инструментов планирования и развития территории и бизнеса, хаотичное развитие транспортных систем городов и регионов.

Происходит снижение эффективности функционирования действующей транспортной системы города, обусловленное возрастанием транспортных издержек, с одной стороны, с одновременным значительным увеличением ресурсного потребления системой – с другой.

Это приводит к возникновению социального и природного дисбаланса функционирования транспортной системы на урбанизированных территориях, который, в свою очередь, служит естественным ограничителем развития всех несбалансированных систем.

Именно взаимоотношения различных субъектов, вовлеченных в транспортные процессы, являются определяющими в вопросах эффективного и устойчивого развития транспортных систем городов. Ключевая задача современного этапа в формировании эффективной транспортной системы любого города – формирование эффективной системы управления городским транспортом.

Прежде всего это относится к разграничению полномочий в сфере управления развитием транспортных систем городов между ГИБДД, правительствами регионов и администрациями городов. Подробнее остановимся на вопросах формирования эффективных систем управления в муниципалитетах крупных городов.

Цель любого управления – ликвидация разницы между желаемым и достигнутым результатом. Подобная цель может быть достигнута при помощи современных инструментов планирования и оценки последствий принимаемых решений. Это относится ко всем сферам управления. Еще больше это относится к сферам управления городским хозяйством, в том числе к управлению дорожно-транспортным комплексом.

Анализ существующих систем управления в муниципалитетах крупных городов позволяет сделать некоторые выводы, которые, на наш взгляд, иллюстрируют причины не только неэффективности системы муниципального управления, но и функционирования самих элементов городской инфраструктуры, в частности действующих транспортных систем.

Основной вывод относится к принципам формирования органов управления администрациями крупных городов. На настоящий момент подавляющее большинство исполнительных органов муниципальной власти (администрации городов) сформированы по технологическому признаку. Это означает, что закрепление муниципальных функций управления городским хозяйством происходит на технологическом уровне. Каждый функциональный блок призван не добиваться улучшения каких-либо качественных показателей функционирования систем городского хозяйства, а призван хорошо выполнять некую определенную технологию работ. Это сразу становится заметно по профессиональному составу кадровой обеспеченности каждого функционального блока, формируемого по некой технологической общности.

Технологическая общность распространяется на следующие показатели:

- квалификация специалистов (чиновников функционального блока);
- квалификация подрядчиков (выполняющих заказы данного функционального блока);
- материалы и технологии работ.

Эта же особенность деления прослеживается и на внутреннее деление зон ответственности отдельных структурных подразде-

лений (управлений и отделов) внутри каждого функционального блока. В качестве примера уместно привести следующую структуру одного из функциональных блоков администрации российского города с населением 1 млн. жителей. Схема зон ответственности некоторых структурных подразделений функционального блока «городское хозяйство» в российском городе с населением 1 млн. жителей представлена на рисунке 5.1.



Рис. 5.1. Схема зон ответственности некоторых структурных подразделений функционального блока «городское хозяйство» в российском городе с населением 1 млн. жителей

Рассмотрим деятельность управления благоустройства, зона ответственности которого – всё, что касается чистоты и создания здоровых, удобных и культурных условий жизни населения на территории общего пользования. Уборка улиц и территорий общего пользования, вывоз бытовых отходов, ремонт тротуаров и проезжих частей, благоустройство городских парков и скверов, капитальный ремонт и реконструкция элементов улично-дорожной сети, городские кладбища и т.п.

В составе подразделения специалисты – инженеры в области дорожного хозяйства, дорожной, строительной и уборочной техники. Это типичный пример структурного подразделения, сформированного по технологическому признаку.

Структурные подразделения гораздо четче поделены в своих зонах ответственности технологически, чем функционально. Все, что связано с земельными работами, технологиями их проведения, а также специфическими материалами (грунты, асфальты), отнесено к ведению управления благоустройства.

Такой подход к разделению полномочий и зон ответственности имеет свои преимущества, самое основное из которых – это возможность проведения качественного контроля работ за подрядчиками на всех этапах работ от проектирования до последующего содержания объектов городского хозяйства, находящихся в зоне ответственности управления. В первую очередь, потому что в данном случае и заказ-

чики (муниципальные чиновники), и исполнители (руководители подрядных организаций) являются коллегами и хорошо ориентируются в предметной области (технологиях, материалах, стоимости и сроках проведения работ).

Этот подход в организационной структуре деятельности администрации города оправдывает себя при решении задач содержания и текущего ремонта любых муниципальных объектов, например УДС города. Однако при рассмотрении системных вопросов, например развития того или иного инфраструктурного блока или принятия решений по реконструкции или техническому перевооружению одной или нескольких систем городского хозяйства, возникают серьезные проблемы. Главная проблема заключается в том, что технологические навыки и знания работников одного структурного подразделения не предполагают знания в области назначения и законов функционирования той или иной системы городского хозяйства, работоспособность которой они поддерживают.

Например, специалист с высшим дорожным образованием (руководитель управления благоустройства), как правило, весьма отдаленно имеет представление о назначении транспортной системы города, принципах её функционирования. Это же можно сказать и о парках и скверах, которые являются зонами его ответственности. Потому очень тяжело принимаются управленческие решения в области развития той или иной системы, объектов городского хозяйства и муниципальной собственности. Отсутствие критериев оценки правильности управленческих решений не позволяет в такой структурной иерархии принимать какие-либо долгосрочные перспективные решения в развитие управляемых систем.

Предлагается пересмотр существующих во многих городах принципов формирования органов власти и их подразделений, ответственных за развитие городского хозяйства, основанный на технологических особенностях управления и содержания объектов управления. Вместо модели организационной системы, созданной «по технологическому принципу», предлагается управленческая модель, основанная на «фазовом принципе».

Основная идея предлагаемого управленческого подхода заключается в том, что новая управленческая концепция должна привести к тому, что каждый житель города в каждый момент времени (фазу, период жизни) находится под зоной ответственности соответствующего структурного подразделения органа управления (страны, региона, органа местного самоуправления). На рисунке 5.2 схематично

изображены типичные фазы (периодические и неперiodические) жизни горожанина. Система городского муниципального управления должна строиться таким образом, чтобы внутренне повторять жизнь человека в каждой её фазе.



Рис. 5.2. Схема смены «фаз» жизни горожанина

Предлагаемый подход существенно меняет структуру зон ответственности функциональных подразделений и блоков администрации муниципального образования. На рисунке 5.3 проиллюстрирована измененная схема зон ответственности на примере представленной ранее на рисунке 5.2 схемы. Приведенный пример распределения зон ответственности представлен в отношении зон, непосредственно затрагивающих функционирование городской транспортной системы.

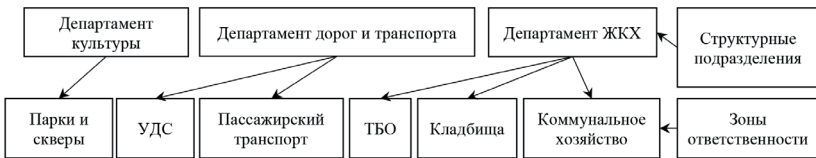


Рис. 5.3. Схема зон ответственности некоторых структурных подразделений нескольких функциональных блоков в новой концепции управления

Очевидно, что в предлагаемой системе значительная часть направлений зоны ответственности управления благоустройства должна быть распределена между функциональными подразделениями:

- Департамент ЖКХ – твердые бытовые отходы, кладбища;
- Департамент дорог и транспорта – проезжие части улиц и тротуары;
- Департамент по культуре – парки, скверы и т.п.

Вторым важным моментом предлагаемой концепции управления является подход к распределению полномочий внутри каждого функционального блока управления. Предлагается распространить принятый на федеральном уровне принцип разделения функциональных и операционных подразделений органов управления. Примером такого распределения может служить принятое на уровне

Правительства Российской Федерации распределение функций министерств и федеральных агентств.

Целесообразно при формировании функциональной иерархии администрации города (а также администрации или правительств региона) и определении зон ответственности каждого функционального блока и структурного подразделения исходить из того, что конечная структура должна состоять из набора функциональных и операционных подразделений и служб.

Принципы внутреннего распределения функционала между указанными выше подразделениями можно проиллюстрировать в следующих основополагающих определениях:

определение 1:

- функциональные подразделения сформированы по фазовому принципу жизни жителя города;
- операционные службы сформированы по технологическому признаку;

определение 2:

- функциональные подразделения несут ответственность перед населением;
- операционные службы несут ответственность перед функциональными подразделениями;

определение 3:

- функциональные подразделения работают с обращениями граждан;
- операционные службы не работают с письмами граждан и не отвечают за уставную эффективность работы функциональных подразделений;

определение 4:

- функциональные подразделения являются распорядителями бюджетных средств выделенных им соответствующими представительными органами власти;
- операционные службы являются распорядителями бюджетных средств, выделенных им функциональными подразделениями;

определение 5:

- функциональные подразделения укомплектованы чиновниками-управленцами;
- операционные службы укомплектованы специалистами-инженерами.

5.4. Концепция управления транспортной системой крупного города

Существующая система основополагающих документов развития территорий может быть представлена как последовательность в виде: концепции, стратегии, плана, программы, схемы. Каждый из документов представленной последовательности решает свою определенную задачу, развивая ее и основываясь при этом на положениях вышестоящего документа.

Такая последовательность хорошо применима к одному объекту исследования либо управления. Но можно рассматривать один и тот же объект с разных сторон его функционирования либо внутреннего устройства.

Остановимся на одном объекте исследования – транспортной системе крупного города. При этом в качестве предмета исследования выберем управление ею. В такой постановке система руководящих документов в отношении выбранного предмета исследования будет выглядеть как:

- Концепция управления транспортной системой;
- Стратегия управления транспортной системой;
- План управления транспортной системой;
- Программа управления транспортной системой;
- Схема управления транспортной системой.

В настоящий момент возникает необходимость в разработке документов не столько в развитие уже принятых документов генерального планирования, сколько в качестве некоего руководства в целях принятия среднесрочных и оперативных решений, направленных на улучшение транспортной ситуации в городе. Требуется разработка максимально функциональных документов как основы принятия управленческих решений в области транспортного планирования города, а также методического документа для органов исполнительной власти, администрации города и главы администрации.

Концепция должна учитывать опыт крупных мегаполисов мира, крупных и крупнейших городов Российской Федерации, отражающий целевые установки органов исполнительной и законодательной власти в сфере транспортной политики, направленной на повышение качества жизни населения, развитие экономики, обеспечение безопасности дорожного движения и оздоровление окружающей среды.

Результатом реализации положений концепции, по нашему мнению, должны стать:

- **стратегии** развития отдельных составляющих дорожно-транспортного комплекса (например, городского пассажирского транспорта);
- **планы** и программы их развития (примерный план реализации генплана в части развития улично-дорожной сети);
- **проекты** их развития (примерные проекты планировки участков улично-дорожной сети);
- **схемы** их развития (примерная схема размещения автомобильных парковок).

Концепция (от лат. *conceptio* – понимание, система) – определенный способ понимания, трактовки какого-либо предмета, явления, процесса, основная точка зрения на предмет, руководящая идея в отношении четырех объектов приложения концепции:

- транспортное планирование;
- организация дорожного движения;
- совершенствование функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования;
- формирование парковочной политики.

Предлагаемая концепция управления транспортной системой вобрала в себя все высказанные в прошлом и закрепленные в виде различных решений, постановлений и распоряжений органов власти различных уровней российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми и Пермского края идеи и предложения по различным вопросам в области транспортного планирования, организации дорожного движения, формирования системного подхода к управлению этими процессами.

Концепция предусматривает создание двухуровневой системы информационного обеспечения развития дорожно-транспортного комплекса города, цель которого – обеспечение органов местного самоуправления достоверной и актуальной статистической и аналитической информацией о состоянии и перспективах развития дорожно-транспортного комплекса.

Системы анализа качества принятия решений основываются на моделировании и прогнозировании движения, которые необходимы для поиска эффективных стратегий управления транспортными потоками, а также поиска оптимальных решений по развитию УДС, проектированию элементов сети, организации движения.

Подготовка и принятие любых управленческих решений в области транспортного планирования и организации дорожного движения должны в обязательном порядке включать в себя в качестве

обосновывающих материалов элементы моделирования дорожного движения.

Главное внимание в концепции уделено двум основным блокам вопросов:

1. совершенствование системы управления развитием дорожно-транспортного комплекса города;
2. совершенствование системы управления развитием системы городского пассажирского транспорта общего пользования.

Разделение на два блока целесообразно в плане привязки системы управления транспортной системой города к положениям основополагающего Федерального закона № 131-ФЗ. В частности, они повторяют идеи разграничения вопросов, относящихся к ведению органов местного самоуправления городов. Эти два вопроса отражены в статье 16 Федерального закона № 131-ФЗ:

«Статья 16. Вопросы местного значения городского округа:

...5) дорожная деятельность в отношении автомобильных дорог местного значения в границах городского округа, включая создание и обеспечение функционирования парковок (парковочных мест), а также осуществление иных полномочий в области использования автомобильных дорог и осуществления дорожной деятельности в соответствии с законодательством Российской Федерации;

...7) создание условий для предоставления транспортных услуг населению и организация транспортного обслуживания населения в границах городского округа [185].

Все воздействия, направленные на повышение качества функционирования транспортной системой города, можно разложить на три уровня:

- управленческий;
- нормативно-законодательный;
- организационно-технический.

Управление осуществляется через четыре группы инструментов управления:

- транспортное планирование;
- организация дорожного движения;
- совершенствование функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования;
- формирование парковочной политики.

Для развития процесса совершенствования системы управления транспортной системой города требуется симметричное совершенствование законодательных основ управления. Концепция пред-

усматривает разработку и принятие целого ряда законодательных и нормативных документов:

- в сфере разработки градостроительной документации и нормативов градостроительного регулирования;
- в области организации дорожного движения;
- в области совершенствования функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования;
- в области формирования парковочной политики.

5.4.1. Приоритеты управления транспортной системой крупного города

Концепция управления транспортной системой крупного города строится на основных базовых положениях, определяющих несколько приоритетов.

Приоритет интересов сообщества людей перед частными интересами

Возможность реализации объективно обусловленных потребностей в перемещении грузов и населения по территории города – общественное благо, которое распределяется органами власти в соответствии с принципом «каждому по потребности». Никакая отдельная группа людей (их объединения и организации) ни при каких обстоятельствах не вправе претендовать на исключительную долю при распределении этого блага в ущерб интересам всего сообщества.

Приоритет пешеходного движения перед транспортным

Транспортное движение не является объективно необходимым для сообщества, оно изначально альтернативно и определяется исключительно задачами повышения производительности перемещения грузов и населения по территории города. Пешеходное движение, в свою очередь, определяется не только необходимостью в перемещении, но и более всего – потребностью каждого отдельного человека в двигательной активности, не связанной с перемещениями.

Приоритет общественного транспорта перед индивидуальным

Транспорт общего пользования, в первую очередь пассажирский транспорт, должен также рассматриваться как общественное благо, распределение которого, в идеале, задача органов власти. Не-

смотря на то, что он в общем случае может не принадлежать сообществу и при этом потреблять общественный ресурс – провозную способность улично-дорожной сети, этот вид транспорта является средством наиболее справедливого и рационального потребления и распределения ресурса.

Приоритет вопросов управления перед вопросами реализации

Построение системы управления транспортным комплексом должно предшествовать любым проектам по его развитию и совершенствованию. Нельзя выстроить механизм, идеально реализующий самые перспективные идеи и планы, но не имеющий системы управления. Нельзя алгоритмизировать, интенсифицировать и автоматизировать процессы управления либо принятия решений, не имея изначально его «ручного аналога». Нельзя оценить качество принятия управленческого решения и нельзя контролировать процессы реализации этих решений, не имея системы управления.

Приоритет интенсивных решений перед экстенсивными

Экстенсивные решения в развитие УДС, сопровождаясь значительными финансовыми затратами на их реализацию, не только стимулируют использование личного транспорта, усугубляя проблему, но и ведут к росту в будущем безальтернативных затрат на содержание растущей сети. Интенсивные решения обратимы, а следовательно, безопасны и наименее затратны.

Приоритет качества информации перед технологиями

Все решения в области транспортного планирования и организации дорожного движения должны быть основаны на анализе качественной информации с применением совершенных алгоритмов, технологий и инструментов ее обработки.

При этом только объем и качество исходной информации при современном уровне развития технологий будет в итоге определять качество выработанных управленческих решений.

5.4.2. Принципы управления транспортной системой крупного города

Предмет управления – жизненная фаза. Все формы жизнедеятельности городского жителя можно разделить на отдельные фазы.

Предметом управления, определяемым настоящей концепцией, будет фаза жизни человека, характеризующая процессы осуществления перемещений городского жителя по территории города.

Объект управления – транспортная система города, в частности дорожно-транспортный комплекс: улично-дорожная сеть, инфраструктура городского пассажирского транспорта общего пользования и его подвижной состав.

Способ управления – жизненный цикл функционирования каждого управляемого объекта. Этот способ предполагает переход от оплаты конкретных работ и услуг к оплате гарантий того, что каждый управляемый объект будет соответствовать некоему набору технико-эксплуатационных параметров в течение определенного периода времени – жизненного цикла. Жизненный цикл при этом целесообразно устанавливать в соответствии с бюджетным периодом.

В качестве иллюстрации данного принципа можно привести технологию оплаты услуг по нанесению разметки на УДС города. Оплата производится не из расчета объемов нанесения разметки, а из расчета показателей качества состояния разметки в течение жизненного цикла разметки (календарный год). В этот период времени подрядная организация в соответствии с муниципальным контрактом обязуется поддерживать в оговоренных в контракте пределах состояние разметки на вверенной территории. При этом контрактом не регламентируется количество циклов и способ нанесения разметки, а также не производится контроль качества нанесения разметки. Контролируется только текущее состояние разметки.

Цель управления транспортной системой города – создание условий для удовлетворения объективно обусловленных транспортных потребностей населения при эффективном использовании имеющихся в распоряжении сообщества ресурсов.

Вся оценка качества вырабатываемых и принимаемых управленческих решений будет рассматриваться в двухкоординатной системе показателей. Они могут быть целевыми и расчетными.

Целевые показатели определяются как цели, обязательства, которые принимают на себя органы местного самоуправления города, и могут быть приняты к соответствующему временному рубежу или на перспективу. Они могут и не приниматься в виде конкретного числового показателя, а представляться в каждый момент времени в виде некой целевой функции, увеличение (уменьшение) которой целесообразно в любых условиях и в любой момент времени.

Расчётные показатели – это показатели, достижение которых обеспечивает достижение целевого показателя и является необходимым для этого условием. На языке математики расчетный показатель – это один из аргументов целевой функции (целевого показателя). Важное и необходимое свойство расчетных показателей – измеримость. Расчетный показатель может быть измерен (получен, рассчитан) на основе натуральных наблюдений за функционированием объекта исследования (транспортной системы).

Целевой показатель – это сокращение времени транспортных корреспонденций всех жителей города.

Расчетные показатели:

- средняя скорость движения по городу на всех видах транспорта;
- доля пассажиропотока на городском пассажирском транспорте общего пользования;
- средняя эксплуатационная скорость движения городского пассажирского транспорта общего пользования.

5.4.3. Управление развитием дорожно-транспортного комплекса города

Основными задачами совершенствования системы управления развитием дорожно-транспортного комплекса города являются:

1. приведение системы управления в соответствие с нормами федерального законодательства, в частности ст. 21 Федерального закона «О безопасности дорожного движения»;
2. разделение зон ответственности за текущее состояние и условия движения по УДС и за разработку и реализацию планов перспективного развития УДС между подразделениями администрации городов в соответствии с вышеизложенными принципами [1].

Формирование муниципальных органов власти

Для реализации положений ст. 21 **Федерального закона «О безопасности дорожного движения»** от 10.12.1995 г. №196-ФЗ, в которой определено, что организация дорожного движения есть функция органа местного самоуправления (в ведении которого находятся автомобильные дороги), предлагается в качестве одного из субъектов управления транспортной системой создание специализированного структурного подразделения администрации города – органа администрации города, уполномоченного в области содер-

жания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения [197].

В итоге **субъектами управления транспортной системой** города должны стать два специализированных структурных подразделения администрации города:

- *орган администрации города, уполномоченный в области градостроительной деятельности;*
- *орган администрации города, уполномоченный в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения.*

Деятельность указанных органов является необходимой и достаточной в области управления транспортной системой.

Основными зонами ответственности органа администрации города, уполномоченного в области градостроительной деятельности, являются:

- разработка общей документации по планировке территорий. В части развития УДС – генеральный план развития города, правила землепользования и застройки территории, проекты планировок УДС (с проектами межевания и установкой красных линий);
- разработка программ реализации генерального плана в части развития УДС города на перспективу генерального плана;
- осуществление мониторинга реализации генерального плана в части развития УДС города.

Основными зонами ответственности органа администрации города, уполномоченного в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения, являются:

- обеспечение информационной основы для принятия решений в области транспортного планирования;
- разработка планов реализации генерального плана в части развития транспортной инфраструктуры города на срок принятия бюджета;
- разработка документации по планировке территории под объектами транспортной инфраструктуры города;
- разработка документации на строительство, реконструкцию, ремонт и содержание объектов транспортной инфраструктуры;
- разработка программ комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ);
- разработка комплексных схем организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом (КСОТ);

- разработка комплексных схем организации дорожного движения (КСОДД) и проектов организации движения (ПОД);
- выполнение функций заказчика на строительство, содержание и реконструкцию элементов УДС;
- обеспечение информационной основы для принятия решений в области организации дорожного движения;
- организация дорожного движения на УДС города;
- формирование парковочной политики;
- создание условий для предоставления транспортных услуг населению;
- разработка схем маршрутной сети общественного транспорта.

Формирование коллегиальных органов управления

Недостатком существующих систем управления дорожно-транспортным комплексом в городах является отсутствие коллегиальных органов управления и действенных механизмов участия общественных организаций и их объединений и граждан в вопросах управления и контроля качества управленческих решений.

В качестве коллегиального органа для решения вопросов разработки и реализации муниципальных целевых программ в отношении объектов приложения концепции, выработки научно-технической политики и совершенствования нормативной базы в области развития транспортной инфраструктуры города предусматривается создание ***Технического Совета по координации развития транспортной инфраструктуры города***. Технический совет действует по образцу имеющихся на сегодняшний день градостроительных Советов при главах крупных городов. Деятельность Технического Совета координируется *органом администрации города, уполномоченным в области градостроительной деятельности*.

Для решения вопросов по любым видам ограничений движения транспорта, как в целом, так и касательно отдельных групп и видов транспорта, в целях обеспечения безопасности дорожного движения, пропускной или провозной способности участков УДС в соответствии со статьей 14 Закона Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 г. № 196-ФЗ, предусматривается создание «Комиссии по оперативному рассмотрению вопросов, связанных с обеспечением режимов движения транспортных средств в городе». За вновь созданной Комиссией закрепляются также полномочия и функции существующей комиссии по безопасности и организации дорожного движения. Деятельность существующей

щей комиссии по безопасности и организации дорожного движения прекращается [197].

Деятельность Комиссии координируется *Органом администрации города, уполномоченным в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения.*

Участие общественных организаций и их объединений

Принимая во внимания рекомендации, изложенные в статье 8. п. 2. Федерального закона «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 г. № 196-ФЗ [197] и статьи 2. п. 5. Градостроительного кодекса Российской Федерации [188]:

Статья 8. п 2. Федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органы местного самоуправления и хозяйствующие субъекты могут привлекать с их согласия общественные объединения к проведению мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения.

Градостроительный Кодекс Статья 2. п 5. ... участие граждан и их объединений в осуществлении градостроительной деятельности, обеспечение свободы такого участия.

Наряду с формированием специализированных муниципальных и коллегиальных органов управления развитием дорожно-транспортного комплекса необходимо создавать условия для участия граждан, общественных организаций и их объединений для решения вопросов управления транспортной системой города.

Принципиальные решения по развитию и организации управления в транспортной системе города принимаются на основе предметной гражданской дискуссии с участием различных слоев населения (сегментированного по признакам транспортного поведения), органов власти и экспертного сообщества.

Участие граждан, жителей города – участников дорожного движения возможно при обсуждении и оценке принимаемых органами местного самоуправления управленческих решений в области:

- градостроительной деятельности, направленной на развитие УДС;
- мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения;
- мероприятий по организации дорожного движения;
- мероприятий по содержанию объектов транспортной инфраструктуры и оценке качества их строительства, контроля потребительских свойств автомобильных дорог и улиц.

Участие граждан общественных организаций и их объединений необходимо для консолидации и координации усилий органов власти, общественности и граждан в выработке и принятии управленческих решений, направленных на совершенствование и развитие транспортной системы города.

Участие граждан возможно на любых этапах подготовки решений в форме общественных слушаний, общественных инициатив, обсуждений, заключений.

Можно по-разному относиться к различным предложениям граждан, но на самом первом этапе необходимо просто дать возможным «быть услышанным». Данное мероприятие будет способствовать снятию раздражения у участников дорожного движения, будет консолидировать действия, потребности и усилия участников дорожного движения, с одной стороны, и задачи различных служб, с другой.

5.4.4. Управление развитием системы городского пассажирского транспорта общего пользования

5.4.4.1. Двойственность услуги по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования

Пункт 7 статьи 16 Федерального закона Российской Федерации от 6 октября 2003 г. N 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» закрепляет за органами муниципального управления городов:

«создание условий для предоставления транспортных услуг населению и организация транспортного обслуживания населения в границах муниципального, городского округа» [185].

Для дальнейшего выстраивания методики формирования эффективной системы управления транспортной системой крупного города потребуется дополнительная формализация понятия «услуга», закрепленного в вышеупомянутом законе.

Транспортное обслуживание населения городским пассажирским транспортом общего пользования предполагает оказание **двух видов услуг:**

1. Услуга по перевозке пассажира городским пассажирским транспортом общего пользования.

2. Услуга по предоставлению гарантии того, что первая услуга будет предоставлена.

Иными словами, кроме получения услуги, выраженной в транспортной работе непосредственно поставщиком транспортной услуги (владельцем транспортного средства, на котором осуществляется перевозка), потребителям услуги важно иметь гарантии того, что такая услуга будет оказана и транспортное средство прибудет на остановку. Подробнее определим понятия поставщиков, потребителей и некоторые иные особенности рассматриваемой услуги.

5.4.4.1.1. Потребители услуги

Потребителем услуги являются все жители города (территории), где это транспортное обслуживание организуется. Именно все жители, а не только пассажиры городского пассажирского транспорта общего пользования.

5.4.4.1.2. Поставщики услуги

Первую услугу предоставляет перевозчик. Вторую услугу предоставляет организатор перевозок. Согласно Федерального закона от 06.10.2003 N 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» [185] и Федерального закона «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 N 220-ФЗ, организатором перевозок является муниципалитет [199].

5.4.4.1.3. Оплата услуги

За оказанную первую услугу платит пассажир. За оказанную вторую услугу платят все жители, осуществляя свои налоговое платежи в бюджет города, осуществляя при этом принцип «кто потребляет, тот и платит».

5.4.4.1.4. Ответственность за оказание услуги

За предоставление первой услуги отвечает перевозчик, как и за предоставление любой другой услуги отвечает тот, кто эту услугу предоставляет. За предоставление второй услуги отвечает муници-

палитет – орган администрации муниципального образования уполномоченный в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения.

Анализируя развитие рынка пассажирских перевозок и организации этого процесса в крупных российских городах, становится очевидно – не существует проблем с предоставлением первой услуги. Есть спрос, соответственно появляется и предложение. Все функционирует по понятным и надежным законам рынка. А вот с предоставлением второй услуги (гарантий) существуют проблемы, прежде всего экономического характера. Перевозчик не только не хочет, но и не может предоставить всем жителям гарантий. У него нет на это средств. Чтобы такие гарантии предоставить всем жителям города нужно иметь бюджет, сопоставимый с бюджетом города. Однако у перевозчика таких возможностей нет. Нет таких возможностей и у муниципалитетов, и у автотранспортных предприятий. А держать в резерве несколько сотен автобусов затратно для бюджета.

Задача построения современной системы транспортного обслуживания населения заключается в стимулировании перевозчиков брать на себя предоставление не только первой, но и второй услуги. И за предоставление второй сообщество готово платить бюджетные деньги. Подобный пакет, состоящий из двух услуг одновременно, в перспективе может предоставлять некая управляющая компания, причем крупная компания, которая, с одной стороны, возьмет на себя все взаимоотношения с перевозчиками, а, с другой стороны, предоставит все гарантии, в том числе и финансовые для, всех жителей города.

5.4.4.2. Виды взаимодействий в системе городского пассажирского транспорта общего пользования

В систему городского пассажирского транспорта общего пользования вовлечены следующие объекты и субъекты (рис. 5.4).

Для выстраивания методики формирования эффективной системы управления транспортной системой крупного города предлагается в обязательном порядке принимать во внимание в качестве равноправных субъектов управляемой системы других участников дорожного движения. Это участники, не являющиеся в определенный момент времени пассажирами ГПТОП (водители индивидуального транспорта, пассажиры индивидуального транспорта, пешеходы). Однако это люди, потенциально являющиеся пассажирами

ГПТОП и потребляющие услугу второго вида, как имеющие гарантии того, что в городе работает система ГПТОП.

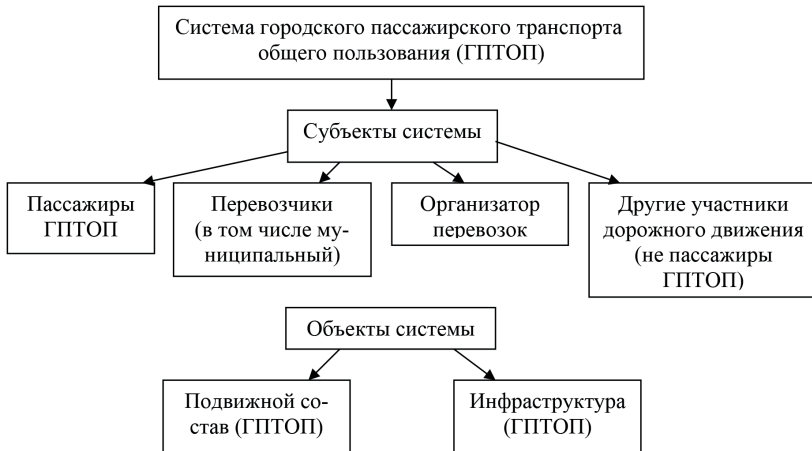


Рис. 5.4. Объекты и субъекты системы городского пассажирского транспорта общего пользования

Субъекты и объекты системы городского пассажирского транспорта общего пользования вовлечены в комплекс взаимоотношений, который, в конечном итоге, формирует качество функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования.

На рисунке 5.5 представлены всевозможные вертикальные взаимодействия между субъектами и объектами системы. Каждое из взаимодействий определяется требованиями к качеству такого взаимодействия. Все взаимодействия можно объединить в четыре группы, каждая группа представляет собой объект наложения требований:

- требования к инфраструктуре ГПТОП;
- требования к подвижному составу ГПТОП;
- требования к объему услуг;
- требования к обеспечению безопасности услуг.

На рисунке 5.5 пунктирными линиями выделены те области взаимодействий, которые по смыслу входят в зону ответственности органов муниципальной власти городов согласно 131 ФЗ [185]. Важным представляется четко ограничивать полномочия органов муниципальной власти в процессе установления и администрирования различных ограничительных функций при каждом взаи-

модействии в системе. Например, область взаимодействий № 4 не является полномочием органов муниципальной власти. Область взаимодействий № 2 только частично является сферой регулирования муниципалитетов и только в части комфорта пассажиров ГПТОП при осуществлении перевозок (например, наполняемость подвижного состава). Остальные параметры регулирования качества подвижного состава также относятся к сфере федерального нормирования, т.к. затрагивают сферу безопасности пассажирских перевозок.

По умолчанию полномочия органов местного самоуправления по решению вопросов местного значения устанавливаются Федеральным законом от 06.10.2003 № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации», отраслевыми федеральными законами, уставами муниципальных образований.

Одновременно допускается возможность перераспределения законами субъекта Российской Федерации полномочий между органами местного самоуправления и органами государственной власти субъекта Российской Федерации (далее – перераспределение полномочий) в случаях, установленных отраслевыми федеральными законами¹⁶.

Отраслевым Федеральным законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» определены полномочия органов местного самоуправления по организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по муниципальным маршрутам регулярных перевозок.

Данные полномочия являются регуляторными и непосредственно направлены на организацию перевозок, например, органы местного самоуправления, согласно данному Закону, устанавливают муниципальные маршруты регулярных перевозок, заключают муниципальные контракты о выполнении работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок по регулируемым тари-

¹⁶ п. 6.2 ст. 26.3 Федерального закона от 06.10.1999 N 184-ФЗ «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации», ч. 1.2 ст. 17 Закона о местном самоуправлении.

фам, ведут реестр муниципальных маршрутов. Данный закон (ч. 5 ст. 2) допускает возможность передачи указанных полномочий на уровень региона. При этом в состав полномочий органов местного самоуправления не включены иные полномочия по созданию условий для предоставления транспортных услуг населению и организации его транспортного обслуживания, в том числе полномочия по созданию и поддержанию в надлежащем состоянии транспортной инфраструктуры.

Возможность перераспределения иных полномочий органов местного самоуправления в сфере организации транспортного обслуживания населения другими федеральными законами не предусмотрена.

Так был принят Закон Челябинской области от 30 декабря 2019 года № 71-ЗО «О перераспределении полномочий по организации регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным маршрутам регулярных перевозок между органами местного самоуправления Челябинского городского округа, Копейского городского округа, Сосновского муниципального района и органами государственной власти Челябинской области», согласно которого все полномочия органов местного самоуправления по организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом перераспределены в пользу региональных властей. Согласно п. 2 ст. 3 Закона Челябинской области от 30 декабря 2019 года № 71-ЗО, «Орган исполнительной власти Челябинской области, уполномоченный Губернатором Челябинской области на осуществление полномочий по организации регулярных перевозок (далее – уполномоченный орган), осуществляет следующие полномочия по организации регулярных перевозок:

1) подготовка документов планирования регулярных перевозок по муниципальным маршрутам регулярных перевозок;

2) установление, изменение и отмена муниципальных маршрутов регулярных перевозок;

...

11) установление регулируемых тарифов на регулярные перевозки по муниципальным маршрутам регулярных перевозок.

12) установление порядка определения юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, участников договора простого товарищества, которым свидетельства и карты муниципальных маршрутов регулярных перевозок выдаются без проведения открытого конкурса».

Еще одним регионом, в котором полномочия органов местного самоуправления по организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом переданы на региональный уровень, является Новгородская область. Законом Новгородской области от 30 сентября 2019 г. N 454-ОЗ «О перераспределении полномочий по организации транспортного обслуживания населения в границах городского округа Великий Новгород между органами местного самоуправления городского округа Великий Новгород и органами государственной власти Новгородской области» полномочия по организации транспортного обслуживания населения в границах городского округа Великий Новгород перераспределены между органами местного самоуправления городского округа Великий Новгород и органами государственной власти Новгородской области.

Аналогичная ситуация в транспортной сфере в Тверской области. Региональным законом от 23 июля 2019 года № 45-ЗО «Об отдельных вопросах организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом на территории города Твери и Тверской области» все полномочия органов местного самоуправления по организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом перераспределены в пользу региональных властей. В то же время иные полномочия, касающиеся организации транспортного обслуживания населения, в том числе полномочия по организации создания новых и реконструкции существующих объектов транспортной инфраструктуры, указанным законом не перераспределяются. Данные полномочия по-прежнему остаются за органами местного самоуправления.

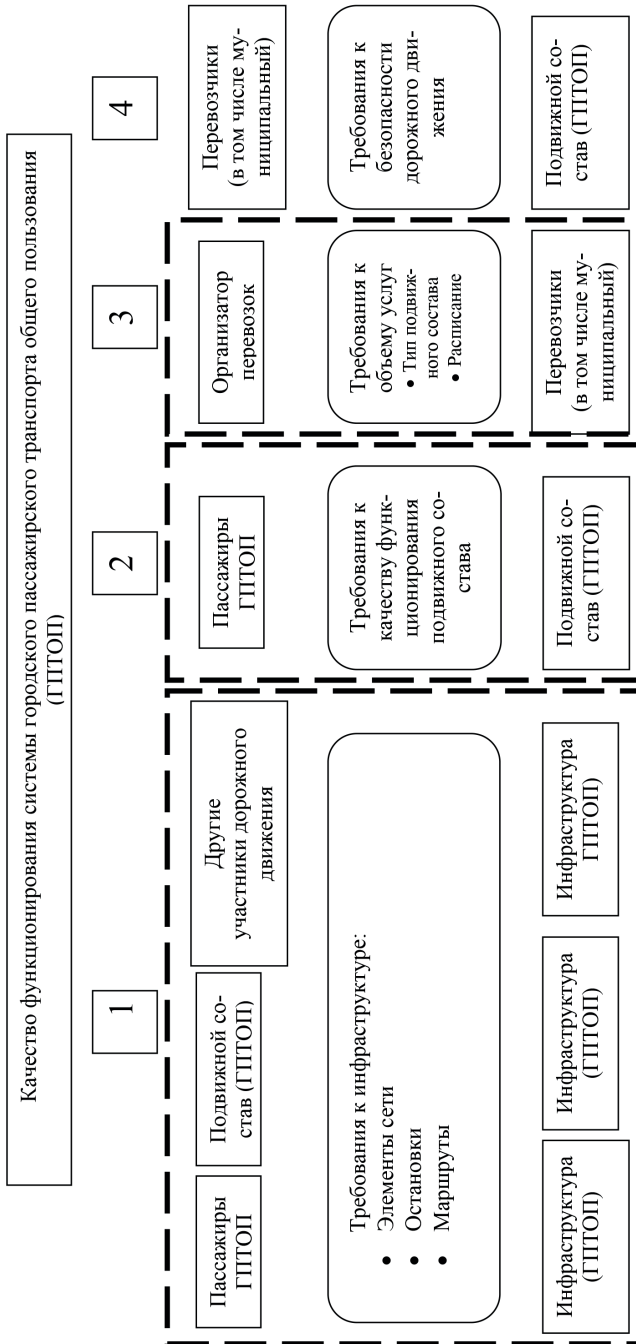


Рис. 5.5. Виды возможных взаимоотношений в системе городского пассажирского транспорта общего пользования

5.4.4.3. Принципы управления системой городского пассажирского транспорта общего пользования

В области принципиальных основ управления работой системы городского пассажирского транспорта общего пользования можно выделить несколько основных положений, реализация которых соответствует предложенным ранее приоритетам развития всей транспортной системы крупного города.

Увеличение доли городского пассажирского транспорта общего пользования в общем объёме пассажирских перевозок. Увеличение доли городского пассажирского транспорта общего пользования и тем более транспорта большой вместимости уменьшает потребности в территориях, снижает стоимость перевозок в сравнении с индивидуальным транспортом, повышает эффективность использования транспортной инфраструктуры в сравнении с использованием подвижного состава малой и особо малой вместимости.

Дифференциация услуг на рынке перевозок городским пассажирским транспортом общего пользования. Личные предпочтения потенциальных пассажиров существенно разнятся, поэтому услуга по их перевозке городским пассажирским транспортом общего пользования должна быть дифференцированной как по объёму, качеству, так и по цене.

Обеспечение конкурентной среды на рынке предоставления услуг городского пассажирского транспорта общего пользования. Конкуренция – это залог качества предоставления услуги, прежде всего конкуренция поставщиков услуги в борьбе за своего потребителя – пассажира. В процессе организации и управления предоставлением услуг по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования конкурентные механизмы применяются на этапе проведения конкурсных процедур при входе перевозчика в систему перевозок ГПТОП.

Введение дифференцированной оплаты за услуги перевозки городским пассажирским транспортом общего пользования. Услуга должна стоить столько, сколько стоит. Эффективным будет поэтапный переход на дифференцированный тариф на предоставляемые услуги в зависимости от территории, объёма услуги и времени её предоставления. С целью исполнения властных полномочий на начальном этапе возможно установление регулируемого предельного тарифа на перевозку на всей территории муниципального образования.

Диверсификация полномочий и зон ответственности в системе управления транспортной системы города. Необходима специализация в системе управления ГПТОП. Приветствуется развитие институтов аутсорсинга в процессах планирования, проектирования, организации, эксплуатации и контроля за функционированием системы городского пассажирского транспорта общего пользования. При этом функции управления в части реализаций властных полномочий должны быть отделены от хозяйственных функций и процесса перевозок.

5.4.4.4. Инструменты управления и регулирования

Процесс перевозки пассажиров в городском пассажирском транспорте общего пользования, как и любой процесс предоставления услуги, регулируется законами Российской Федерации, а также гражданско-правовыми отношениями, возникающими между участниками этого процесса, а именно организатором перевозок, перевозчиком и пассажиром. При определении набора инструментов следует не забывать о двойственности услуги по перевозке пассажиров транспортом общего пользования, о которой мы говорили выше. Если рассматривать первую часть услуги, то сам процесс перевозки пассажиров внутри транспорта общего пользования имеет давнюю историю регулирования и регулируется, в первую очередь, Федеральным законом «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 N 196-ФЗ, Законом Российской Федерации от 07.02.1992 № 2300-1 «О защите прав потребителей», Федеральным законом «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» от 08.11.2007 № 259-ФЗ, а также подзаконными актами, такими как Постановление Правительства Российской Федерации от 23.10.1993 № 1090 «О Правилах дорожного движения».

Что касается предоставления второй части услуги, предоставления гарантий того, что услуга по перевозке пассажира городским пассажирским транспортом общего пользования будет предоставлена, то сравнительно недавно введены в действие Федеральный закон «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 № 220-ФЗ, Федеральный закон «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении измене-

ний в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.12.2017 № 443-ФЗ, а также определенный набор нормативно-правовых актов в их развитие, а именно Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 20.10.2021 № 351 «Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом».

Каждый из этих федеральных законов подкреплён соответствующими санкциями за невыполнение и нарушение отдельных положений законов. Большинство из этих санкций записаны в Кодексе об административных правонарушениях, небольшая часть – в Уголовном кодексе [193,206]. Все эти законы регулируют порядок предоставления **первой** из двух описанных выше услуг по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования, а точнее – **услуги по перевозке пассажира городским пассажирским транспортом общего пользования, которую оказывают предприятия-перевозчики**. Параметры качества и безопасности предоставления этой услуги довольно подробно регламентированы приведенными законами и подзаконными актами.

В процессе предоставления второй части услуги по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования, а точнее – **услуги по предоставлению гарантий того, что перевозка состоится**, органы местного самоуправления испытывают определённые трудности, вызванные в первую очередь отсутствием широкого спектра инструментов для выстраивания качественной системы по ее предоставлению.

В распоряжении муниципальной власти городов для этого есть всего два инструмента регулирования и управления:

1) Федеральный закон «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 N 220-ФЗ, Федеральный закон «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.12.2017 № 443-ФЗ, Федеральный закон «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 N 196-ФЗ и их подзаконные акты, включая Постановление Правительства Россий-

ской Федерации от 23.10.1993 № 1090 «О Правилах дорожного движения».

2) Положение статей Гражданского кодекса Российской Федерации, которые позволяют устанавливать гражданско-правовые отношения между организатором транспортного обслуживания населения и перевозчиками.

Одним из наиболее распространенных способов привлечения предприятий и организаций перевозчика к установлению договорных отношений является либо предоставление бюджетных субсидий на перевозку пассажиров, либо предоплата транспортной работы перевозчику по заранее оговоренному объёму транспортной работы, совершаемой городским пассажирским транспортом общего пользования, принадлежащей перевозчику на маршрутах регулярных перевозок в конкретном муниципальном образовании. Эти инструменты позволяют получать требуемые гарантии и обязательства по предоставлению не только требуемого качества услуги по перевозке, но и необходимых гарантий того, что эта услуга будет оказана.

Весь процесс управления и регулирования предоставления услуг по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования можно во времени разбить на два этапа:

1. Управление процессами привлечения предприятий-перевозчиков к перевозке пассажиров в системе городского пассажирского транспорта общего пользования.

2. Управление процессом контроля за работой предприятий-перевозчиков в маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования.

Что касается организации процесса привлечения предприятий и организаций-перевозчиков к перевозке пассажиров в системе городского пассажирского транспорта общего пользования, можно отметить следующее. Согласно Устава автомобильного транспорта, существуют три вида перевозок: регулярные перевозки, перевозки по заказам и перевозки легковыми такси. Что касается городов, на территории которых реализуется довольно постоянный объём транспортных корреспонденций, в том числе и с трудовыми целями, интересуют в первую очередь регулярные перевозки. Используя терминологию Федерального закона от 13.07.2015 N 220-ФЗ, все регулярные перевозки на территории муниципального образования делятся на два вида: регулярные перевозки по регулируемым тарифам и регулярные перевозки по нерегулируемым тарифам.

С точки зрения стабильности и качества предоставления услуг по перевозке пассажиров гораздо интереснее использование регулируемого тарифа, при котором каждый пассажир заранее четко представляет, а также прогнозирует свои затраты на перевозку в каждый конкретный день и на перспективу. При использовании на маршруте нерегулируемого тарифа, нужно понимать, что такое прогнозирование невозможно в силу того, что перевозчик вправе устанавливать тариф любой и менять его не раз в год, а существенно чаще (раз в месяц, неделю и даже в течение дня).

Организация маршрутов регулярных перевозок по регулируемым тарифам требует от организатора перевозок определённых обязательств. Например, обязательство по пересмотру этого тарифа, который, в первую очередь, привязан к общему уровню жизни в регионе, а также бюджетной обеспеченности жителей данного региона. С другой стороны, при установлении отношений между организатором перевозок и организацией-перевозчиком по предоставлению услуг транспортного обслуживания населения на регулярных маршрутах действуют конкурсные процедуры, которые также можно разбить на две группы. На маршрутах регулярных перевозок по регулируемому тарифу эти конкурсные процедуры происходят на основании положений Федерального закона «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 № 44-ФЗ.

При предоставлении услуг на маршрутах регулярных перевозок по нерегулируемым тарифам такие конкурсные процедуры разрабатываются самостоятельно организатором перевозок и включают нефинансовые требования, обычно определяющие качество подвижного состава, который в будущем будет работать на этих маршрутах. При выборе регулируемого тарифа как основы для привлечения предприятия-перевозчика в систему городского пассажирского транспорта общего пользования существует также два подхода, для которых укоренились два сленговых названия: так называемые «брутто-контракты» и «нетто-контракты». «Брутто-контракты» заключаются в том, что организатор перевозок заранее определяет, авансирует и оплачивает перевозчику определённый объем транспортной работы (обычно в километрах), который необходимо выполнить предприятию-перевозчику определённым типом подвижного состава на маршрутах регулярных перевозок. При этом вся билетная выручка с пассажиров поступает в доход бюджета соответствующего организатора перевозок.

При «нетто-контрактах» такого авансирования не происходит, и предприятие-перевозчик самостоятельно собирает выручку с пассажиров и самостоятельно несёт риски получения прибыли либо убытка при таком способе получения дохода. При этом надо понимать, что в таком случае предприятие-перевозчик напрямую зависит от тарифообразования по регулируемому тарифу, принятому в конкретном регионе либо в муниципальном образовании.

Вторая ступень управления во времени отвечает за управление процессом контроля работы предприятия-перевозчика в маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования. Эта ступень предполагает развитие системы контроля за движением транспортных средств на маршрутах регулярных перевозок, диспетчеризацию, видеонаблюдение и иные способы контроля за соблюдением контрактных обязательств предприятием-перевозчиком.

В этой связи необходимо упомянуть опыт города Архангельска в 2005 году, в котором организация транспортного обслуживания была впервые в России реализована на основании аналога «брутто-контрактов». Перевозчику заранее оплачивались деньги за определённые объёмы транспортных работ, взимание выручки с пассажиров не было задачей конкретного перевозчика, а, соответственно, перевозчик не был заинтересован в самой перевозке пассажиров в транспортном средстве. После введения и оплаты перевозчикам транспортной работы стали фиксироваться довольно необычные способы недобросовестного поведения перевозчиков на маршрутах регулярных перевозок. Например, водитель подъезжал к остановке, но не открывал дверь для посадки пассажиров или водитель не доезжал до остановки, или водитель останавливался не там, где нужно. Это свидетельствовало о том, что конкретный перевозчик не заинтересован в перевозке пассажиров и, соответственно, в его деньгах. С отсутствием должного контроля со стороны организатора перевозок, такая система довольно быстро прекратила своё существование.

Ещё одним действенным инструментом в вопросах установления прозрачных взаимоотношений между организатором пассажирских перевозок (органами местного самоуправления) и предприятиями перевозчика можно отнести процесс формализации предоставления объектов транспортной инфраструктуры городского пассажирского транспорта общего пользования при осуществлении перевозок предприятиями перевозчика.

Этот инструмент еще мало используется в городах и регионах, но вполне возможно, что со временем он может стать одним из ос-

новых инструментов, регулирующих и упорядочивающих взаимоотношения между организатором перевозок (в данном случае собственниками инфраструктуры) и предприятием-перевозчиком.

С целью выстраивания правовых отношений между организатором перевозок и предприятием-перевозчиком по предоставлению в пользование объектов инфраструктуры системы городского пассажирского транспорта общего пользования, на первом этапе потребуется паспортизация объектов сети ГПТОП с целью их последующего выделения в статусе самостоятельного объекта управления, отделенного от территорий общего пользования.

Инфраструктурные ограничения – объективные факторы, определяющие эффективность функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования. К объектам инфраструктуры, на использование которых накладываются ограничения по предельным параметрам их использования, относятся:

- остановочные пункты ГПТОП;
- разворотные площадки и площадки отстоя на конечных пунктах маршрутов ГПТОП;
- выделенные полосы для движения маршрутных транспортных средств.

Соблюдение принципов добросовестной конкуренции между перевозчиками заключается в создании единых (с точки зрения возможных экономических рисков) правил входа в систему городского пассажирского транспорта общего пользования. Согласно этому принципу, каждый перевозчик, уже работающий в системе городского пассажирского транспорта общего пользования либо только привлекаемый на работу, в процессе изменения маршрутной сети должен изначально понимать уровень своих экономических рисков, связанных с процессами развития и изменения маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования. Это касается главным образом перевозчиков, работающих на маршрутах регулярных перевозок по нерегулируемому тарифу, а также перевозчиков, работающих на маршрутах регулярных перевозок по регулируемому тарифу по «брутто-контрактам». Речь идет об экономических рисках, связанных с потерей части объёмов перевозимых пассажиров, связанных с изменением (расширением) маршрутной сети ГПТОП и привлечением в неё новых предприятий-перевозчиков.

Оплата проезда. Тарифообразование. В отсутствие монополии на пассажирские перевозки городским пассажирским транспортом общего пользования процесс тарифообразования на услуги по

транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования не является инструментом стимулирования либо сдерживания развития системы ГПТОП. Развитие системы ГПТОП определяется в первую очередь спросом на услуги, а тариф формируется под воздействием рыночных инструментов.

Задача органов местного самоуправления (ОМС) в процессе формирования и регулирования тарифа – решать внутренние технические задачи управления и развития транспортной системы города. Следует отметить, что это относится только к маршрутам регулярных перевозок, работающих по регулируемому тарифу. Обязательство по установлению тарифа на перевозки пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования решает задачи перераспределения финансовой нагрузки на обе части услуги по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования между:

1. пассажирами ГПТОП и не пассажирами ГПТОП – теми людьми, которые пользуются и первой, и второй частями услуги по транспортному обслуживанию населения, и теми, которые пользуются только второй частью услуги (гарантиями предоставления услуги ГПТОП), не являясь при этом пассажирами общественного транспорта. Следовательно, это распределение финансовой нагрузки между пассажирами и бюджетом муниципалитета.

2. разными пассажирами ГПТОП – теми, которые в разных объемах пользуются первой частью услуги, то есть пассажирами, передвигающимися в процессе реализации своих транспортных потребностей на разные расстояния в соответствии с принципами тарификации услуги по перевозке.

Решение первой задачи формирует макроуровневые принципы оплаты услуг по транспортному обслуживанию населения в городах. С одной стороны, смещая нагрузку в большей части на бюджет и финансируя из него гарантии предоставления услуги, органы местного самоуправления имеют возможность менять спрос на услуги по перевозке пассажира городским пассажирским транспортом общего пользования, тем самым экономя, например, на дорожном строительстве. С другой стороны, если происходит экономия на бюджетных дотациях в систему городского пассажирского транспорта общего пользования и в большей степени перекладывая нагрузку на пассажира ГПТОП, уменьшается спрос на услуги и растет спрос на объемы транспортной инфраструктуры, предназначенной для использования индивидуальным транспортом.

Решение второй задачи предполагает разработку справедливых принципов оплаты услуг городского пассажирского транспорта общего пользования, в первую очередь по объему потребленных услуг.

При равной (или почти равной) удельной себестоимости перевозки пассажира на единицу расстояния (км) для одного вида транспорта конечная рентабельность маршрута определяется пассажирооборотом на маршруте. На маршрутах, связывающих удаленные районы с центром города, пассажирооборот существенно ниже, чем на маршрутах, большая часть которых проложена через центральные районы города. При фиксированной оплате одной поездки на ГПТОП в черте всего города делает менее привлекательными для перевозчиков маршруты, связывающие удаленные районы с центром. С другой стороны, наблюдается экономически оправданный рост предложений услуг ГПТОП в центральных частях городов, что также требует дополнительных ресурсов пропускной способности элементов УДС.

С позиции потребителя услуги – пассажира ГПТОП также наблюдается диспропорция между объемами полученной услуги и стоимостью ее оплаты на маршрутах в центральных частях города и на периферийных длинных маршрутах.

Подобная ситуация не позволяет выстроить систему, с одной стороны учитывающую интересы пассажира общественного транспорта, заинтересованного в оплате строго фиксированной части предоставленной ему услуги, а с другой стороны систему, стимулирующую перевозчиков развивать удаленные маршруты и формирующую механизмы здоровой и справедливой конкуренции между автоперевозчиками.

Дифференциация оплаты услуг городского пассажирского транспорта общего пользования в зависимости от расстояния поездки пассажира призвана нивелировать описанные выше проблемы и несоответствия.

В качестве модели формирования дифференцированной оплаты услуг можно предложить систему, базирующуюся на предложенном в предыдущих главах зонировании территории города. Территория города разделена на 10 транспортных зон. Все зоны сгруппируем в четыре типа:

1. Городской центр (зона 1). Для зон данного типа характерна максимальная деловая активность.
2. Центральные районы, прилегающие к городскому центру (зоны 2-5). Для зон данного типа характерна преобладающая высотная застройка и многофункциональное использование территории.

3. Удаленные районы (зоны 6-8). Зоны данного типа имеют собственные центры деловой и социальной активности. Перспектива – преобразование данных участков в самостоятельные поселения и их автономизация.

4. Обширные участки с низкой плотностью населения (малоэтажные строения) (зоны 9, 10).

Основной принцип определения стоимости поездки пассажира в предлагаемой системе заключается в подсчете количества пересекаемых границ выше обозначенных зон при его следовании от начальной остановки (при его посадке) до конечной остановки (при его выходе из транспортного средства). Следует ожидать существенного усложнения процедуры сбора оплаты проезда и контроля оплаты, на фоне чего возможны трудности адаптации пассажиров ПТТОП к предлагаемой зонной системе оплаты проезда. С целью нивелирования данных негативных ожиданий предлагается на начальном этапе внедрения зонной оплаты проезда использовать переходную систему дифференцированного тарифа. Система заключается в фиксации стоимости проезда на маршруте в зависимости от типа маршрута. В качестве примера можно предложить систему автобусных маршрутов, состоящую из трех типов маршрутов. Для удобства восприятия пассажирами подвижной состав на каждом типе маршрута окрашивается в определенный цвет:

1. зеленые – не пересекают зоны (стоимость проезда – один тариф);
2. желтые – пересекают одну границу зон (стоимость проезда – полтора тарифа);
3. красные – пересекают две и более границ зон (стоимость проезда – два тарифа).

В условиях инфляции рост тарифов – неизбежный процесс. Так происходит во всех отраслях экономики, и перевозки не являются исключением. Однако рост тарифов – это не только мера балансировки расходов и доходов в одном секторе городского хозяйства, но и мера, позволяющая экономить весь городской бюджет, в первую очередь ту часть бюджета, которая расходуется по статье «Городское хозяйство» (строительство и реконструкция дорог, содержание объектов транспортной инфраструктуры).

Для этих целей в городе Перми было разработано довольно обширное тарифное меню. Основное отличие тарифного меню города Перми заключается в существенной разнице между ценой разовой поездки и стоимостью заранее предоплаченной поездки. Идея раз-

работки тарифного меню заключалась в том, чтобы максимально удешевить поездку для тех пассажиров, которые планируют свои передвижения заранее. Например, на год или на три месяца. Для них стоимость поездки будет дешевле, чем в прошлом году (табл.5.3).

Таблица 5.3

Цена одной поездки при пользовании разными продуктами тарифного меню в городе Перми

Гражданские проездные	Стоимость	Разовая поездка	
		4 поездки в будни	2 поездки ежедневно
Разовая поездка по карте	33	33	33
Безлимит на сутки	124	-	-
Безлимит на полмесяца	891	22	29
40 поездок на месяц	1188	-	-
Безлимит на месяц	1683	21	28
Безлимит на 3 месяца	4752	20	26
Безлимит на год	12780	13	18

Таблица 5.4

Цена одной поездки для льготных категорий пассажиров при пользовании разными продуктами тарифного меню в городе Перми

Льготные проездные		Стоимость	Разовая поездка	
			4 поездки в будни	4 поездки в будни
Школьники 5-11 классов, студенты, пенсионеры, малоимущие, многодетные пассажиры	30 поездок на квартал	693	-	-
	Безлимит на 15 дней	693	17	23
	Безлимит на месяц	990	12	16

Тарифное меню начало действовать для жителей города Перми с 10 января 2022 года. В первую неделю действия новых проездных было совершено порядка 500 тысяч оплат с помощью транспортных карт. Недочёты фиксировались примерно в 0,1% случаев от всех поездок, которые за неделю были устранены.

Чем больше и чем регулярнее человек будет пользоваться общественным транспортом, тем дешевле будет для него поезд-

ка. В этом плане тарифное меню можно сравнить с дисконтными картами магазинов, которые стараются привязать конкретного покупателя к конкретному магазину или даже к конкретному продукту. Можно констатировать, что такой подход – это общемировая тенденция. В самом крайнем случае для людей, которые постоянно пользуются общественным транспортом и всю жизнь проживают в одном городе, такая поездка может стать бесплатной. Например, такой режим работы действовал одно время в городе Таллине, где для резидентов, постоянно проживающих в городе, проезд в общественном транспорте был бесплатным, а гости города и туристы платили очень высокую цену за разовую поездку. Надо отметить, что в большинстве крупных европейских городов вообще не существует такого понятия как разовая поездка. Существуют только срочные проездные билеты, минимальный срок действия которых составляет 1 час. Авансирование и оплата поездок вперёд – это, кроме того, существенная экономия городского бюджета за счёт более рационального планирования доходов и расходов бюджета. Одновременно, это и решение многих технических вопросов, связанных с контролем оплаты проезда, работы контролёров, кондукторов, обслуживания специальной техники.

Рациональный тип подвижного состава. Каркасом транспортной системы городов должен стать рельсовый пассажирский транспорт большой провозной способности. Это надземный либо подземный рельсовый транспорт. Для крупных городов – это трамвай, в перспективе генеральных планов городов – скоростной трамвай. Трамвайная сеть должна дополняться маршрутной сетью автомобильного транспорта.

Суточная неравномерность загрузки территории движением определяет тип подвижного состава, действующего на данной территории:

– среднесуточный коэффициент использования пропускной способности действующей инфраструктуры определяет рациональный тип подвижного состава на маршруте;

– суточная неравномерность интенсивности движения (коэффициент использования пропускной способности) определяет возможность смены типа подвижного состава на маршруте в течение суток.

Фиксируемый в течение дня среднесуточный коэффициент использования пропускной способности действующей инфраструк-

туры определяет загрузку инфраструктуры каждого типа городской территории в течение дня (в порядке убывания):

- зона первого типа;
- зоны второго типа;
- зоны третьего типа;
- зоны четвертого типа.

Принципы деления территории крупного города на транспортные зоны указанных четырех типов изложены в разделе 3.2.3.

Существенная суточная неравномерность пассажиропотока определяет целесообразность замены подвижного состава на маршрутах на меньший по пассажироместимости в течение дня. На рисунке 5.6. схематично представлены графики суточной неравномерности использования действующей инфраструктуры в зависимости от типа зон.

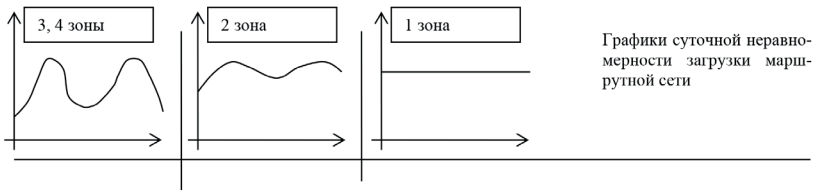


Рис. 5.6. Схематичные графики суточной неравномерности использования действующей инфраструктуры в зависимости от типа зон

Зона первого типа (зона 1) характеризуется постоянным во времени и высоким по значению уровнем использования действующей инфраструктуры. Поэтому для зоны 1 рациональным типом подвижного состава из возможных наземных систем транспорта является трамвай (скоростной трамвай). Для остальных типов зон – автобусы особо большой вместимости, автобусы большой вместимости, автобусы малой вместимости.

Предлагаемое распределение систем транспорта, типа и категорий подвижного состава на маршрутах ГПТОП по зонам представлено на рисунках 5.7 и 5.8. На рисунках кружками разного цвета и диаметра представлены схематично остановки подвижного состава ГПТОП различных систем транспорта, типа и категорий подвижного состава.

Обоснование конкретного типа системы пассажирского транспорта с определенной провозной способностью и вместимостью подвижного состава возможно на основе графического анализа и построения маршрутов в поле транспортного спроса.



Рис. 5.7. Предлагаемое распределение систем транспорта, типа и категорий подвижного состава на маршрутах ГПТОП по зонам в утренний и вечерний «час пик»



Рис. 5.8. Предлагаемое распределение систем транспорта, типа и категорий подвижного состава на маршрутах ГПТОП по зонам в межпиковое время

Определение целесообразности организации транспорта большой провозной способности, например трамвайного движения либо возрождения трамвайного движения в крупном городе, производится с применением прогнозной транспортной модели крупного города. При этом для решения данной задачи достаточно результатов первых двух шагов расчета транспортного спроса: генерации транспортного спроса и распределения транспортного спроса (см. раздел 3.1.2). Такой подход, основанный на первых двух шагах четырехшагового алгоритма, обусловлен тем, что оценивается общий потенциал территории и транспортного спроса для развития транспорта большой провозной способности.

В основе оценки целесообразности организации транспорта большой провозной способности, например трамвайного движения либо возрождения трамвайного движения в крупном городе, лежит поиск потенциальных транспортных коридоров, объем транспорт-

ного спроса, приходящийся на которые, представлял бы экономическую целесообразность организации либо возрождения транспорта большой провозной способности, например организации трамвайного движения вдоль таких коридоров.

Расчет объемов транспортного спроса в произвольном транспортном коридоре осуществляется через определение транспортной зависимости территории внутри транспортного коридора. Для графического анализа распределения транспортного спроса по территории города вся территория крупного города разбивается регулярной сеткой с шагом не более 500 м, для каждой ячейки построенной регулярной сетки производится расчет значения параметра транспортной зависимости.

Для каждого отрезка, соединяющего центры транспортных районов i и j , проверяется его принадлежность выделенному транспортному коридору. Если часть отрезка принадлежит транспортному коридору p , то рассчитывается длина l_{ip} той части отрезка, которая попадает в транспортный коридор.

Центральной точкой потенциального транспортного коридора для трамвайной линии является точка на территории города или ячейка регулярной сетки с максимальным значением транспортной зависимости. Данная точка или ячейка регулярной сетки имеет наибольший транспортный потенциал, как с точки зрения объемов генерации и поглощения транспортного спроса, так и транзитного движения.

В качестве потенциального транспортного коридора для трамвайной линии рассматривается прямоугольный контур. Начало потенциального коридора будет находиться в описанной выше точке территории или ячейке регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости.

Ширина прямоугольного контура потенциального транспортного коридора принимается равной 500 м, что соответствует 250 метровому буферу пешей доступности с двух сторон от предполагаемой трамвайной линии. Указанный размер радиуса пешеходной доступности принят согласно требованиям СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*»: в общегородском центре дальность пешеходных подходов до ближайшей остановки общественного пассажирского транспорта от объектов массового посещения должна быть не более 250 м.

Длина прямоугольного контура потенциального транспортного коридора должна соответствовать средней длине трамвайного марш-

рута в крупных городах. Средняя длина трамвайного маршрута для крупного города составляет 12 км, таким образом, контур потенциального транспортного коридора для трамвайной линии будет иметь размеры $0,5 \cdot 12$ км.

Критерием целесообразности организации трамвайного движения для выделенного потенциального коридора является объем транспортного спроса, соответствующий экономически обоснованному пассажиропотоку для трамвайной линии.

Таким образом, организация трамвайного движения в крупном городе будет целесообразна в случае, если найдется потенциальный транспортный коридор, проходящий через точку территории или ячейку регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости, для которого объем транспортного спроса будет соответствовать экономически обоснованному пассажиропотоку для трамвайной линии.

Возможны два варианта поиска такого транспортного коридора:

1. Транспортный коридор начинается в точке территории или ячейке регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости. В этом случае потенциальный транспортный коридор и трамвайная линия будут соединять один район города с центром города.

2. Транспортный коридор проходит с изломом через точку территории или ячейку регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости (рисунок 5.9). В этом случае потенциальный транспортный коридор и трамвайная линия проходит через центр города и соединяет с центром города два прилегающих к центру района. Такой вариант является минимально возможным вариантом организации или возрождения на территории города маршрута транспорта большой провозной способности.

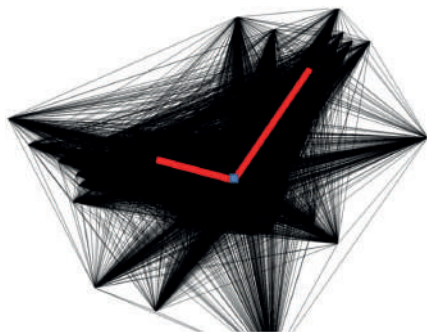


Рис. 5.9. Вариант потенциального транспортного коридора с прохождением с изломом через точку территории или ячейку регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости

Предложенные варианты прохождения потенциальных транспортных коридоров имеют разную точность и разную сложность реализации. Первый вариант наиболее прост в реализации, но сможет пока-

зять целесообразность трамвайного движения только в случае наличия большого транспортного спроса из отдаленного района города. Второй вариант позволит найти конфигурацию транспортного коридора, близкую к реальной трассировке потенциальной трамвайной линии, но более сложен в реализации, т.к. включает наибольшее количество вариантов транспортных коридоров.

Рассмотрим решение задачи поиска локально-оптимального размещения коридоров для возможного движения транспорта большой провозной способности на примере крупного города Российской Федерации с населением свыше 1 миллиона жителей.

Территория крупного города разбивается регулярной сеткой размером 500 м. Для всех ячеек построенной регулярной сетки рассчитывается транспортная зависимость территории.

На рисунке 5.10 представлен пример трамвайной сети в центральной части крупного города, наложенной на графическое представление значений транспортной зависимости для регулярной сетки.



Рис. 5.10. Пример трамвайной сети в центральной части крупного города, наложенной на графическое представление значений транспортной зависимости для регулярной сетки

Для выбранной ячейки регулярной сетки с максимальным значением транспортной зависимости определяется транспортный коридор, проходящий через данную ячейку, имеющий максимальное значение транспортного спроса. Полученное значение транспортного спроса

для выбранного транспортного коридора должно определять экономическую целесообразность организации либо возрождения транспорта большой провозной способности вдоль указанного коридора.

Весь объем транспортного спроса, приходящийся на данный транспортный коридор, составляет:

$$X_p = \frac{G_p}{l_p} = \frac{\sum_{i,j=1}^n x_{ij} \cdot l_{ijp}}{\sum_{i,j=1}^n l_{ijp}} \quad (5.1)$$

Для представленного примера крупного города с населением свыше 1 миллиона жителей – г. Перми – значение объема транспортного спроса, приходящегося на данный транспортный коридор, равняется 550 тыс. чел./сутки.

Для определения пассажиропотока на выбранном коридоре необходимо использовать алгоритм отсеивания транспортных корреспонденций, длина которых меньше средней длины транспортных корреспонденций в выбранном транспортном коридоре (рис. 5.11).

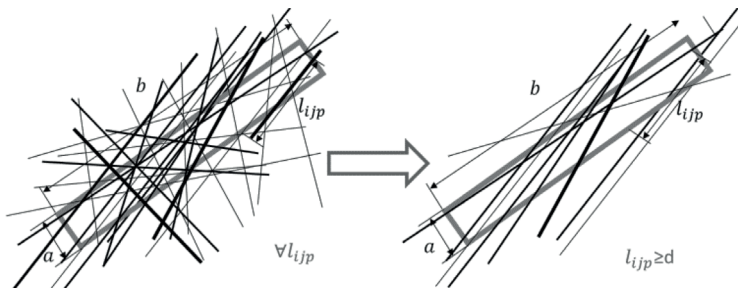


Рис. 5.11. Иллюстрация процесса отсеивания транспортных корреспонденций, длина которых меньше средней длины транспортной корреспонденции в выбранном транспортном коридоре

После процесса отсеивания транспортных корреспонденций, длина которых меньше средней длины транспортной корреспонденции в выбранном транспортном коридоре, объем транспортного равен:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_p = \frac{G_p}{l_p} = \frac{\sum_{i,j=1}^n x_{ij} \cdot l_{ijp}}{\sum_{i,j=1}^n l_{ijp}} \\ l_{ijp} \geq d \end{array} \right. \quad (5.2)$$

где d – средняя длина транспортной корреспонденции в рассматриваемом крупном городе с населением свыше 1 миллиона жителей, км.

Для представленного примера крупного города с населением свыше 1 миллиона жителей – г. Перми – значение объема транспортного спроса, приходящегося на данный транспортный коридор, с учетом длин корреспонденций, превышающих среднюю длину поездки, равняется 36,5 тыс. чел./сутки.

Найденный объем транспортного спроса соответствует всему объему транспортного спроса для всех способов передвижений и видов транспорта, реализуемых на выбранном транспортном коридоре.

Для того чтобы определить долю потенциального пассажиропотока, реализуемого на пассажирском транспорте общего пользования необходимо использовать существующее модальное распределение по способам реализации транспортных корреспонденций в рассматриваемом крупном городе. При этом от найденного общего объема транспортного спроса необходимо найти долю, приходящуюся на транспорт общего пользования. Распределение найденного объема транспортного спроса по видам транспорта с учетом Modal Split в крупном городе на примере г. Перми по данным за 2021 год представлено в таблице 5.5.

Таблица 5.5

Распределение найденного объема транспортного спроса по видам транспорта с учетом Modal Split в крупном городе с населением свыше 1 млн. жителей на примере г. Перми за 2021 год

№ п/п	Параметр	Пассажиропоток, тыс. чел./сутки
1	Объем транспортного спроса всех видов транспорта, приходящийся на найденный транспортный коридор	36,5
1.1	Объем транспортного спроса на общественный транспорт с учетом Modal Split, приходящийся на найденный транспортный коридор	14,6
1.2	Объем транспортного спроса на индивидуальный транспорт с учетом Modal Split, приходящийся на найденный транспортный коридор	21,9
2	Пассажиропоток на существующем трамвайном маршруте №5 в г. Перми	15,4

Интересно отметить, что в представленном примере крупного города с населением свыше 1 миллиона жителей (г. Перми) в марш-

рутной сети есть трамвайный маршрут, соответствующий найденному транспортному коридору – это трамвайный маршрут № 5. Данный трамвайный маршрут имеет наибольшее значение пассажиропотока среди всех трамвайных маршрутов г. Перми. Кроме того, по найденному транспортному коридору проходит большое количество автобусных маршрутов. Таким образом, организация трамвайного движения в г. Перми целесообразна, поскольку удалось найти потенциальный транспортный коридор, проходящий через точку территории или ячейку регулярной сетки с наибольшим значением транспортной зависимости, для которого объем транспортного спроса соответствует экономически обоснованному пассажиропотоку для трамвайной линии, а именно 14,6 тыс. чел./сутки.

Конкурсные процедуры. Конкурсные процедуры являются единственным инструментом привлечения (допуска) предприятий-перевозчиков к осуществлению оказания услуги по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования.

В отличие от аукциона конкурс предполагает наличие определенного количества нестоимостных критериев, что для организации транспортного обслуживания населения представляется наиболее важным. В качестве таких критериев конкурсной документации могут быть указаны различные характеристики, относящиеся к типу используемого подвижного состава, его качеству, цене, удобству, новизне, безопасности и прочим характеристикам, важным для пассажира. Вместе с тем, основной критерий, по которому будет в конечном итоге избран тот или иной перевозчик (организация или индивидуальный предприниматель), имеет ценовое выражение. Следует напомнить, что в зависимости от типа разыгрываемого на конкурсе маршрута (маршрут, работающий по регулируемым тарифам или маршрут, работающий по нерегулируемым тарифам) конкурсные процедуры существенно отличаются. Как указывалось выше, они отличаются, в первую очередь, требованиями законодательства. В частности, для конкурсов на перевозку пассажиров по регулируемым тарифам конкурсная документация должна соответствовать требованиям Федерального закона «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 N 44-ФЗ.

Далее в зависимости от способов расчёта и взаимоотношений организатора перевозок и перевозчика, способов финансовых взаимоотношений и финансовой модели взаимодействия между ор-

ганизатором перевозок и организаций перевозчика (в частности, «брутто-контракты» с полной оплатой транспортной работы или «нетто-контракты» со сбором выручки от продажи билетов перевозчиком) ожидаются существенно разные итоговые значения стоимости контрактов. Так для «брутто-контрактов» предполагается большая цена контракта, которая направляется на авансирование объемов транспортной работы. Для «нетто-контрактов» цена контракта может быть незначительной, а может даже равняться нулю, при этом вся выручка с пассажиров будет собираться самим перевозчиком.

Определение начальной максимальной цены контракта, в любом случае, будет производиться на основе положений Приказа Министерства транспорта Российской Федерации от 20.10.2021 № 351 «Об утверждении Порядка определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом».

При определении начальной (максимальной) цены контракта возможны два случая: плата за проезд пассажиров и провоз багажа подлежит перечислению государственному или муниципальному заказчику («брутто-контракты») или плата подлежит перечислению подрядчику («нетто-контракты»).

В первом случае («брутто-контракты») начальная (максимальная) цена контракта включает максимальную стоимость работы транспортных средств на маршруте, затраты подрядчика (перевозчика) на приобретение, установку и эксплуатацию в транспортных средствах дополнительного оборудования, расходы на оплату услуг автовокзалов и автостанций.

В случае перечисления платы подрядчику («нетто-контракты») начальная (максимальная) цена контракта уменьшается на сумму планируемой платы за проезд пассажиров и провоз багажа, оставляемая в распоряжении подрядчика и субсидий в целях компенсации недополученных доходов от предоставления льгот на проезд пассажиров или части затрат на выполнение предусмотренных контрактом работ.

Максимальная стоимость работы транспортных средств на маршруте, кроме стоимости подвижного состава, включает расходы на оплату труда водителей, расходы на оплату труда работников, выполняющих обязанности кондуктора, отчисления на социальные

нужды от оплаты труда водителей и кондукторов, расходы на топливо, смазочные и прочие эксплуатационные материалы, расходы на износ и ремонт шин, расходы на техническое обслуживание и ремонт. Указанные затраты рассчитываются в пересчете на 1 км пробега. Далее на основе данных о планируемом пробеге определяется максимальная стоимость работы транспортных средств на маршруте за срок действия контракта.

Интересно рассмотреть соотношение разных видов затрат в себестоимости 1 км пробега. Рассмотрим пример расчета стоимости 1 км пробега на примере г. Архангельск для автобуса среднего класса (Таблица 5.6).

Таблица 5.6

**Структура стоимости 1 км пробега на примере г. Архангельск
для автобуса среднего класса**

Статья затрат	Рублей на 1 км пробега	Примечание
Заработная плата водителей	22,18	Зарплата 1 водителя 64,1 тыс. руб. в месяц
Заработная плата кондукторов	14,79	Зарплата 1 кондуктора 42,7 тыс. руб. в месяц
Отчисления на соц. нужды	11,16	
Топливо и ГСМ (газомоторное топливо)	13,78	Стоимость 28,13 руб. за единицу (1 м ³)
Обслуживание и ремонт	15,35	
Прочие затраты	10,92	
Итого себестоимость 1 км	88,18	
Амортизация транспорта	19,74	Стоимость автобуса 10,3 млн. руб.
Рентабельность	9,6%	к себестоимости 1 км пробега
Учет нулевых пробегов	5%	к себестоимости 1 км пробега
Индексация расходов на будущие периоды		Индекс потребительских цен Индекс цен производителей нефтепродуктов Индекс цен на машины и оборудование
Итого стоимость 1 км	121,47	

Из интересных особенностей расчета стоимости пробега подвижного состава в соответствии с положениями Приказа Министерства транспорта Российской Федерации от 20.10.2021 № 351, можно отметить, что основную часть затрат составляют затраты на персо-

нал – зарплаты и отчисления водителей и кондукторов. Затраты данного вида составляют около 40% от общего объема затрат в стоимости пробега подвижного состава. Остальные затраты в примерно равных долях составляют затраты на горюче-смазочные материалы, ремонт и обслуживание, а также амортизация подвижного состава.

Бюджетное субсидирование пассажирских перевозок в городах. Как уже отмечалось ранее, исчерпывающий перечень полномочий и зон ответственности органов местного самоуправления изложен в статье 16 Федерального закона Российской Федерации от 6 октября 2003 г. N 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации». Именно на эти цели расходуется консолидированный бюджет муниципального образования. В Законе не предусмотрено выделение какой-либо отдельной строки полномочий, являющейся приоритетней остальных. Поэтому как п.5, так и п.7 статьи 16 131-ФЗ [190] являются прямыми и равноправными муниципальными полномочиями и соответственно расходными обязательствами местного бюджета. В существующем правовом поле нет никаких объективных причин добиваться «самоокупаемости» либо «безубыточности» работы городского пассажирского транспорта общего пользования. Кроме того, в силу указанной выше двойственной природы услуги по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования потребителями услуги первого и второго вида являются все жители города (все налогоплательщики), в этом плане обязательства по дорожной деятельности и по транспортному обслуживанию населения являются равноправными и обеспечиваются налогами общего покрытия.

Представляется целесообразным рассмотреть в первом приближении эффективность субсидирования обязательств (функционального блока), направленных на обеспечение подвижности населения. Представим в российском городе с населением 1 млн. жителей на примере города Перми баланс размеров субсидий (трат бюджета) на обеспечение этих функций. Бюджет дорожного строительства, реконструкции, ремонта и содержания УДС составляет 10,8 млрд. рублей в год. Бюджет Департамента транспорта, направляемый на оплату транспортной работы системы городского пассажирского транспорта за вычетом выручки от пассажиров, составляет 2,05 млрд. рублей. Сопоставим эти расходы с объемами предоставляемых услуг, выраженные в пассажиро-километрах. Примем допущение о том, что бюджетные ассигнования в ГПТОП

приходятся на реализацию подвижности именно на общественном транспорте, а бюджетные ассигнования в дорожное строительство, реконструкцию, ремонт и содержание УДС идут на реализацию подвижности при помощи индивидуального транспорта. Данное допущение принято для простоты расчетов и анализа. Следует иметь в виду, что траты бюджета на дорожное строительство покрывают также и инфраструктурные запросы системы ГПТОП, в частности систем наземного автомобильного транспорта. Однако в этом случае надо также учитывать, что в общем объеме движения подвижной состав ГПТОП представляет собой лишь 1/21 часть всего транспортного потока в городе, поэтому для нужд подвижного состава ГПТОП существующей дорожной инфраструктуры уже хватает и нет необходимости её наращивать. Итоговые результаты расчета представим в таблице (таблица 5.7).

Таблица 5.7

**Оценочный расчет размеров дотаций (трат бюджета)
на обеспечение обязательств по обеспечению подвижности
населения с помощью индивидуального транспорта
и общественного транспорта**

	Пасс-км в сутки	Пасс-км в год	Субсидии, млн. руб. в год	Размер дота- ций на 1 пасс- км, руб.
Индивидуальный транспорт	10 519 190	3 155 757 000	10 834,8	3,43
Общественный транспорт	3 417 984	1 025 395 200	2 050,0	1,99

Результаты оценочного расчета показывают, что в первом приближении расходы бюджета на предоставление услуг по обеспечению транспортной подвижности населения посредством индивидуального транспорта оказываются в пересчете на единицу оказываемой услуги значительно выше расходов на единицу услуги ГПТОП. Следует предположить, что в крупнейших городах эти показатели будут не столь различны, а в европейских городах цифры удельных трат бюджета на обеспечение транспортной подвижности населения разными способами будут одинаковыми.

Показатель удельных затрат на обеспечение транспортных потребностей населения может также являться индикатором эффективности функционирования городской транспортной системы.

5.4.4.5. Требования к качеству предоставления услуг по транспортному обслуживанию населения городским пассажирским транспортом общего пользования

Услуга по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования связана с использованием механических транспортных средств, представляющих источник повышенной опасности. Потому деятельность по перевозке пассажиров городским пассажирским транспортом общего пользования регламентируется целым рядом законов и нормативных актов федерального уровня, касающихся обеспечения безопасности этого процесса как со стороны подвижного состава, так и со стороны объектов инфраструктуры. При рассмотрении с точки зрения качества и безопасности услуги по организации транспортного обслуживания населения следует отметить, что двойственность этой услуги накладывает дополнительные требования к качеству каждой из частей этой услуги. Конкретные параметры качественных показателей предоставления услуги по организации транспортного обслуживания населения определяются возможностями сообщества (жителей города) оплачивать услуги соответствующего качества. Как было указано ранее, плательщиками услуги выступают не только пассажиры городского пассажирского транспорта общего пользования, но и все остальные жители города. Баланс финансовой нагрузки на пассажиров и на не пассажиров общественного транспорта определяется уровнем субсидирования общественного транспорта и принятым тарифом на оплату услуги по перевозке (рис. 5.12).

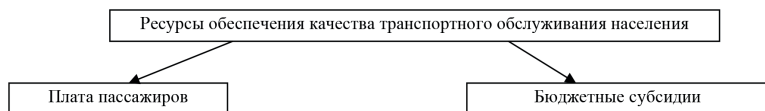


Рис. 5.12. Обеспечение ресурсами параметров качества функционирования системы ППТОП

Параметры качественных показателей предоставления услуги по организации транспортного обслуживания населения разрабатываются *органом администрации города, уполномоченным в области содержания и строительства автомобильных дорог, организации транспортного обслуживания населения*, и утверждаются органом представительной власти муниципального образования. В соответствии с двойственной природой услуги по организации транспорт-

ного обслуживания населения требования к качеству предоставляемых услуг имеют аналогичную структуру (рис. 5.13).



Рис. 5.13. Структура параметров качества услуг по организации транспортного обслуживания населения

Услуги по организации транспортного обслуживания населения предоставляются жителю города еще до осуществления им поездки на ГПТОП. Услуга по организации процесса перевозки обеспечивает гарантию осуществления перевозки. В первую очередь, процессная составляющая этой услуги относится к взаимодействию организатора перевозок и предприятия-перевозчика. Для конечного потребителя этой услуги (жителя города) услуга выражается через информационное обеспечение функционирования ГПТОП, путем доведения необходимой потенциальному пассажиру информации на каждом этапе пользования услугой по перевозке: на остановочном комплексе, в подвижном составе, в информационном пространстве города.

5.4.4.6. Система правоустанавливающих и нормативных документов в сфере организации транспортного обслуживания населения городским пассажирским транспортом общего пользования

Для развития существующего правового поля в области функционирования системы городского пассажирского транспорта общего пользования требуется разработка и последующее принятие ряда нормативных документов местного значения.

Для разработки организационно-финансовой модели регулярных перевозок пассажиров и багажа городским автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом требуется выполнение следующих работ, связанных с созданием

полной и исчерпывающей нормативной базы органа местного самоуправления для целей обеспечения процесса транспортного обслуживания населения:

1. Разработка предложений по формированию организационной модели регулярных перевозок, включающей:

1.1. предложения по организационно-правовой форме заказчика работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок пассажиров автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом по маршрутам регулярных перевозок (далее – заказчик регулярных перевозок);

1.2. предложения по организационно-правовой форме оператора(-ов) регулярных перевозок, обеспечивающего технологические процессы навигационного контроля, диспетчеризации, оперативного управления движением общественного транспорта, функционирования системы оплаты проезда, информационного сопровождения работы общественного транспорта и иных информационных систем, связанных с работой общественного транспорта;

1.3. предложения по распределению функций между органами исполнительной власти, заказчиком регулярных перевозок и оператором регулярных перевозок;

1.4. рекомендации по организации контроля за исполнением контрактов на выполнение работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок пассажиров автомобильным транспортом и городским наземным транспортом по маршрутам регулярных перевозок, а также за оплатой проезда пассажиров и провоза багажа по маршрутам регулярных перевозок.

2. Разработка предложений по формированию финансовой модели регулярных перевозок, включающей:

2.1. предложения по отнесению маршрутов к категории регулируемых и/или нерегулируемых тарифов;

2.2. предложения по внедрению модели организации регулярных перевозок по регулируемым тарифам, при которой плата за проезд пассажиров и провоз багажа подлежит перечислению заказчику регулярных перевозок («брутто-контракты»);

2.3. предложения по формированию схемы финансовых потоков между участниками процесса регулярных перевозок «пассажир – перевозчик – оператор регулярных перевозок – заказчик регулярных перевозок – бюджет»;

2.4. расчет начальной (максимальной) цены контрактов на выполнение работ, связанных с осуществлением регулярных перевозок

ок пассажиров автомобильным транспортом и городским наземным транспортом по маршрутам регулярных перевозок;

2.5. расчет потенциальных доходов от платы за проезд пассажиров и провоз багажа по маршрутам регулярных перевозок;

2.6. рекомендации по формированию регулируемых тарифов на перевозку пассажиров и багажа и системы проездных билетов, предоставляющих преимущество при оплате проезда.

3. Разработка нормативной базы для реализации мероприятий по изменению маршрутной сети регулярных перевозок:

3.1. Разработка утверждаемой части документа планирования регулярных перевозок по муниципальным маршрутам регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом муниципального образования (в соответствии с требованиями федерального закона от 13.07.2015 № 220-ФЗ и Методических рекомендаций по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом, утвержденных Министерством транспорта РФ 30 июня 2020 г.), с учетом действующей нормативной базы на момент исполнения работ.

Утверждаемая часть Документа планирования должна содержать:

– Цели и задачи, решаемые Документом планирования;
– План мероприятий по реализации Документа планирования, включая:

- параметры маршрутной сети на период планирования;
- план-график внесения изменений в маршрутную сеть;
- класс и количество подвижного состава для обслуживания каждого маршрута, расписания движения по каждому маршруту;

- тарифы на перевозки пассажиров и багажа по регулярным маршрутам, тарифные меню; план-график изменений тарифов (при наличии) на период планирования;

- перечень ответственных за реализацию плана мероприятий по реализации Документа планирования.

– План бюджетного финансирования, включающий:

- наименование финансируемого мероприятия;
- прогнозные данные о сборе выручки от платы за проезд и эксплуатационных затратах;

- объём финансирования за весь период и по годам с указанием источников финансирования (федеральный бюджет, бюджет субъ-

екта Российской Федерации, муниципальный бюджет, средства конкретных организаций и индивидуальных предпринимателей);

– Параметры мониторинга реализации и эффективности Документа планирования, в том числе в части реализации Социального стандарта или другого нормативного правового акта исполнительного органа государственной власти субъекта Российской Федерации или исполнительно-распорядительного органа муниципального образования, устанавливающего аналогичные требования к качеству транспортных услуг, оказываемых населению.

3.2. Подготовка изменений в сводный Реестр муниципальных маршрутов регулярных перевозок (в соответствии с федеральным законом от 13.07.2015 № 220-ФЗ) с указанием их основных параметров (в табличном виде): вид транспорта, номер маршрута, названия конечных остановочных пунктов, схема маршрута, протяженность маршрута по направлениям, перечень остановочных пунктов маршрута (указываются последовательно), вместимость транспортных средств, интервалы движения транспорта на маршруте по основным суточным периодам.

3.3. Разработка проекта нормативно-правового акта, касающегося определения видов, типов билетов (в том числе проездных билетов) и тарифов на перевозку пассажиров и багажа на маршрутах регулярных перевозок на территории муниципального образования.

3.4. Разработка проекта нормативно-правового акта, касающегося порядка и правил организации транспортного обслуживания населения на маршрутах регулярных перевозок на территории муниципального образования.

3.5. Разработка проекта нормативно-правового акта, касающегося финансирования работ по муниципальным контрактам на осуществление регулярных перевозок пассажиров и багажа по маршрутам регулярных перевозок на территории муниципального образования.

3.6. Разработка проекта нормативно-правового акта, касающегося формирования реестра контрактов на работы, связанные с осуществлением регулярных перевозок пассажиров и багажа по маршрутам регулярных перевозок на территории муниципального образования.

5.5. Стратегия управления транспортной системой крупного города

На основе проведенных исследований, в условиях сформированной системы управления, требуется выработка стратегии приня-

тия управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы города. Стратегия призвана установить единый алгоритм выработки и принятия управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы города при двух способах управления:

1. Проектное управление;
2. Процессное управление.

Основными документами проектного управления в настоящий момент являются разработанные в городах и принятые к исполнению Генеральные планы в части развития транспортных систем. Генеральные планы городов, если рассматривать их реализацию через различные способы управления организационными системами (табл. 5.1), представляют из себя:

1. Концепцию (руководящая идея);
2. Программу (перечень мероприятий на перспективу генерального плана);
3. Схему (схемы реконструкции и развития отдельных территорий и инфраструктурных элементов этих территорий).

Недостающими в настоящий момент в общей обойме документов являются:

1. Стратегия (методика реализации концепции);
2. План (часть общей программы, принятая к реализации в текущий период).

Разработка и принятие исполнительным органом власти (администрацией города) планов работ на текущий и последующие отчетные (бюджетные) периоды предполагает наличие механизма выбора приоритетов из представленного общего набора мероприятий генерального плана (программы мероприятий). Такой механизм должен установить взаимное соответствие между концептуальными идеями генеральных планов и программными мероприятиями, в них заложенными, а также интерпретировать основные идеи в целевые (числовые) показатели эффективности их реализации с точки зрения затрат бюджета. Таким инструментом является документ под названием: «Стратегия управления транспортной системой крупного города».

Стратегия предусматривает единый порядок выработки и принятия управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы города как в проектном, так и в процессном управлении. Процесс выработки и процесс принятия (выбора) управленческих решений основаны на положениях Главы 4 и Главы 3 соответственно.

5.5.1. Стратегия выработки управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы

Управленческие решения в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы крупного города вырабатываются с целью повышения эффективности функционирования транспортной системы, а следовательно, согласно положениям Главы 1, повышения качества жизни на территории.

Управленческие решения могут быть направлены как на осуществление мероприятий в области изменения транспортного спроса, так и на мероприятия в области изменения транспортного предложения. **К первой группе** относятся мероприятия территориального планирования, находящиеся в сфере регулирования землепользования и застройки территории города:

- комплексное освоение отдельных городских территорий;
- локальные инвестиционные проекты в области строительства объектов различного назначения;
- проекты в области изменения назначения и использования имеющихся объектов городской недвижимости.

Данная группа мероприятий в целях повышения эффективности функционирования транспортной системы города определяет баланс использования территории города с целью снижения общего объема транспортного спроса. На основе транспортного анализа территории (Глава 2) и решения двойственной задачи формирования эффективной транспортной системы (Глава 4) определяются территории, имеющие:

1. Наибольшую разность $|SG_g(i) - SG'_g(i)|$ количества референтных лиц из формул для слоя спроса g в районе i (население, трудящиеся, рабочие места, рабочие места в сфере услуг, студенты, учебные места), образующих слой спроса (табл. 3.1);

2. Наименьшее значение $Y_{2E+3(r-1)+s}$ в каждой зоне. Полученные в результате решения двойственной модели значения оценок транспортной зависимости территории представлены на рисунке 4.28.

Для таких территорий формируется программа мероприятий, направленная на:

1. Выравнивание параметров использования территории города с целью снижения общего объема транспортного спроса.

2. Изменение назначения использования различных объектов (элементов городской структуры) с целью задействования найденных резервов транспортной зависимости территории от транспортных перемещений различных типов.

Ко **второй группе** относятся мероприятия в области транспортного планирования и организации дорожного движения:

- строительство новых и реконструкция действующих объектов транспортной инфраструктуры города;
- организация движения;
- совершенствование маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования.

Данная группа мероприятий определяет оптимальный объем транспортной инфраструктуры города, а также назначение её отдельных элементов с целью эффективного удовлетворения сформированного транспортного спроса.

На основе решения двойственной задачи формирования эффективной транспортной системы (Глава 4) определяются территории, имеющие:

1. Наибольшее значение Y_r , определяющие оценку ресурсного потенциала протяженности транспортной инфраструктуры в зоне, и влияние данного ресурса на целевую функцию качества функционирования транспортной системы города.

2. Наибольшие значения Y_{6E+2+r} и Y_{7E+2+r} , определяющие оценку ресурсного потенциала частотности возникновения ДТП и ущерба от ДТП в зоне (рис. 4.31) и влияние данного ресурса на целевую функцию качества функционирования транспортной системы города.

Для таких территорий формируется программа мероприятий, направленная на:

1. Строительство новых и реконструкцию действующих объектов транспортной инфраструктуры города в зонах с наибольшим значением Y_r . В таких зонах на основе найденных пределов устойчивости соответствующих двойственных оценок (рис. 4.32, правая шкала) определяется максимально необходимый объем ввода в эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры.

2. Организацию движения в зонах с наибольшими значениями Y_{6E+2+r} и Y_{7E+2+r} . В таких зонах требуется разработка мероприятий для снижения рисков возникновения ДТП.

3. Совершенствование маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования в зонах, имеющих найденные значения $Y_r \geq 0$. В таких зонах после определения объемов ввода в эксплуатацию объектов транспортной инфраструктуры требуется определение назначения вводимых элементов транспортной инфраструктуры. В частности, для новых и реконструируемых элементов

УДС города определение назначения участков УДС в соответствии с четырьмя типами:

- объездные/подъездные дороги (артерии);
- общегородские улицы (второстепенные артерии);
- районные улицы (собирающие);
- квартальные улицы (местные).

При этом на всем протяжении в каждой зоне одна улица может иметь разный тип.

Методика определения и назначения типов участков улично-дорожной сети

Типы участков УДС (классификация улиц и дорог) назначают из четырех вышеуказанных типов в зависимости от имеющегося в данной зоне транспортного спроса определенной структуры в соответствии с тремя типами корреспонденций (рис. 4.2):

- АВ – транзит;
- ВС – въезд в зону;
- CD – внутреннее движение в зоне.

Улицы (участки улиц) первого и второго типа должны обеспечивать необходимый объем корреспонденций (см. раздел 4.3.3.2). Соответственно улицы (участки улиц) третьего типа должны обеспечивать необходимый объем корреспонденций, а участки четвертого типа должны обеспечивать необходимый объем корреспонденций.

Обозначим за LZ_{1r} необходимый объем протяженности элементов УДС в зоне, относящихся к первому и второму типам, за LZ_{2r} обозначим необходимый объем протяженности элементов УДС в зоне, относящихся к третьему типу, за LZ_{3r} обозначим необходимый объем протяженности элементов УДС в зоне, относящихся к четвертому типу улиц (участков улиц).

Тогда

$$LZ_{1r} = \frac{G_{r1}}{G_{r1} + G_{r2} + G_{r3}} \cdot L_r \quad (5.3)$$

$$LZ_{2r} = \frac{G_{r2}}{G_{r1} + G_{r2} + G_{r3}} \cdot L_r \quad (5.4)$$

$$LZ_{3r} = \frac{G_{r3}}{G_{r1} + G_{r2} + G_{r3}} \cdot L_r \quad (5.5)$$

где:

LZ_{1r} – необходимый объем протяженности элементов УДС в зоне, относящихся к первому и второму типам улиц, км;

LZ_{2r} – необходимый объем протяженности элементов УДС в зоне, относящихся к третьему типу улиц, км;

LZ_{3r} – необходимый объем протяженности элементов УДС в зоне, относящихся к четвертому типу улиц, км;

L_r – общая протяженность элементов УДС в зоне r , км;

G_{r1} – транспортная зависимость территории зоны r для корреспонденций типа 1 (транзит), чел • км/сутки;

G_{r2} – транспортная зависимость территории зоны r для корреспонденций типа 2 (въезд), чел • км/сутки;

G_{r3} – транспортная зависимость территории зоны r для корреспонденций типа 3 (внутреннее движение), чел • км/сутки.

После определения требуемого объема улиц (участков улиц) различного назначения для каждой зоны выполняются камеральные работы по назначению типов (категорий) конкретным городским улицам и их участкам в каждой зоне при сохранении рассчитанного баланса типов участков в зоне. Каждому типу улиц в зависимости от назначения ставится в соответствие типовой продольный профиль улицы, обеспечивающий это назначение. Каждому продольному профилю улицы назначается список эксплуатационных параметров улицы:

- максимальная часовая пропускная способность;
- разрешенная скорость движения;
- разрешенный состав транспортного потока.

Эксплуатационные параметры улиц в дальнейшем закладываются в прогнозную транспортную модель (см. раздел 3.1.4) с целью получения прогнозного спроса на движение на участках для последующего анализа и выработки эффективных вариантов организации дорожного движения.

Результатом выработки управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы является программа мероприятий в сфере транспортного планирования, организации дорожного движения, совершенствования маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего пользования на период генерального плана города. Программа мероприятий является исходным документом для **выбора** и принятия управленческих решений в указанных областях на каждый бюджетный год в зависимости от текущих возможностей бюджета муниципального образования.

5.5.2. Стратегия выбора и принятия управленческих решений в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы

5.5.2.1. Основные принципы стратегии выбора

Первый принцип: Этапы.

Рассмотрение объектов, определяющих функционирование и развитие транспортной системы города – **от сложного к простому**.

Последовательно рассматриваются три уровня объектов. Исследование проводится в направлении от сложных объектов к простым:

территория (2-мерный объект, полигон) → участки УДС (1-мерный объект, линия) → перекрестки (0-мерный объект, точка).

Приоритеты:

– качество функционирования территории важнее качества функционирования входящих в неё улиц;

– качество функционирования улицы в целом важнее качества функционирования находящихся на ней перекрестков.

Организация дорожного движения и регулирование движения на перекрестках определяется исходя из типов участков улиц, образующих перекресток и их эксплуатационных параметров. Исходными данными проектов организации дорожного движения являются прогнозные интенсивности движения спроса на движение через перекресток.

Второй принцип: Критерии.

Критерии определяются территориями.

Приоритеты:

– самодостаточность каждой городской территории в транспортном плане важнее транспортных связей между территориями;

– транспортная связность территорий друг с другом важнее их транзитного потенциала.

Основной принимаемый **целевой показатель** – выравнивание транспортной обеспеченности территории города (см. раздел 3.2.3).

Расчетные показатели:

– транспортная обеспеченность территории (ТОТ) (мин.);

– транспортная обеспеченность доступа к территории (ТОД) (мин.);

– транспортная обеспеченность транзита через территорию (TOTR) (мин.);

- интегральный показатель качества транспортной системы на отдельной территории (мин.);
- среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций в городе (мин.);
- стоимость реализации проекта (руб.);
- интегральный эффект от реализации проекта (мин./руб.).

5.5.2.2. Методика обоснования выбора

Все проекты, составляющие программу мероприятий в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы города, ранжируются по расчетному показателю – интегральный эффект от реализации проекта (мин./руб.). С этой целью проводится следующая процедура:

1. Исследование транспортной зависимости территории.

а. Для существующего состояния и проектной ситуации формируются два набора значений транспортной обеспеченности территории (ТОТ) для каждой зоны:

$$TOT = \frac{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD} \cdot t_{kCD}}{\sum_k x_{kCD} \cdot l_{kCD}} \quad (5.7)$$

где:

TOT – транспортная обеспеченность территории, мин.;

k – порядковый номер пути типа CD в исследуемой зоне;

x_{kCD} – количество корреспонденций на k -м пути типа CD за сутки;

t_{kCD} – время совершения корреспонденций на k -м пути типа CD ,

мин.;

l_{kCD} – длина k -го пути типа CD , м.

Таблица 5.8

Исследование транспортной зависимости территории

Номер зоны	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Существующее значение ТОТ по зонам, мин.										
Проектное значение ТОТ по зонам, мин.										

б. Проводится сопоставление проектных значений ТОТ по текущему значению. При реализации проектов не допускается увеличение значения показателя ТОТ.

с. Аналогично формируются по два набора значений также для транспортной обеспеченности доступа к территории (ТОД) и транспортной обеспеченности транзита через территорию (ТОТР), которые также сравниваются для существующей и проектной ситуаций.

2. Определение интегральных показателей качества.

а. Для оценки эффекта от реализации проекта используется интегральный показатель качества транспортной системы для каждой зоны, который является линейной комбинацией ТОТ, ТОД и ТОТР. $TI_{cp_i} = \beta_{AB}TOTR_i + \beta_{BC}TOD_i + \beta_{CD}TOT_i$. Весовые коэффициенты слагаемых определяются, как предложено в разделе 3.2.3. Наибольший коэффициент будет у ТОТ, наименьший – у ТОТР.

б. Для всей территории города в целом определяется оценка эффекта от реализации проекта по параметру «среднее интегральное время реализации транспортных корреспонденций в городе»: $TI_{cp} = \alpha_1 TI_{cp1} + \alpha_2 TI_{cp2} + \dots + \alpha_{10} TI_{cp10}$, (раздел 3.2.3). Данный параметр является линейной комбинацией значений интегрального показателя качества транспортной системы для всех зон.

с. Для каждого проекта определяется интегральный эффект от реализации проекта WP^i (мин./руб.), где i – порядковый номер проекта в программе мероприятий.

$$WP^i = TI_{cp}^i / VP^i \quad (5.8)$$

где:

VP^i – стоимость i – го проекта (руб.)

3. Формирование плана.

а. На каждый отчетный (бюджетный) период формируется план мероприятий в области развития и текущей эксплуатации транспортной системы города, включающий мероприятия, имеющие наибольшее значение WP^i . Объем мероприятий из общей программы должен соответствовать имеющемуся объему консолидированного бюджета муниципального образования, выделенного на заданные цели.

5.5.3. Возможные негативные последствия ошибок в управлении развитием городских транспортных систем городов

Анализ текущей и предшествующей градостроительной документации многих российских городов, в том числе и европейских городов, в рыночных отношениях позволяет утверждать, что инерционные приемы проектирования советского периода могут привести к утрате городом устойчивого, стабильного развития.

В мире существуют две разновидности рыночной модели социально-экономического развития. Это «социально-ориентированная модель» и «либеральная модель». Каждая из них с разной долей успешности реализуются в системах государственного устройства, законодательных основах государственности её налоговой политики и системы управления.

Так же и в градостроительстве, в частности в развитии транспортных систем городов можно различить две устойчивые модели развития: «Европейская модель» и «Американская модель».

Первая модель характеризуется высокой плотностью населения, наличием общегородского центра, насыщенного объектами культурного и бытового обслуживания и жильем. При высоком уровне автомобилизации населения транспортное обслуживание основано на разветвленной системе городского общественного транспорта, при этом индивидуальный автомобиль часто исключен из ежедневных трудовых и даже рекреационных корреспонденций.

С другой стороны, «Американская модель» характеризуется рыхлой городской структурой, типичной для большинства средних и крупных городов США. Отличается низкой плотностью населения, отсутствием явного городского центра, преобладанием одноэтажной застройки. При этом наблюдаются значительные ежедневные миграции населения между местами работы, обслуживания и проживания.

Обе эти модели имеют право на существование. Однако, это утверждение справедливо только на настоящий момент. Ряд крупнейших городов западного и восточного побережья США (Нью-Йорк, Вашингтон, Сан-Франциско) нельзя назвать городами с рыхлой структурой застройки и отсутствием явного городского центра. В этих городах плотность населения и мест приложения труда уже не позволяет использовать личный автомобиль для удовлетворения своих транспортных корреспонденций. Вместе с тем, как в старых городах Европы, в мегаполисах США также формируются свои доминанты в городской застройке, которые в конечном итоге являются естественными ограничителями на пути расширения улично-дорожной сети. В таких условиях городское сообщество вынуждено менять свою Американскую либеральную модель развития транспортной системы на Европейскую социально-ориентированную модель. Уже сейчас значительные транспортные издержки городского сообщества в этих городах вынуждают использовать в качестве рычагов управления транспортной системой европейские подходы, призванные сдерживать использование личного автомо-

бия и стимулировать развитие услуг городского пассажирского транспорта общего пользования.

Американская либеральная модель развития транспортной системы в городах опасна тем, что создает растущую нагрузку на инфраструктуру, разрушает исторический центр, наносит ущерб городской экологии, вызывает риски потери устойчивости вследствие возникновения ДТП.

Применительно к градостроительству принцип устойчивого развития подразумевает бережливое использование ресурсов, ограничение освоения новых земель, снижение потребности в использовании транспорта, создание безопасных и комфортных условий проживания для максимального числа горожан.

Существует также две гипотезы трансформации городской структуры при использовании различных инструментов управления развитием транспортной системы города. Следует различать две модели потери устойчивости нормального функционирования города. Они иллюстрируют две крайние стадии потери устойчивости в результате необдуманной транспортной политики. Это появление новообразований, которые можно назвать:

- город – губка;
- город – бублик.

«Город-губка» – это такой город, где бывшие промышленные зоны, заброшенные районы и пространства не используются, не застраиваются заново, в то время как строительство все время ведется на неразработанных территориях, на свободных землях.

При этом в модели управления работает регулятор в виде дифференциации стоимости аренды земли и земельных налогов в зависимости от удаленности от центра. Получение доходов в городской бюджет от повышения ставок налогов на землю в центральных частях городов компенсируется дополнительными затратами на развитие и содержание увеличивающейся транспортной и иной инженерной инфраструктуры. Формирование этого сценария потери устойчивости городской структуры уже началось во многих российских городах. Основным руководящим документом на этом пути становятся правила землепользования и застройки территории города. В большинстве городов основная идея этого документа состоит в резервировании территорий под возрастающие потребности расширения транспортной инфраструктуры города.

«Город-губка» – это результат замкнутого цикла расползания города вширь с одновременной необходимостью резервирования

в центральной части города новых и новых площадей под развитие транспортной инфраструктуры, реализация инфраструктурных проектов на которых откладывается из-за недостатка бюджетного финансирования.

«Город-бублик» – это гораздо более далекая перспектива возможного негативного развития территории и целостности города. Она пока не видна, но хорошо прогнозируема. Данная модель предполагает отсутствие всяких регуляторов управления развитием транспортной системы и является олицетворением либерального пути развития системы – движения по пути наименьшего сопротивления.

В этой модели управления развитием городской структуры не предполагается использование жестких регламентов резервирования территорий под объекты инфраструктуры, отсутствие дифференциации величины земельного налога и т.п. Потеря устойчивости функционирования городской инфраструктуры по этому сценарию начнется как раз не с экономических проблем, связанных с растущими объемами расходования средств на содержание инфраструктуры, а с проблем у самих землепользователей и владельцев недвижимости. Эффективность использования земли в центре таких городов будет снижаться пропорционально росту транспортных издержек на обслуживание этих территорий. После того как объемы этих издержек по доступу к территориям в центре города превысят разницу в стоимости самого земельного участка в центре и на периферии, следует ожидать массовый отток объектов приложения труда и бизнеса из центральной части города. Дальнейший этот процесс приведет к расползанию объектов приложения труда по периферийной территории города.

Нетрудно понять, что транспортная нагрузка центра города от такой передислокации объектов источников и стоков транспортных корреспонденций не только не снизится, но будет увеличиваться – до тех пор, пока не нарушится экономическое единство территории и не образуются вместо одного «бублика» несколько самостоятельных и самодостаточных городских поселения меньшего объема.

Доказательство принятой гипотезы нетрудно провести, имея в распоряжении транспортную модель города. Проведем исследования на транспортной модели российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Для этого изменим модель транспортного спроса города, построив её исходя из того, что в центральном планировочном районе (ЦПР) города отсутствуют места

притяжения транспортных корреспонденций (в нашем случае – рабочие места).

Выполним прогноз функционирования транспортной системы города при новом транспортном спросе, а также при новом транспортном предложении. Новое транспортное предложение будет моделировать замещение выбывающих объектов притяжения транспорта объектами транспортной инфраструктуры до полного удовлетворения транспортных потребностей, то есть станет реализовывать ситуацию развития транспортного предложения в центральной части города путем сноса объектов недвижимости и расширения УДС.

В результате расчетов были получены следующие значения основного интегрального показателя функционирования транспортной системы города – времени реализации транспортных корреспонденций (табл. 5.9).

Таблица 5.9.

Среднее время реализации транспортных корреспонденций

Сценарий	Среднее время реализации транспортных корреспонденций, минут
Существующее положение	44,215876
Без рабочих мест в ЦПР	46,746554
Без рабочих мест в ЦПР с полным удовлетворением транспортных потребностей	46,216085

Полученные значения среднего времени реализации транспортных корреспонденций (увеличение во втором и третьем сценариях) говорят об ухудшении транспортной ситуации по городу в целом. Данную тенденцию можно объяснить тем, что увеличилась средняя длина каждой корреспонденции, так как жители центральной части города стали совершать трудовые и бытовые корреспонденции за пределами центра. Аналогично жители периферийных районов, которые ранее работали или получали бытовое обслуживание в центральной части города, вынуждены совершать корреспонденции в другой периферийный район, вследствие чего их средний пробег также увеличился. Также гипотезу об увеличении среднего пробега подтверждает то, что в третьем сценарии среднее время лучше, чем во втором, но хуже, чем в первом. Это объясняется тем, что в третьем сценарии отбросили фактор снижения скорости движения в ЦПР вследствие возросшей транспортной нагрузки.

Выдвинутая и проверенная на модели гипотеза хорошо иллюстрирует не только пагубность бесконтрольной концентрации объектов притяжения транспортных потоков в центральных частях городов, но также несостоятельность идей о принудительном переносе части объектов притяжения из центра на периферию городов.

5.6. Выводы по главе 5

Система управления сложными техническими системами является ключевым звеном процесса повышения эффективности их функционирования. Имея на территории систему эффективного управления, следует ожидать заказ от этой системы на разработку управленческих решений в области развития транспортных систем, повышения эффективности их функционирования. Не имея системы управления, невозможно реализовать даже самые прогрессивные и эффективные решения.

Предложенная концепция управления находится в существующем правовом поле. Предложенная ранее оптимальная модель формирования эффективной транспортной системы крупного города по набору своих ограничений соответствует основным, рассматриваемым предметам управления, относящимся к вопросам местного самоуправления, согласно Закону № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации».

Предложенные в работе методы и алгоритмы формирования эффективной транспортной системы крупного города, к сожалению, невозможно реализовать в системах муниципального управления большинства крупных российских городов. Наличие в оптимальной модели системной связи ограничений с целевой функцией функционирования транспортной системы не позволит повышать качественные показатели функционирования транспортной системы, осуществляя управленческие воздействия на сферу полномочий и ответственности лишь одного из существующих функциональных блоков управления.

Для решения этой проблемы предложено пересмотреть существующие модели управления: вместо модели организационной системы, созданной по технологическому принципу, предлагается использование управленческой модели, основанной на фазовом принципе, основанном на разграничении зон ответственности в принятии решений между функциональными блоками, в зависимости от основных фаз жизненной активности населения городов. В такой

системе предметом управления является жизненная фаза, а способом управления – жизненный цикл функционирования любого отдельного объекта, составляющего транспортную систему города.

Не касаясь политического устройства системы муниципальной власти, предложенный подход можно применить ко всем отраслям управления городским хозяйством. В этой сфере целесообразно распространить принятый на федеральном уровне принцип разделения функциональных и операционных подразделений органов управления по примеру министерств и федеральных агентств, конечная структура должна состоять из набора функциональных и операционных подразделений и служб.

Сформулированы шесть базовых приоритетов в управлении транспортной системой крупного города. Особое внимание уделено системе управления в области предоставления транспортных услуг населению.

Предложена новая трактовка термина «услуга» в контексте федерального законодательства: транспортное обслуживание населения городским пассажирским транспортом общего пользования предполагает оказание двух различных по своей сути услуг. В главе даётся определение составу услуг, потребителей и поставщиков каждой из них, а также ответственность за их реализацию и оплату.

Стратегия управления транспортной системой крупного города связывает найденные решения оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы города с выработкой, выбором и принятием конкретных управленческих решений, направленных на осуществление как мероприятий в области изменения транспортного спроса, так и на мероприятия в области изменения транспортного предложения.

Выработка управленческих решений и формирование программы развития транспортной системы города основано на анализе полученных двойственных оценок математической модели двойственной задачи, а также анализе пределов устойчивости решения модели.

Выбор и принятие управленческих решений основаны на ранжировании программных мероприятий в области развития транспортной инфраструктуры города в соответствии с показателем интегрального эффекта от реализации мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Происходящий рост городского населения и субурбанизация приводят к увеличению площади территорий городов и агломераций, росту протяженности транспортных коммуникаций, росту транспортного спроса населения и числа поездок, что негативно влияет на эффективность и устойчивость городских транспортных систем.

Во многих случаях в этих условиях недостаточное развитие общественного пассажирского транспорта и низкое качество его услуг ведут к росту численности парка и интенсивности использования личных автомобилей (суммарных годовых пробегов). В результате растут транспортные заторы, наблюдается перерасход топлива и выбросов парниковых газов, других загрязняющих веществ, увеличивается неравенство возможностей доступа к объектам, услугам, территориям.

В связи с необходимостью преодоления этих противоречий в последнее десятилетие в городах и мегаполисах России (по примеру зарубежных стран) произошло изменение транспортной парадигмы – от преимущественного развития улично-дорожной сети (УДС), парковочного пространства для легкового автомобильного транспорта к пешеходному движению и средствам индивидуальной мобильности (транспорту последней мили) с целью повышения качества городской среды обитания. По мнению авторов, в провинции парадигма преимущественного развития легковых автомобилей в качестве основного вида городского транспорта сохранилась.

В транспортной парадигме, указанной в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, ориентированной на качество жизни населения, важной

задачей является обеспечить максимально комфортный и безопасный доступ к другим людям, местам притяжения бизнеса, услугам и т.д. Объектом внимания общества, властей и ученых все в большей степени становится не транспорт, как таковой, а понятия, связанные с его функционированием: мобильность, доступность, связанность (территорий), устойчивость и справедливость. Скорость доставки/сообщения, как критерий эффективности работы транспортных систем, начинает играть все меньшую роль по сравнению с такими критериями, как время, точность и безопасность доставки.

Все эти вопросы в той или иной степени нашли отражение в данной монографии, в которой предпринята попытка комплексно, с позиции качества жизни оценить функционирование транспортных систем в крупных городах. В работе использован подход к транспортной системе города как к природно-технической системе, описано её назначение, цель и ограничения функционирования.

Сформулирована основная функция транспортной системы крупного города как части информационной системы. Целевым критерием при рассмотрении функционирования транспорта города предложено рассматривать качество жизни на территории. Качество жизни населения городов определяется через качество среды обитания и качество (полноту) удовлетворения их жизненных потребностей, в первую очередь, социальных, престижных и духовных. Определена роль транспортной системы в решении задачи повышения качества жизни в городе.

Разработана оригинальная методика пространственного анализа территории города с точки зрения оценки её транспортного потенциала. Предложенные в ходе анализа универсальные подходы к оценке характера распределения элементов городской структуры, влияющих на транспортный спрос, позволили расчетным путем сформировать требуемые для создания прогнозных транспортных моделей массивы информации, касающиеся распределения транспортной подвижности населения по территории города. Проведенный пространственный анализ различной территориально распределенной информации о городской структуре показал наличие потенциальных проблем действующей транспортной системы. Это касается исследования объектов городской структуры, формирующих транспортный спрос.

Исследованы закономерности функционирования транспортной системы крупного города и транспортного поведения его жителей. Параметры транспортной подвижности населения предложе-

но формализовать по аналогии с крупными городами европейских стран, прошедшими уровень взрывной автомобилизации значительно раньше крупных городов России. На основе анализа статистической информации об основных параметрах функционирования транспортных систем городов с высоким уровнем автомобилизации получены закономерности транспортного поведения жителей крупных российских городов на перспективу.

Разработаны научно-методические основы построения прогнозных математических моделей транспортного спроса и транспортного предложения в крупных городах. Исследование особенностей разработки и последующей актуализации транспортных моделей позволило сформировать стройную и последовательную стратегию их создания. Предложенная технология построения четырехшаговых прогнозных транспортных моделей позволила создать информационную основу для создания математической модели оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города. Предложенная структурная схема решения задачи позволила связать отдельные шаги алгоритма расчета модели, массивы необходимых исходных данных и набор определяющих соотношений.

Предложена многоуровневая система показателей оценки качества функционирования действующих транспортных систем городов. Анализ распределения транспортного спроса по исследуемой территории проведен с использованием показателя «транспортная зависимость территории». Для оценки качества функционирования транспортной системы города предложен новый подход, связанный с введением и количественной оценкой нового показателя «транспортная обеспеченность территории», который позволил выявить на всей исследуемой территории зоны равной транспортной обеспеченности, а в качестве цели городской транспортной политики сформулировать выравнивание транспортной обеспеченности отдельных городских территорий. В число показателей оценки качества функционирования транспортной системы города предложено ввести дополнительные характеристики, определяющие специфику функционирования транспортных систем отдельных территорий, а также обобщенные интегральные показатели функционирования всей транспортной системы.

Приведена методика постановки оптимизационной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города. Для решения оптимизационной задачи построена оптимальная мо-

дель математического программирования – модель линейного программирования. Предложено использовать теорию математического программирования (инструменты постановки и решения оптимизационных задач линейного программирования) для решения задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города. Построены оптимальные модели прямой и двойственной задачи, представлено решение и последующий анализ решения оптимальных моделей распределения транспортного спроса на примере российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми. Сформулировано решение соответствующей двойственной задачи линейного программирования, благодаря которому создан инструмент, позволяющий оценить имеющиеся в распоряжении сообщества различные ресурсы, с точки зрения их запасов и вклада (влияния) на эффективность транспортной системы города, а следовательно, и качество жизни.

Разработаны принципы управления транспортной системой крупного города в условиях действующих ограничений на основе замещения существующей модели управления городским хозяйством, созданной по технологическому принципу, управленческой моделью, основанной на фазовом принципе. В такой системе управления предметом управления является жизненная фаза, а способом управления – жизненный цикл. Жизненный цикл функционирования любого отдельного объекта, составляющего транспортную систему города. Концепция управления формулирует шесть базовых приоритетов в управлении транспортной системой крупного города и дает определение двойственности услуги по транспортному обслуживанию населения. Стратегия управления транспортной системой основана на анализе решения математических моделей прямой и двойственной задачи формирования эффективной транспортной системы крупного города, а также на разработке программных и плановых мероприятий в соответствии с разработанными критериями качества функционирования системы.

Следует отметить, что в последние годы доступность, функциональная эффективность, экологичность, безопасность становятся главными факторами развития транспортных систем, так как создаются условия для быстрого и комфортного перемещения грузов и пассажиров при помощи платформенных решений в рамках единой цифровой информационной среды, открытого дизайна и территориального планирования, а также совершенствования конструкций транспортных средств, инфраструктуры, логистических технологий.

Фактор экологической устойчивости, низкоуглеродного развития транспорта на среднесрочный период становится определяющим в большинстве экономически развитых стран, в том числе и в России.

Стремительно развивающиеся информационно-коммуникационные технологии преобразовали жизнь каждого человека, сделав ее более комфортной, информационно насыщенной, раздвинув горизонты общения и виртуального взаимодействия между людьми до планетарных масштабов. Внедрение этих технологий кардинально меняет содержание транспортно-логистических, телематических, транспортных и информационных услуг, функций и навыков водителей всех и, прежде всего, подключенных и автономных автомобилей.

Комбинация мультимодальности, распространения электромобильности, развертывания интеллектуальных транспортных систем, автономности и совместного владения (шеринга) ТС (в том числе автомобилей, велосипедов, самокатов) ведет к созданию нового уровня мобильности и качества жизни людей, прежде всего в городах. Автомобиль (его салон) становится комфортной средой для текущих дел и отдыха человека, открывает широкие возможности для мобильных сервисов с учетом геолокации, а транспортная парадигма смещается в сторону мобильности как сервиса. Новые транспортные технологии требуют изменения привычных стереотипов транспортного поведения, навыков управления транспортными средствами, исходя из условий обеспечения безопасности и экологической устойчивости дорожного движения. Данное обстоятельство также требует целенаправленного управления мобильностью, то есть транспортным спросом.

Эти новые вызовы и проблемы на пути развития городских транспортных систем возможно решить только при создании и совершенствовании расчетных прогностических математических моделей и решении оптимизационных транспортных задач на предпроектной стадии использования широко распространенных моделей транспортного моделирования – на этапе обоснования и формирования большого количества достоверных и верифицируемых исходных данных. Этой цели и посвящена данная работа.

Авторы не оставляют надежды, что приведенные в монографии методические подходы и расчетные модели получат развитие и будут способствовать формированию в городах эффективных, комфортных, экологически устойчивых и безопасных транспортных систем.

Список литературы

1. *Якимов М.Р.* Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах: монография / М.Р. Якимов. – Пермь: Изд-во Перм. Гос. Техн. Ун-та, 2011. – 175 с.
2. *Михайлов А.Ю.* Анализ прогнозов генерального плана Иркутска и транспортных обследований 1995 – 1998 гг. // Город: прошлое, настоящее, будущее- Сб науч. тр. ИрГТУ – Иркутск: ИрГТУ, 2000. – С. 217 – 220.
3. *Катица С.П.* Гиперболический путь человечества. М.: Издательский дом ТОНЧУ, 2009. – 128 с.
4. *Якимов М.Р.* Транспортные системы крупных городов. – Пермь: Издательство ПГТУ, 2008. – 184 с.
5. *Кондаков И.М., Ниловец М.Н.* Экспериментальное исследование структуры и личностного контекста локуса контроля // Психологический журнал, № 1, 1995.
6. *Якимов М.Р.* Транспортное планирование: просто о сложном. М.: Университетская книга, 2016, 64 с.
7. *Милютин Н.А.* Соцгород. Берлин: изд. DOM Publishers, 2008.
8. Распоряжение Правительства Москвы № 1176-ПП «О разработке предпроектных предложений на строительство в Москве плотного объекта с использованием научных технологий и концепции «ЭлСити».
9. *Блинкин М.Я., Гордеев С.Э.* Почему этот город едет? Субъективные заметки о транспортной системе города Куригиба. <http://www.archnadzor.ru/?p=1240#more-1240>, 2008/.
10. *Шубенков М.В., Шубенкова М.Ю.* Биотехносферный подход к проектированию современных градостроительных систем // Методы. – С. 193-196.

11. *Ваксман С.А.* Проблемы развития и организации функционирования транспортных систем городов // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния /Материалы VIII международной (11 екатеринбургской) науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2002.-с.10-15.
12. *Вучик В.Р.* Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Издательство Территория будущего, 2011. – 576 с.
13. *Высоковский А.А.* Удобный город: три уровня созидания // Российское экспертное обозрение // № 4-5 (22) 2007, с. 71-74.
14. *Гончарук О.В.* Экономическая эффективность транспортно-технических систем. – М.: Наука, 1991. – 128 с.
15. *Гутнов, А.Э., Глазычев, В.Л.* Мир архитектуры. Лицо города. М.: Молодая гвардия, 1990.
16. *Ставичний Ю.А.* Транспортные системы городов / Ю.А. Ставичний – М.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
17. *Трофименко Ю.В., Якимов М.Р.* Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: моногр. – М.: Логос. – 2013. – 464 с.
18. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер с англ. / В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
19. *Гольц Г.А.* Гужевого транспорт и гужевые пути сообщения России (со II в. до 1917 г.). М.: ИНП РАН, 2005).
20. *Дубелир Г.Д.* Городские улицы и мостовые. Киев, 1912.
21. *Дубелир Г.Д.* Планировка городов. СПб, 1910.
22. *Зильберталь А.Х.* Проблемы городского пассажирского транспорта. – М.-Л.: Гострансиздат, 1937.
23. *Зильберталь А.Х.* Трамвайное хозяйство. М.-Л.: Гостехиздат, 1932. 188 с.
24. *Шелейховский Г.В.* Композиция городского плана как проблема транспорта. М., 1946.
25. *Серд И.* Теория городской дорожной сети, 1861.
26. *Горев А.Э.* Информационные технологии и средства связи на автомобильном транспорте. – СПб.: СПбГАСУ, 1999. – 162 с.
27. *Горев А.Э., Олещенко Е.М.* Организация автомобильных перевозок и безопасность движения.- М.: ИД Академия, 2006. – 256 с.
28. *Зырянов В.В.* Логистические системы управления общественным транспортом. Диссертация на соискание ученой степени канд. экон. наук (спец. 08.00.05). – Ростов-на-Дону, 2001.

29. *Зырянов В.В., Кериди П.Г.* Применение микромоделирования для прогнозирования развития транспортной инфраструктуры и управления дорожным движением/ Дороги России XXI века. – 2009. – №3. – С. 37-40.
30. *Зырянов В.В., Кочерга В.Г.* Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения/ Транспорт Российской Федерации. – СПб. – 2011. – №1. – с. 28-33.
31. *Зырянов В.В., Миронюк В.П., Шабанов А.В.* Методы формирования региональных транспортно-логистических систем: Учебное пособие. – Ростов -н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2004.
32. *Зырянов В.В., Санамов Р.Г., Голенецкий Ю.В.* Опыт развития пассажирского транспорта в Ростове- на- Дону. Учебное пособие. Ростов н/Д: Рост, гос.строит.ун-т, 2003. 144 с.
33. *Коноплянко В.И., Богачев В.М., Гуджоян О.П., Зырянов В.В., Гомоненко Ю.В.* Информационные технологии на автомобильном транспорте. – М.: Изд. МАДИ (ГТУ), 2002. – 223 с.
34. *Левашев А.Г, Михайлов А.Ю., Головных И.М.* К вопросу уточнения критериев, используемых при проектировании режимов регулирования // Вест, стипендиатов DAAD. – Иркутск: ИрГТУ, 2004. – С. 21 – 26.
35. *Левашев А.Г., Михайлов А.Ю., Головных И.М.* Проектирование регулируемых пересечений: Учебное пособие – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
36. *Миротин Л.Б.* Интегрированная модель транспортной системы регионов Российской Федерации / Л. Б. Миротин, О. Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 1. – С. 25-27.
37. *Миротин Л.Б.* Концептуальные основы развития транзитного потенциала автотранспортной системы региона / Л. Б. Миротин, О. Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – № 3. – С. 5-6.
38. *Миротин Л.Б.* Логистика. Общественный пассажирский транспорт: учебник для студентов экономических вузов / Л.Б. Миротин, В.Д. Герами, В.В. Зырянов и др. Под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2003. – 224 с
39. *Миротин Л.Б.* Логистическая основа функционирования систем / Леонид Миротин, Анатолий Покровский, Азамат Эгембердиев // Мир транспорта. – 2007. – № 4. – С.16-22
40. *Миротин Л.Б.* Особенности логистического сервиса при функционировании систем товародвижения / Л. Б. Миротин, С.А. Кузнецов // Интегрированная логистика. – 2009. – № 4. – С. 18-20.

41. *Миротин Л.Б.* Технологии мультимодальных и интермодальных перевозок / Миротин Л.Б. // Грузовое и пассажирское автотранспортное хозяйство. – 2007. – № 8. – С.26-28.
42. *Миротин Л.Б.* Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах: монография / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов и др. Под ред. Л.Б. Миротина. – М: Горячая линия-Телеком, 2010. – 704 с.
43. *Мартьяхин Д.С.* Проектирование городских улиц и дорог: учебно-методическое пособие / Д.С. Мартьяхин, А.В. Косцов, С.С. Мордвин. – М.: МАДИ, 2018. – 68 с.
44. *Михайлов А.Ю.* Восстановление матриц корреспонденций на основе данных интенсивности движения/Сб. обзорной информации: Транспорт. Наука, техника, управление М.:ВИНИТИ, 2003. – № 7. – С. 30-34.
45. *Михайлов А.Ю.* Интегральный критерий оценки качества функционирования улично-дорожных сетей // Известия ИГЭА. – Иркутск: БГУЭП, 2004. – С. 50 – 53.
46. *Михайлов А.Ю.* Проектирование городских улиц и дорог. / Учебное пособие. – Иркутск: ИрГТУ-ИрДУЦ, 1998. 111 с.
47. *Михайлов А.Ю., Головных И.М.* Модель оценки пропускной способности улично-дорожной сети //Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сб. докл. 5-я междунар. конф. – С. Петербург: СПбГАСУ, 2002. С. 229 -231/.
48. *Михайлов А.Ю., Головных И.М.* Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.
49. *Михайлов А.К., Головных И.М., Лагерева Р.Ю.* Оценка существующей матрицы корреспонденции на основе данных интенсивности движения //Вестник КП У. – Красноярск: ИПЦКГТУ, Вып. 35, 2004. С. 183 – 190.
50. *Коноплянко В.И.* Основы управления автомобилем и безопасность дорожного движения: учеб. пособие / В.И. Коноплянко, В.В. Зырянов, Ю.В. Воробьев. – М.: Высш. шк., 2005. – 271 с.: ил.
51. *Коноплянко В.И.* Основы безопасности дорожного движения. – Москва: Издательство ДОСААФ, 1978.
52. *Бабков В.Ф.* Дорожные условия и безопасность движения: Учебник для вузов.– М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
53. *Бабков В.Ф., Андреев О.В.* Проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1979. – 407 с.

54. *Луканин, В. Н. Трофименко Ю.В.* Промышленно-транспортная экология: Учеб. для вузов / под ред. В. Н. Луканина. – М.: Высшая школа, 2003. – 273 с.

55. *Сильянов В.В.* Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008г. – 352 с.

56. *Герامي В.Д.* Методология формирования системы городского пассажирского общественного транспорта: Дис. на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 2001. – 416 с.

57. *Самойлов Д.С.* Научные основы организации пассажирского транспорта в городах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 1972.-40 с

58. *Герامي В.Д., Миротин Л.Б., Ташибаев Ы.Э.* Логистика: общественный пассажирский транспорт: учебник для студентов экон. вузов / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М. : Экзамен, 2003. – 222 с.

59. *Сафронов Э.А.* Транспортные системы городов и регионов./ учеб. пособие для вузов. – М.: Изд- во Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2005. – 272 с.

60. *Михайлов А.Ю., Лагерева Р.Ю.* Робастное восстановление матриц корреспонденции/Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах Сб. докл. 6-я междунар конф. – СПб: СПбГАСУ, 2004. – С. 232-234.

61. *Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В.* Автотранспортные потоки и окружающая среда 1, 2.- М.: ИНФРА-М, 1998, 2001. – 408 с.

62. *Сильянов В.В.* Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977.

63. *Герامي В.Д., Дукаревич Г.В.* Организация и управление городскими пассажирскими автомобильными перевозками: Учеб. пособие. – М. : МАДИ, 1994. – 144 с.

64. *Самойлов Д.С.* Городской транспорт.- М.: Стройиздат, 1983. – 384 с.

65. *Семенов В.В.* Математическое моделирование динамики транспортных потоков.М.,2004.

66. *Александр К. Э., Руднева Н.А.* Скоростной рельсовый транспорт в градостроительстве. – М.: Стройиздат, 1985. – 140 с.

67. *Ларин О.Н.* Развитие транзитного потенциала автотранспортных систем регионов: научная монография / О.Н. Ларин, А.П. Приходько, В.Д. Шепелёв, А.А. Кажаяев. – М.: ВИНТИ РАН, 2010. – 344 с.

68. *Ложкин В.Н.* Загрязнение атмосферы автомобильным транспортом. Справочно-методическое пособие, НПК «Атмосфера», – СПб, 2001.

69. *Трофименко Ю.В., Якимов М.Р.* Отчет по проекту № 2.1.2/2654 «Разработка научной методологии обеспечения техноферной безопасности автотранспортного комплекса (АТК)», Москва, Московский автомобильно-дорожный институт, 2009. – 236 с.

70. *Донченко В.В.* Проблемы обеспечения устойчивости функционирования городских транспортных систем: Монография. – М.: ИКФ «Каталог», 2005. – 184 с.

71. *Корчагин В.А.* Инновационная экоэкономика: Монография; в 2-х ч. Ч. I. Фундаментальные основы равновесия между окружающей средой и экоэкономикой. – Липецк: Изд-во ЛЭГИ, 2009. – 130 с.

72. *Трофименко Ю.В., Якимов М.Р.* Новый подход к транспортному планированию и организации дорожного движения в крупных городах (на примере г. Перми) // Проблемы устойчивого развития городского транспорта в Российской Федерации: материалы конференции, посвященной 80-летию ОАО «НИИАТ». – 2011. – С. 80-95.

73. *Федоров В.П.* и др. Анализ проблем транспортной системы центра крупного города: опыт применения методов математического моделирования / В.П. Федоров, О.М. Пахомова, Л.А. Лосин, Н.В. Булычева // Управление развитием территории. 2009. № 4. с. 18-25.

74. *Филимонов С.* Аварийность в денежном измерении // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2007. – № 2.

75. *Власов В.М., Ефименко Д.Б., Постолиит А.В.* Информационное обеспечение автотранспортных систем: Учебное пособие / под ред. В.М. Власова. – М., 2004. – 242 с.

76. *Власов В.М., Жанказиев С.В., Николаев А.Б., Приходько В.М.* Телематика на автомобильном транспорте / МАДИ(ГТУ). – М., 2003. – 173 с.

77. *Власов В.М., Николаев А.Б., Постолиит А.В., Приходько В.М.* Информационные технологии на автомобильном транспорте / под общ. ред. В.М. Приходько. – М.: Наука, 2006. – 283 с.

78. *Кажаев А.А.* Вопросы моделирования движения общественного транспорта в муниципальных образованиях / А.А. Кажаев, О.Н. Ларин, С.В. Томилов // Транспорт Урала. – 2011. – № 3(30). – С. 24–27.

79. *Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б.* Организация дорожного движения: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

80. *Поляков А.А.* Городское движение и планировка улиц. – М. – Л.: Госстройиздат, 1953. – 251 с.
81. *Поляков А.А.* Организация движения на улицах и дорогах. – М.: Транспорт, 1965. – 376 с.
82. *Фишельсон М.С.* Критерии оценки качественного уровня работы городского пассажирского транспорта. – М.:Транспорт, 1974. – 119 с.
83. *Фишельсон М.С., Михайлов А.Ю.* К вопросу выбора критерия оценки качества организации движения на регулируемых пересечениях магистральных улиц // Мат-лы семинара: Пути повышения эффективных мероприятий по повышению безопасности дорожного транспорта. Ленинград. – 1981. – С. 40 – 44.
84. *Хейт Ф.* Математическая теория транспортных потоков (перевод с английского).— М.: МИР, 1966.
85. *Дрю Дональд Р.* Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 1972.
86. *Михайлов А.Ю., Попова Е.Л., Гайворонский И.Л.* Анализ методик расчета пропускной способности пересечений в одном уровне // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 12 (143). С. 231-238.
87. *Зырянов В.В., Загидуллин Р.Р.* Методика оценки и выбора варианта организации движения транспорта при проведении масштабных массовых мероприятий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 2. С. 43-47.
88. *Владимирова Т.А., Никитин Н.Н., Попов А.М., Соколов В.Г.* Экономическая эффективность новых технологий в развитии наземного транспорта. Препринт. Новосибирск: Изд. СГУПС, 2004. – 72 с.
89. *Гасанова М.А.* Транспорт в региональном народнохозяйственном комплексе. М.: Наука, 1989. – 96 с.
90. *Донченко В.В., Кунин Ю.И., Сазонова Г.М.* Влияние автомобильного комплекса на окружающую природную среду РФ в 2006 году: аналитические материалы к разделу «Транспорт и связь» Государственного доклада « О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 2006 году». – «Автополис-плюс», 2008. – 76 с.
91. *Корчагин В.А., Ляпин С.А.* Методические основы управления потоковыми процессами на автомобильном транспорте: Учебное пособие.- Липецк: ЛГТУ, 2007. – 246 с.
92. *Корчагин В. А. Ушаков Д.И., Филоненко В.Ю.* Оценка эколого-экономической эффективности автомобильного транспорта. – Липецк: ЛЭГИ, 2007. – 160 с.

93. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Постановка оптимизационной задачи распределения транспортного спроса в транспортных системах городов / Сборник трудов II Международного экологического конгресса «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов», Тольяттинский государственный университет, Тольятти, 2009. – С. 11 – 22.

94. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Постановка, результаты и анализ решения математической модели формирования эффективной транспортной системы крупного города (на примере Перми) / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов // Вестник МАДИ. – 2011. – № 3(26). – С. 60-65.

95. Кондратьев В.Д. Модели и методы управления безопасностью дорожного движения: Дис. на соискание ученой степени доктора технических наук. – Воронеж, 2008. – 213 с.

96. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.

97. Бугаев А.С., Буслаев А.П., Яшина М.В. Дорожное движение в мегаполисах: проблемы и перспективы решения. Часть 1. Общие вопросы. – М.: Технополиграфцентр, 2009. – 184 с.

98. Буслаев А.П., Новиков А.В., Приходько В.М., Таташев А.Г., Яшина М.В. Вероятностные и имитационные подходы к оптимизации автодорожного движения. – М.: Мир, 2003.

99. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. М.: Транспорт, 1983.

100. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения. – М.: Высшая школа, 2007. – 384 с.

101. Швецов В.И. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей / В. И. Швецов, А.С. Алиев. –М.: URSS, 2003 –64 с. –ISBN 978-5-354-00385-3.

102. Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Асташова Е.Г., Асташов Н.А. Математическое моделирование динамики автотранспортных потоков и вызываемого ими загрязнения атмосферного воздуха в автомобильных тоннелях // Научно-технические технологии. – 2003. – Т.4. – № 9. – С. 29-43.

103. Смирнов Н.Н., Киселев А.Б., Никитин В.Ф., Юмашев М.В. Математическое моделирование автомобильных потоков на магистралях // Вестн. МГУ. Сер. 1. Матем. Механ. – 2000. – № 4. – С. 39-44.

104. Киселев А.Б., Кокорева А.В., Никитин В.Ф., Смирнов Н.Н. Математическое моделирование автотранспортных потоков на ре-

гулируемых дорогах // Прикл. матем. и механ. (ПММ). – 2004. – Т. 68. – Вып. 6. – С. 1047-1054.

105. *Киселев А.Б., Кокорева А.В., Никитин В.Ф., Смирнов Н.Н.* Математическое моделирование движения двухполосного автотранспортного потока, регулируемого светофором // Вестник МГУ. Сер. 1. Матем. Механ. – 2006. – № 4. – С. 35-40.

106. *Киселев А.Б., Кокорева А.В., Никитин В.Ф., Смирнов Н.Н.* Математическое моделирование движения автотранспортных потоков методами механики сплошной среды. Исследование влияния искусственных дорожных неровностей на пропускную способность участка дороги // Современные проблемы математики и механики. Том I. Прикладные исследования /под редакцией В.В. Александрова и В.Б. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 311-322.

107. *Стрельников А. И.* Моделирование транспортных систем на начальных стадиях градостроительного проектирования. Автореф. дис. на соиск. учен. ст. канд. техн. наук. М., 1978.

108. *Якимов М.Р., Попов Ю.А.* Транспортное планирование: Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM. М.: Логос, 2014, 200 с.

109. *Harris B. and Wilson A. G.* Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models // Environment and Planning A. – 1978. – Vol. 10. – pp. 371-388.

110. *Рорков Ю.С.* Microsystems theory and its applications. Berlin. Springer – Verb. – 1995.

111. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах, Росавтодор, Москва 2003, утверждено распоряжением Минтранса России от 19.06.2003 г. № ОС-555-р.

112. *Fotheringham A.S.* A new set of spacial-interaction models: the theory of competing destinations // Environment and Planning. – 1983. – Vol. 15. – pp. 15-36.

113. *Fotheringham A.S.* Modelling hierarchical destination choice // Environment and Planning.

114. *Algers S., Daly A., Kjellman P., Widert S.* Stockholm model system (sims): Application // 7th World Conference of Transportation Research. Sydney, Australia. – 1995.

115. *Rossi T., Shiftan Y.* Tour based travel demand modelling in the u.s. // Proceeding of the 8th IFAC /IFIP/ IFORS Symposium on Transportation Systems. Chania, Greece. – 1997.

116. *Якимов М.Р.* Оптимизационные задачи транспортного планирования // Транспорт и сервис. 2014. № 2. С. 67-73.

117. *Якимов М.Р.* Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: моногр. – М.: Логос. – 2013. – 188 с.

118. Optimal Models used to Provide Urban Transport Systems Efficiency and Safety / M.R. Yakimov // Transportation Research Procedia. – 2017. – Vol. 20: 12th International Conference Organization and Traffic Safety Management in large cities, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. – P. 702-708.

119. *Yakimov M.* Technologies for restoring the OD matrix elements based on the results of processing video materials obtained from the quadcopters // International Journal of Engineering & Technology. Vol 7, No 2.28 (2018). – P. 230-233.

120. *Якимов М.Р.* Оптимальные модели формирования и развития транспортной системы города / Н.М. Левда, М.Р. Якимов // Вестник ИНЖЕКОНА. Серия: Экономика. – Санкт-Петербург. – 2010. -Выпуск 3(38). –С. 231-238.

121. *Якимов М.Р.* Математическое моделирование распределения транспортного спроса в транспортной системе города // Транспорт: наука, техника, управление – 2010. – № 10. – С. 7-13.

122. *Канторович Л.В., Горстко А.Б.* Оптимальные решения в экономике. – М.: Наука, 1972. – 231с.

123. *Воронин А.А., Мишин С.П.* Оптимальные иерархические структуры. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 210 с.

124. *Якимов М.Р., Арепьева А.А.* Транспортное планирование: Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах. М.: Логос, 2016, 280 с.

125. *Левашев А Г., Михайлов А.Ю.* К вопросу об организации движения на регулируемых пересечениях // Роль предприятий и отраслей транспортной системы и связи в социально-экономическом развитии региона – Сб. научн. тр – Иркутск. БГУЭП, 2003. – С. 89 – 96.

126. *Петров В.Ю., Петухов М.Ю., Якимов М.Р.* Анализ режимов работы улично-дорожной сети г. Перми. Пермь: ПГТУ, 2004.

127. *Петров В.Ю., Якимов М.Р.* Геоинформационная система по эксплуатации и развитию транспортного комплекса региона. / Научные разработки и изобретения Пермского государственного технического университета: реферативный сборник. – ПГТУ, Пермь, 2003.

128. *Врубель Ю.А.* Организация дорожного движения: в 2 ч. – Часть 2. – Мн: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 326 с.

129. Организация дорожного движения в городах / метод. пособие. Ю.Д. Шелков, Б.А. Ткаченко, В.Е. Верейкин и др. / Под общ. ред. Ю.Д. Шелкова. НИЦ ГАИ. – М.: Транспорт, 1995.

130. *Кирзнер Ю.С.* Измерение эффективности системы пассажирского транспорта города. //Городской транспорт и организация движения. – Свердловск, 1973. С. 123-130.

131. *Кирзнер Ю.С.* Оценка качества транспортного обслуживания населения города и его районов. М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, 1976. 44 с.

132. *Ставничий Ю.А.* Цели и задачи разработки транспортных систем на различных стадиях градостроительного проектирования: Повышение качества транспортно-планировочных решений в градостроительном планировании. М., 1977.

133. *Пугачёв И.Н.* Развитие транспортной инфраструктуры города – путь вывода экономики на траекторию уверенного роста / Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск: Перспективы и направления развития транспортной системы. – 2007. – С. 57-61.

134. *Лукинский В.С.* и др. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие / Под ред. В. С. Лукинского. – СПб.: Питер, 2008. – 448 с.

135. *Лукинский В.С.* и др. Транспортировка в логистике. Учебное пособие. – СПб, СПбГИЭУ, 2005 г.-109 с.

136. *Лукинский В.С., Пластуняк И.А., Штин А.А.* Использование логистических принципов для повышения эффективности внутригородских автомобильных перевозок // Экономический механизм регулирования инвестиционной деятельности в сфере городского хозяйства и недвижимости: Сб. на-уч. тр. – СПб.: СПбГИЭУ, 2004. – с.192 – 194.

137. *Спирин И.В.* Городские автобусные перевозки : Справочник. – М.: Транспорт, 1991. – 238 с.

138. *Спирин И.В.* Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.В. Спирин. – 5-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.

139. *Спирин И.В.* Перевозки пассажиров городским транспортом. Справочное пособие.- М.: Академкнига, 2004. – 413 с.

140. *Медоуз Донелла, Рандерс Й., Медоуз Деннис.* Пределы роста, М.:ИКЦ «АКАДЕМКНИГА». – 2008. – С. 344.

141. Статистические данные параметров подвижности и уровня использования различных видов транспорта для городов Герма-

нии, предоставлены компанией Poyry http://www.shell.de/home/content/deu/aboutshell/our_strategy/mobility_scenarios.

142. Якимов М.Р. Исследование параметров транспортной подвижности населения городов Германии, Италии и России // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 4 (28). – С. 21-28.

143. Ставничий Ю.А. Транспортные системы крупных городов США: Обзор / ЦНТИ – М., 1979 г.

144. Якимов М.Р. Движущие силы и ограничения развития транспортных систем городов / М.Р. Якимов // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы юбилейной XVI Междунар. (девятнадцатой екатеринбургской) науч.- практ. конф.. – Екатеринбург: Изд-во АМБ. – 2010. – С. 104-114.

145. Троицкая Н.А., Чубуков А.Б. Единая транспортная система? М.: Академия, 2009, – 240 с.

146. Большой энциклопедический словарь иностранных слов / Сост. А.Ю. Москвин. – М.: ЗАО Издательство Центрполиграф: ООО «Полюс», 2003. – 816 с.

147. Высоковский А.А. Уют-не герой Текст// Жилище в России: век XX. Архитектура и социальная история. Монографический сборник.-М.: «Три квадрата», 2001.- С.116-121.

148. Ваксман С.А. Изучение подвижности населения для обоснования градостроительных решений // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. – Екатеринбург: 2006. – С. 38-40.

149. Якимов М.Р. Расчетный метод формализации исходных данных для построения модели транспортного спроса на передвижения с учебными целями // Журнал «Вестник Иркутского государственного технического университета». – 2011. – № 3 (51). – С. 132-138.

150. Fancello Distribuzione commerciale e trasporti in Italia. Metodo e manual per le previsioni di mobilita, Milan,2005, p.340.

151. Петров В.Ю., Якимов М.Р. Транспортные модели городов – Современное состояние и инновации транспортного комплекса: материалы междунар. науч. техн. конф. г.Пермь 17-18 апр. 2008, в 2 т, Т.II – с.234 – 246.

152. Филиппова Р.В. Экономическая оценка издержек, связанных со временем транспортных передвижений городского населения / Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук, Москва, 2020.

153. *Шлиппе И.И.* Анализ подходов к экономической оценке свободного времени населения. // Национальные и международные финансово-экономические проблемы автомобильного транспорта. МАДИ. Сборник научных трудов. Выпуск третий – 2018. С. 3 – 11.
154. *Regirer S.A. Smirnov N.N., Chenchik, A.E.* Mathematical model of moving collectives interaction: Public transport and passengers. Automation and Remote Control.- 2007. – vol. 68. – No 7. – P.1225-1238.
155. *Якимов М.Р.* Анализ влияния различных сценариев развития транспортной системы крупного города на возможные варианты нарушения целостности городской структуры. Журнал «Вестник транспорта Поволжья» 2011 №1 (25) С. 18-24.
156. *Якимов М.Р.* Методика оценки транспортного потенциала городской территории // Материалы международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». С.-Петербург, СПбГАСУ – 2010 – С – 333-337.
157. *Якимов М.Р.* Методика оценки эффективности реализации транспортного спроса на урбанизированной территории / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов // Транспорт Урала. – Екатеринбург. – 2010. – № 3. – С. 34-39.
158. *Ляшенко И.Н., Карагодова Е.А., Черникова Н.В., Шор Н.З.* Линейное и нелинейное программирование: Учебное пособие / Ляшенко И.Н., Карагодова Е.А., Черникова Н.В., Шор Н.З. ; под общ. Ред. И.Н. Ляшенко. Киев: Вища школа, 1975. – 372 с.
159. *Гасс С.* Линейное программирование (методы и приложения). – М.: физматгиз. 1999. – 299 с.
160. *Якимов М.Р.* Разработка системы мониторинга выбросов автомобильного транспорта в атмосферу крупных городов. Автореф. дис. канд. техн. наук: 03.00.16. – Пермь, Пермский государственный технический университет, 2004. – 24 с.
161. *Якимов М.Р.* Система прогнозирования состояния загрязнения атмосферы г. Перми выбросами автомобильного транспорта // Известия ТулГУ – 2003. – Выпуск 7. – С. 46-52.
162. Директива 2002/49/ЕС Европейского парламента и совета от 25 июня 2002 г. относительно оценки и контроля шума окружающей среды.
163. Правила и стандарты по защите от шума на дорогах, издание 1990 года (RLS-90).
164. *Yakimov M.* Methods for assessing road traffic accident risks with changes in transport demand structure in cities // Transportation Research Procedia. – 2020 – Vol. 50. – P. 727-734.

165. *Врубель Ю.А., Капский Ю.А., Кот Е.Н.* Определение потерь в дорожном движении: монография. – Мн.: БНТУ, 2006. – 240 с.
166. *Капский Д.В.* Прогнозирование аварийности в дорожном движении – Мн.: БНТУ, 2008. – 243 с.
167. *Жданов В.Л.* Метод оценки безопасности техногенной опасности транспортных потоков на улично-дорожной сети города. Москва – 2008.
168. *Yakimov M.* Methods for spatial analysis of city structure distribution to estimate city agglomeration boundaries // *Transportation Research Procedia*. – 2018 – Vol. 36. – P. 794-800.
169. *Yakimov M.R.* Solving the problem of finding the locally optimal placement of corridors for the possible movement of transport of large carrying capacity // *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO*. – 2021 – Conference Proceedings.
170. *Yakimov M.R.* Methodology for substantiating the indicators of economic entities to solve the problems of determining their reliability and stability in the organizational network // *Aip conference proceedings. scientific conference on railway transport and engineering (RTE 2021)*. – 2021 – Conference Proceedings.
171. *Yakimov M., Trofimenko Yu.* Developing an urban public passenger transport route network with account for natural resource limitations // *Transportation Research Procedia*. – 2018 – Vol. 36. – P. 801-809.
172. *Yakimov M.* The use of various input data in the design of public transport route networks // *2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*. – 2020.
173. *Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н.* Введение в теорию массового обслуживания. М.: УРСС, 2005.
174. *Новиков Д.А.* Институциональное управление организационными системами. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 68 с.
175. *Новиков Д.А.* Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. – М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. – 150 с.
176. *Новиков Д.А., Цветков А.В.* Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах. – М.: Апостроф, 2000. – 184 с.
177. *Новиков Д.А., Чхартушвили А.Г.* Рефлексивные игры. – М.: Синтег, 2003. – 160 с.
178. *Вагнер Г.* Основы исследования операций. – М.: Мир, 1972. Т. 1. – 335 с., Т. 2. – 488 с., Т. 3. – 501 с.

179. Губко М.В., Новиков Д.А. Теория игр в управлении организационными системами. – М.: Синтег, 2002. – 148 с.
180. Караваев А.П. Модели и методы управления составом активных систем. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 151 с.
181. Новиков Д.А. Стимулирование в организационных системах. – М.: Синтег, 2003. – 312 с.
182. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. – 584 с.
183. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. – М.: ИПУ РАН, 2003. – 102 с.
184. Грицык В.И., Космин В.В. Термины и понятия (словарь): Транспорт. Строительство. Экономика. Менеджмент. Маркетинг. Системотехника. Информатика. – М.: УМК МПС России, 2000.
185. Федеральный закон Российской Федерации от 6 октября 2003 г. N 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» № 131-ФЗ.
186. Якимов М.Р. Транспортное планирование: концепция парковочной политики в городах. М.: Университетская книга, 2019. – 92 с.
187. Yakimov M. Determination of the Optimal Number of Parking Spaces Based on the Formulation and Solution of the Optimization Problem of the Transport Demand Distribution // 2019 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2019. – P. 1-6.
188. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ.
189. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2015 г. № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов».
190. Приказ Минтранса России от 26.05.2016 N 131 «Об утверждении порядка осуществления мониторинга разработки и утверждения программ комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов».
191. Федеральный закон «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.12.2017 N 443-ФЗ.
192. Распоряжение Правительства РФ от 25.03.2020 N 724-р «Об утверждении Концепции обеспечения безопасности дорожного движения с участием беспилотных транспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования».

193. «Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях» (КоАП РФ) от 30.12.2001 N 195-ФЗ.

194. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090 «О Правилах дорожного движения».

195. Федеральный закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 N 257-ФЗ.

196. Федеральный закон Российской Федерации от 8 ноября 2007 г. N 259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта».

197. Федеральный закон Российской Федерации «О безопасности дорожного движения» от 10.12.1995 г. № 196-ФЗ.

198. Федеральный закон «Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов государственной власти субъектов Российской Федерации» от 06.10.1999 № 184-ФЗ.

199. Федеральный закон от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации».

200. Постановление Правительства от 16.11.2018 № 1379 «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета».

201. Приказ Минтранса России от 26.12.2018 № 479 «Об утверждении методических рекомендаций по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения в части расчета значений основных параметров дорожного движения».

202. Приказ Минтранса России от 18.04.2019 № 114 «Об утверждении Порядка осуществления мониторинга дорожного движения».

203. Приказ Минтранса России от 13.11.2018 № 406 «Об утверждении классификации работ по организации дорожного движения».

204. Приказ Минтранса России от 30.07.2020 № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения».

205. Приказ Минтранса России от 28.07.2020 № 260 «Об утверждении перечня профессий и должностей, связанных с организацией дорожного движения, и квалификационных требований к ним».

206. Уголовный кодекс Российской Федерации» (УК РФ) от 13.06.1996 N 63-ФЗ.

Научное издание

**Трофименко Юрий Васильевич,
Якимов Михаил Ростиславович**

**ТРАНСПОРТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ:
ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ
КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

Монография

Редактор А.С. Нестерова
Корректор Ю.А. Попов
Компьютерная верстка С.С. Ламан
Оформление М.Л. Белуш

Подписано в печать 14.07.2022 г.
Формат 145x215. Печать цифровая.
Объем 33,5 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 3450.

Издательство ООО «Агентство дорожной информации РАДАР»
614015, г. Пермь, ул. Пермская, д. 37, оф. 208
Тел.: +7 (342) 210-15-33
E-mail: road-auto@mail.ru

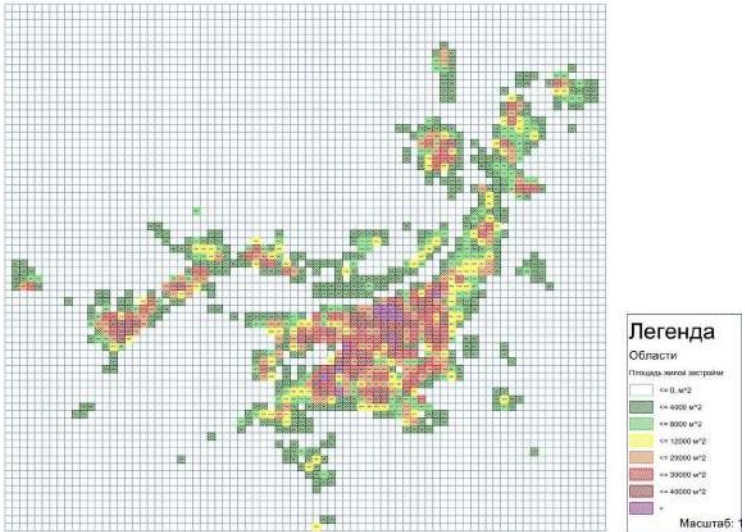


Рис. 2.10. Картограмма распределения площади жилой застройки по территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 134)

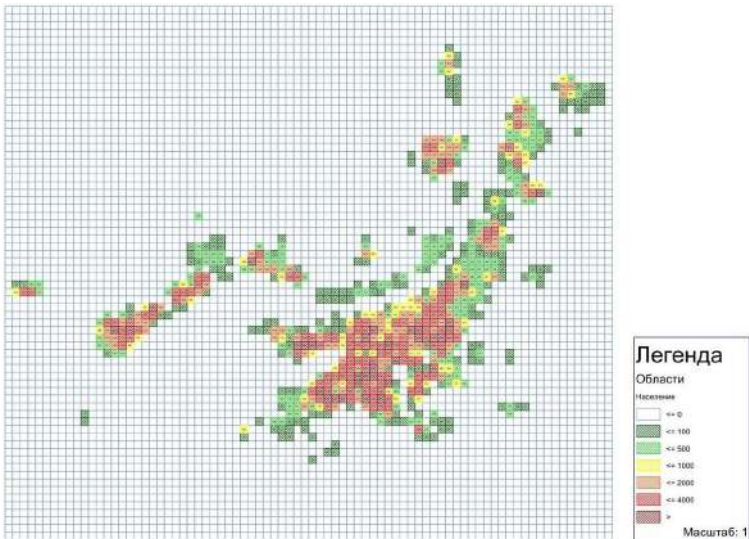


Рис. 2.11. Картограмма распределения населения по территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 134)

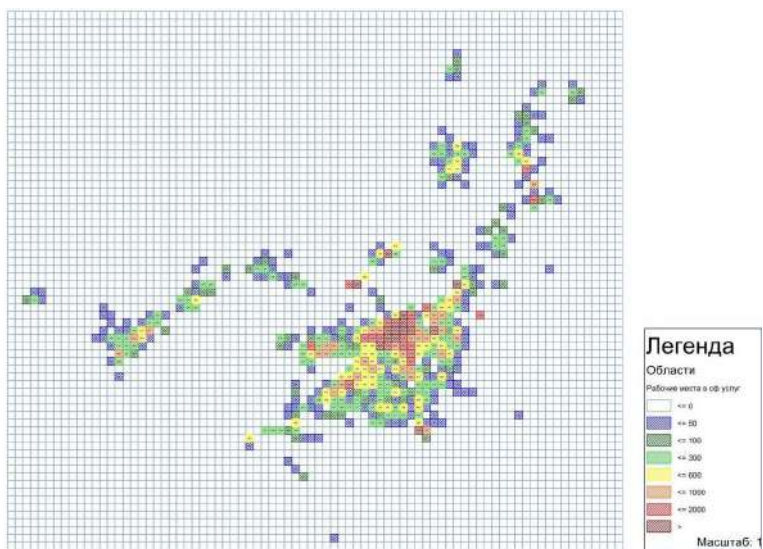


Рис. 2.12. Картограмма распределения рабочих мест в сфере услуг по территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 134)

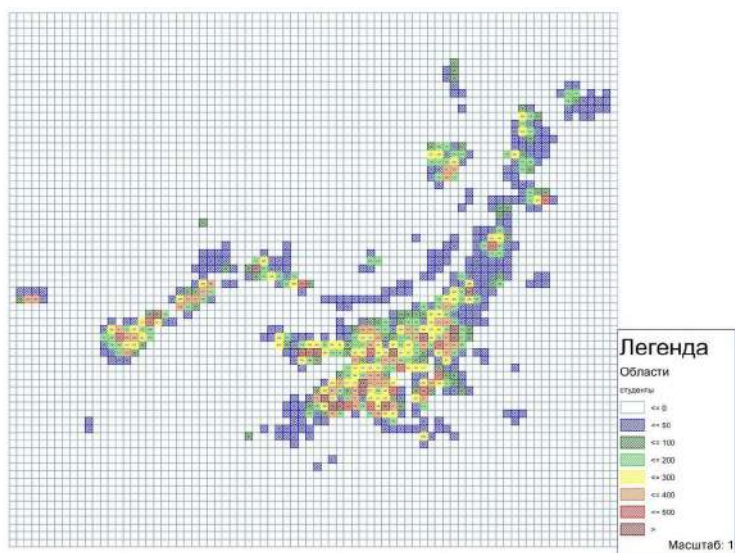


Рис. 2.13. Картограмма распределения мест проживания студентов по территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 134)

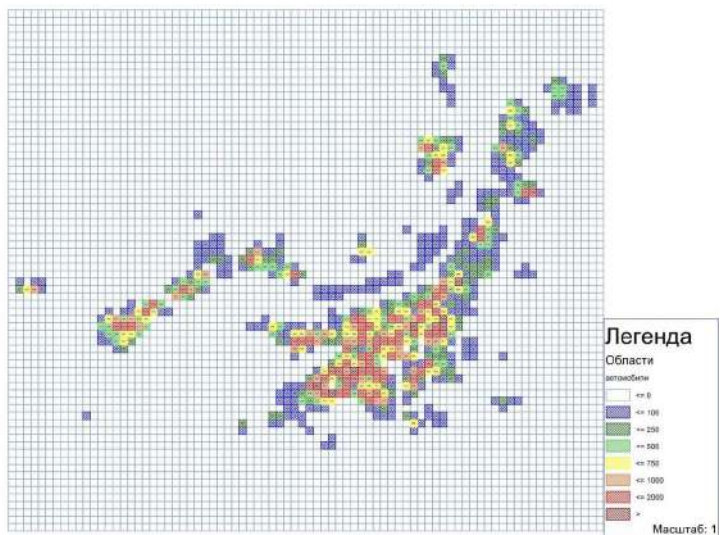


Рис. 2.14. Картограмма распределения зарегистрированных автомобилей по территории российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 134)

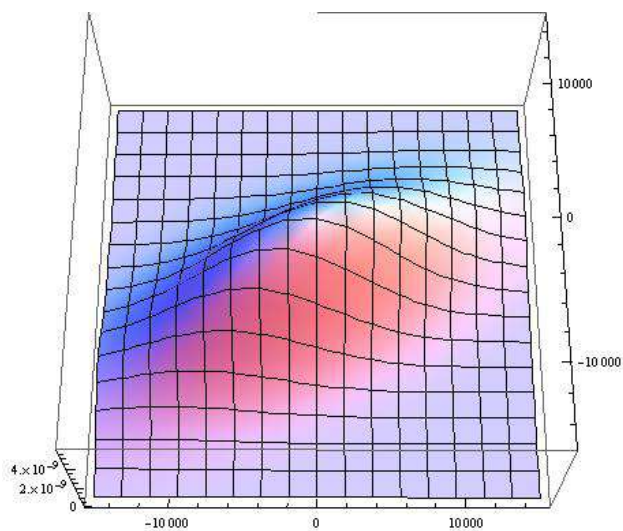


Рис. 2.15. Представление функции (2.17) в виде поверхности. Поверхность плотности нормального распределения жителей (к с. 142)

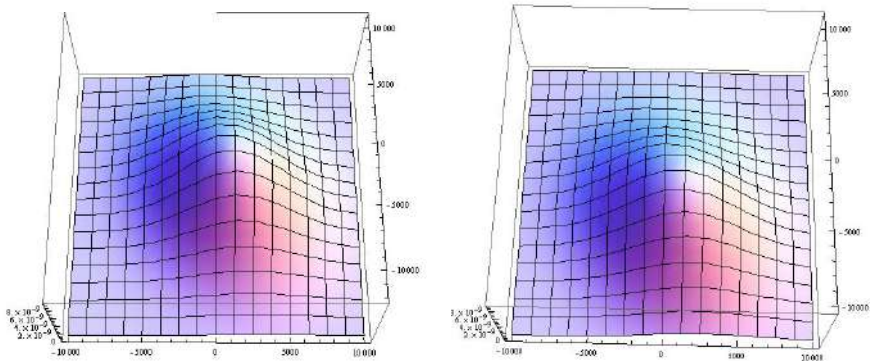


Рис. 2.18. Представление функций 2.20 и 2.21 в виде поверхностей (к с. 142)

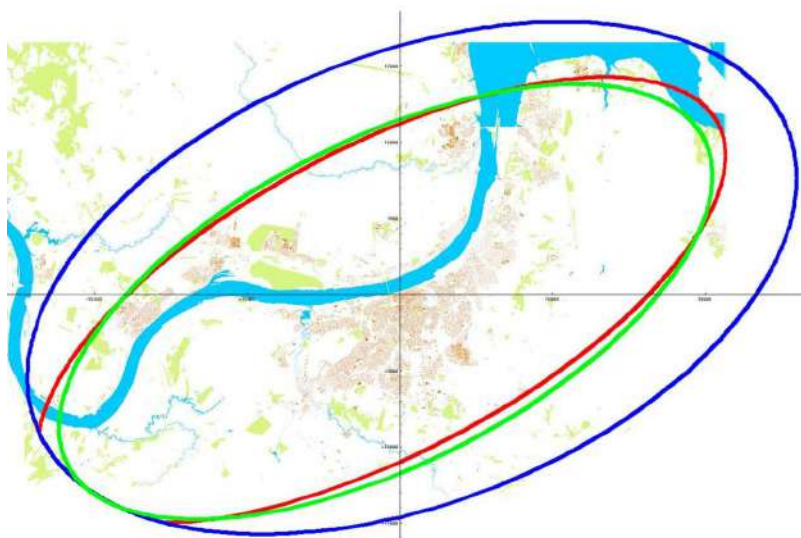


Рис. 2.19. Территория города Перми и геометрическое представление области распределения различных элементов городской структуры (к с. 143)

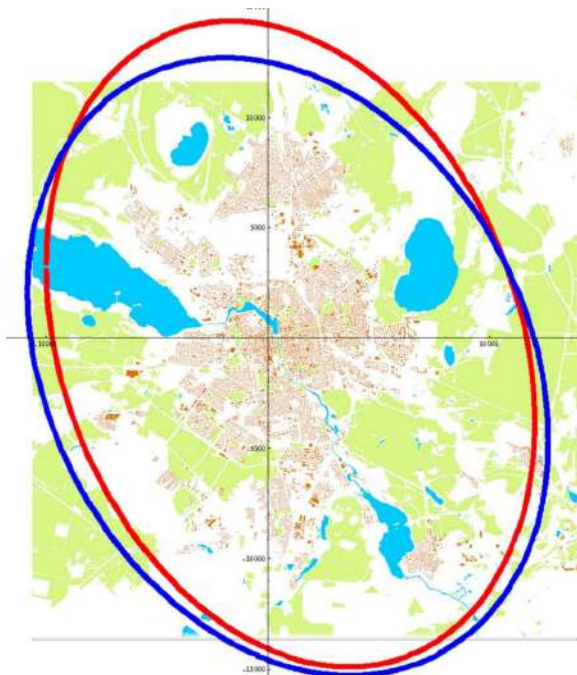


Рис. 2.20. Территория города Екатеринбурга и геометрическое представление области распределения различных элементов городской структуры (к с. 143)

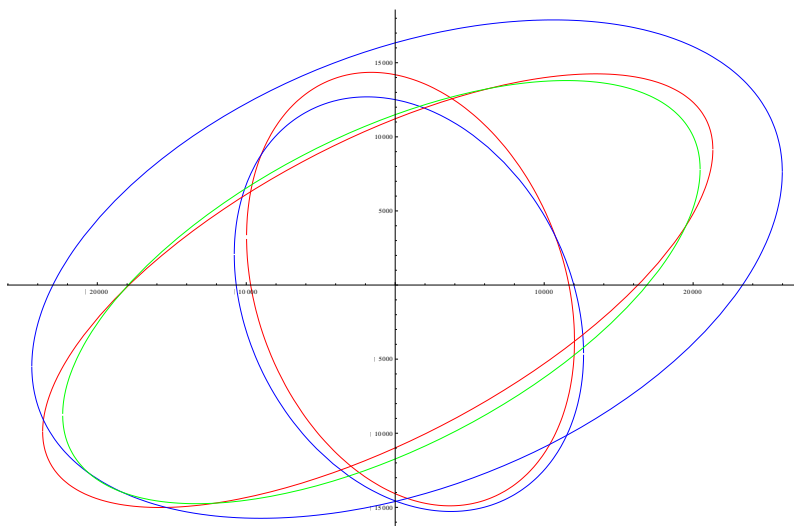


Рис. 2.21. Графическое представление городской структуры городов Пермь и Екатеринбург в виде эллипсов (к с. 143)

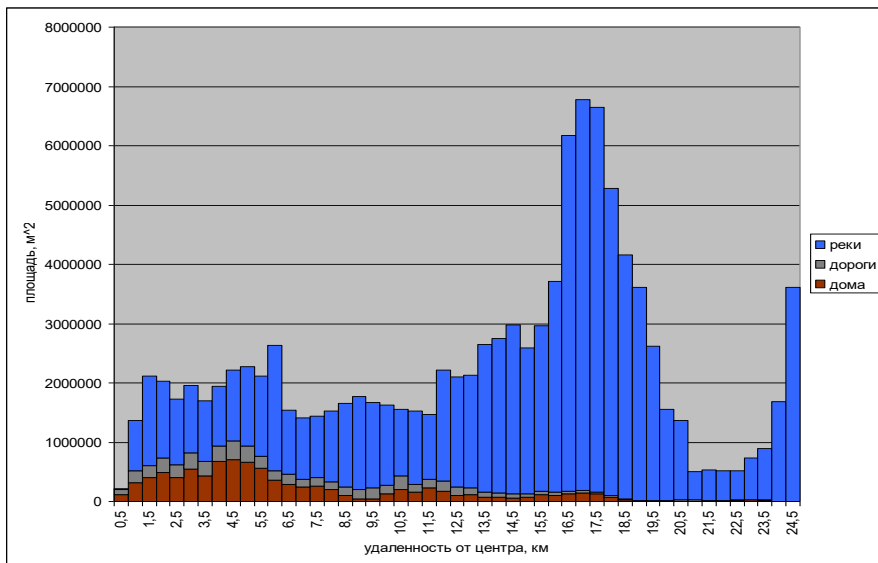


Рис. 2.23. Диаграмма пространственного распределения площадей зданий, проезжих частей дорог и улиц, водных объектов (к с. 147)

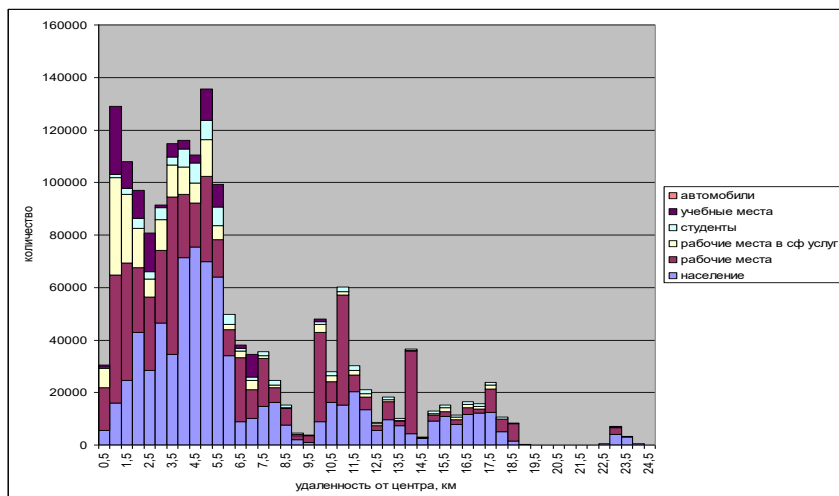


Рис. 2.24. Диаграмма пространственного распределения дислокации населения, рабочих мест, студентов, учебных мест, автомобилей (к с. 148)

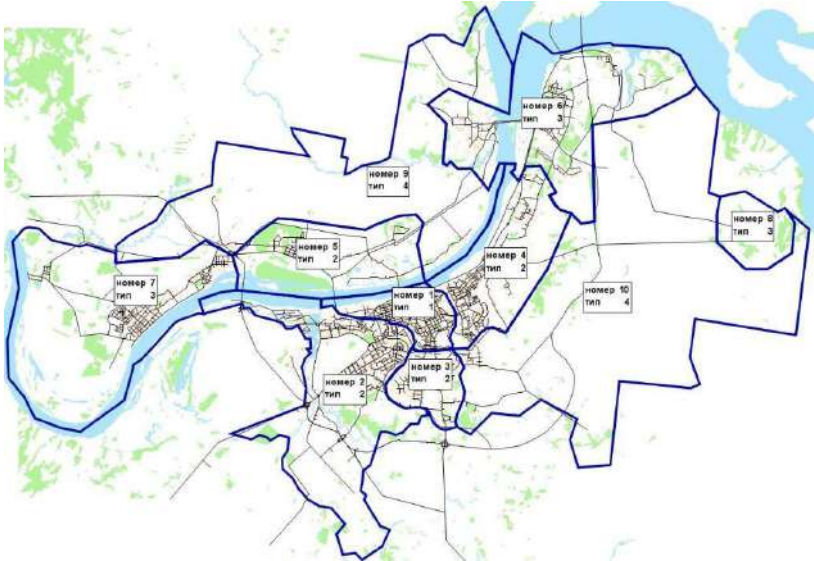


Рис. 3.23. Границы зон рассматриваемых территорий (к с. 261)



Рис. 3.25. Фрагмент расчетной модели для определения параметров транспортной обеспеченности зоны А российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 262)



Рис. 3.27. Фрагмент расчетной модели для определения параметров транспортной обеспеченности доступа к территории для зоны А российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 264)



Рис. 3.29. Фрагмент расчетной модели для определения параметров обеспеченности транзита через территорию зоны А российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (к с. 266)

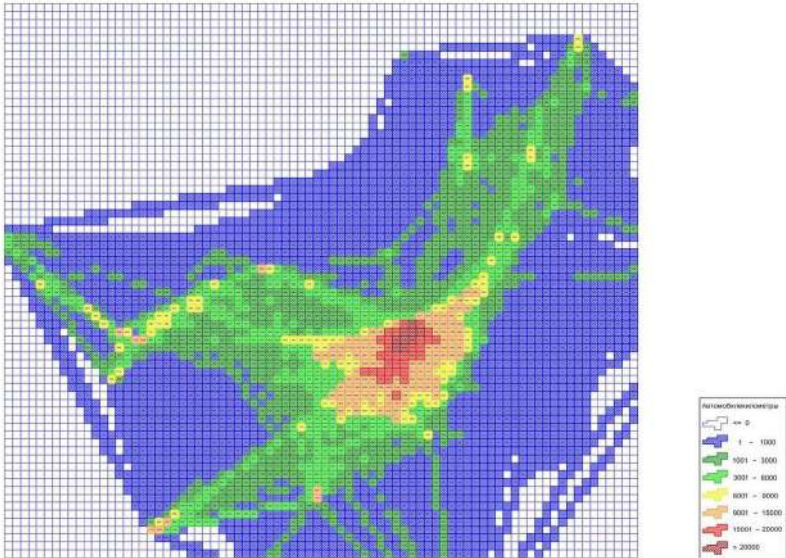


Рис. 3.31. Распределение транспортной зависимости для ИТ на идеальной сети российского города с населением 1 млн. жителей на примере города Перми (авт. • км/сутки) (к с. 274)

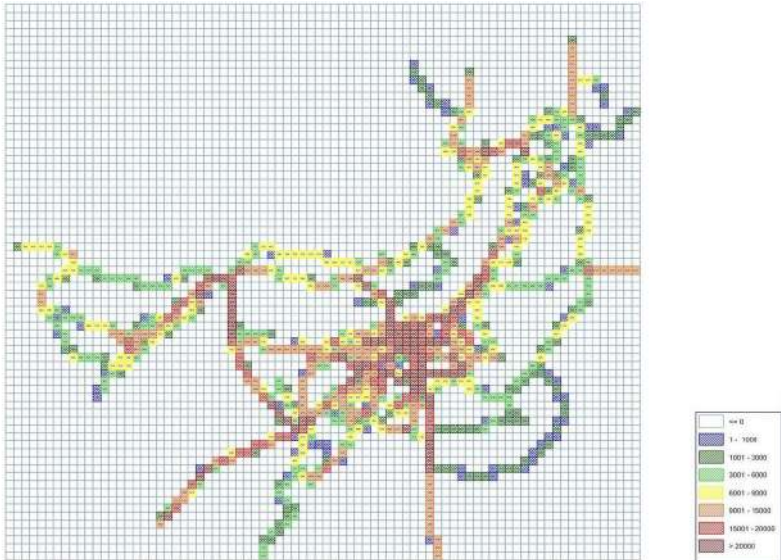


Рис. 3.33. Распределение транспортного движения на индивидуальном транспорте в свободной сети города (авт. • км/сутки) (к с. 275)

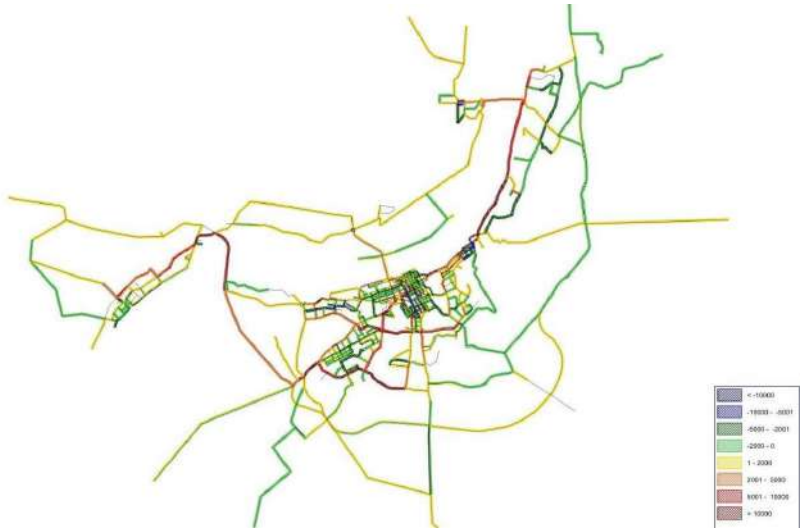


Рис. 3.35. Картограмма разности загрузки свободной и загруженной сети города транспортным движением (авт./сутки) (к с. 281)



Рис. 4.12. Пример реальной сети на плане города (к с. 350)

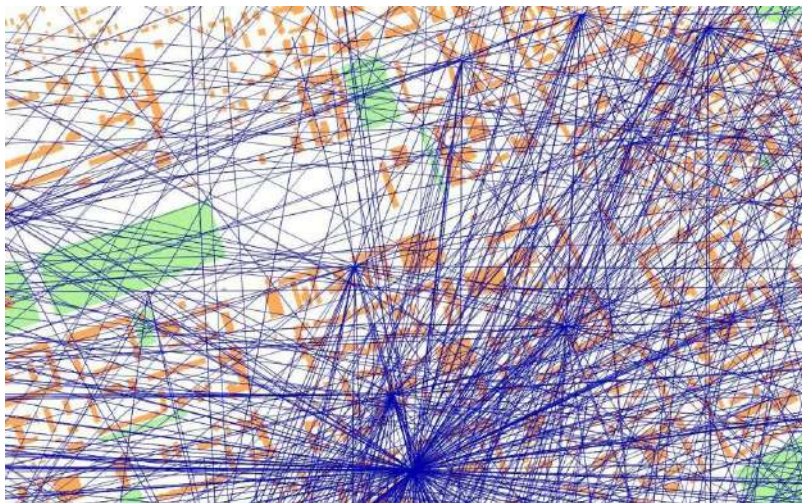


Рис. 4.13. Пример идеальной сети (к с. 350)

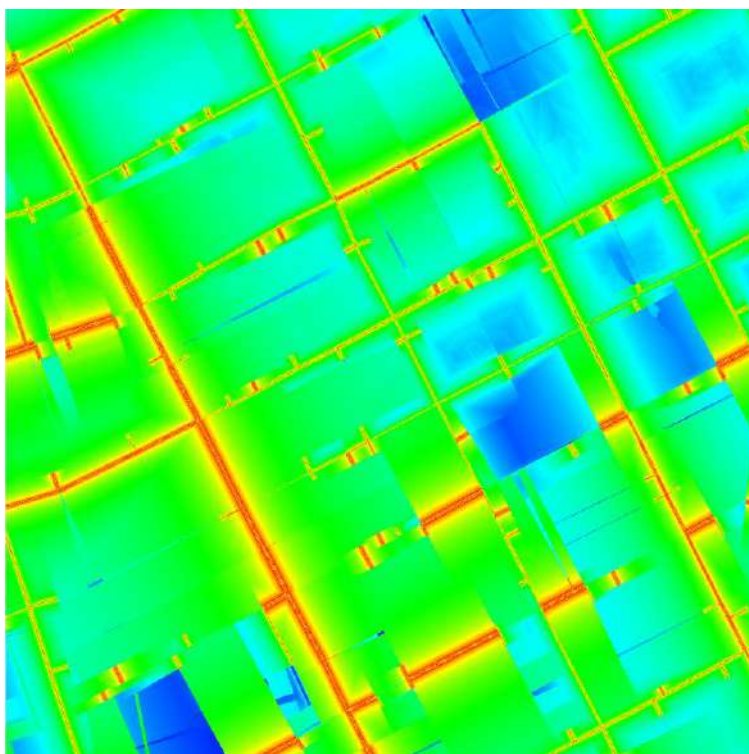


Рис. 4.16. Фрагмент поля уровней транспортного шума для центральной части территории города (к с. 361)

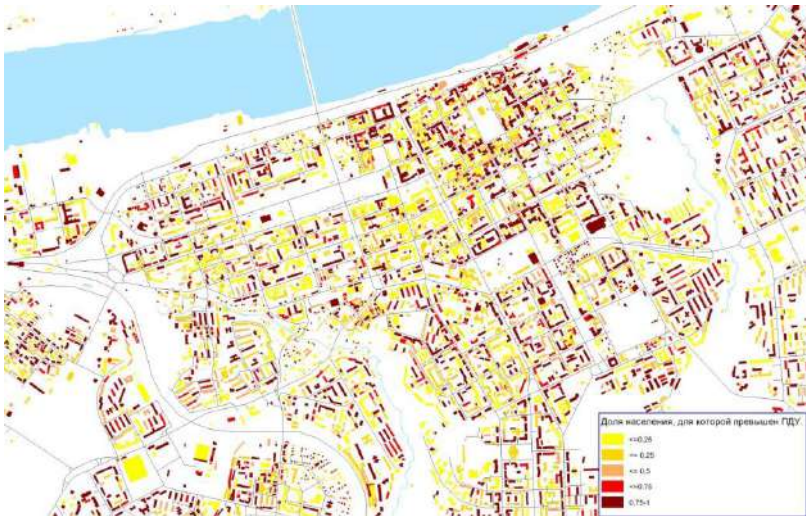


Рис. 4.19. Картограмма доли населения, попадающего в зону превышения ПДУ транспортного шума (к с. 364)

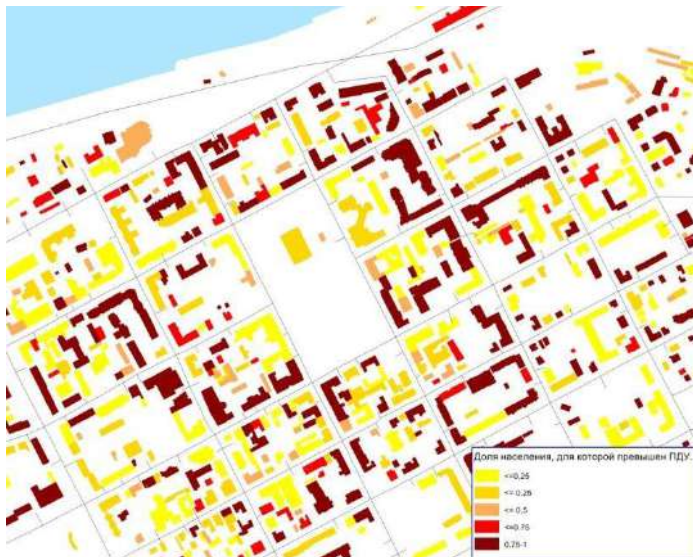


Рис. 4.20. Фрагмент картограммы доли населения, попадающего в зону превышения ПДУ (к с.364)

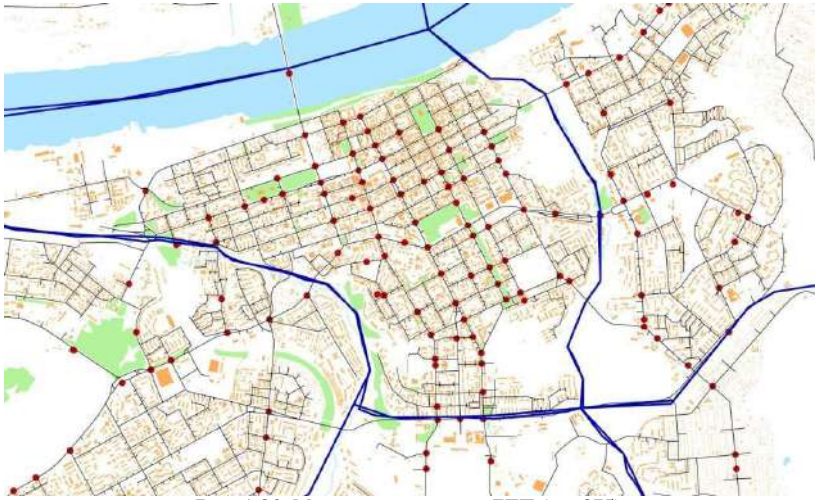


Рис. 4.26. Места концентрации ДТП (к с. 375)

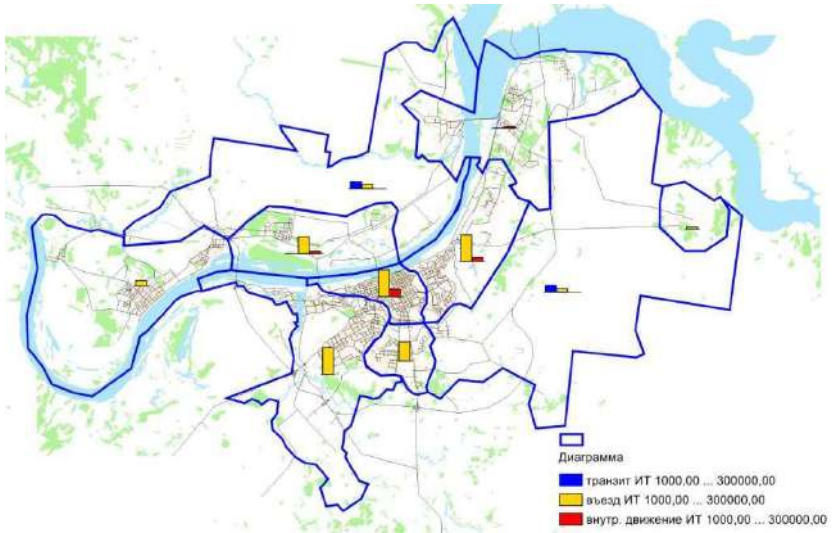


Рис. 4.27. Результаты решения задачи оптимального распределения транспортного спроса для ИТ (к с. 398)

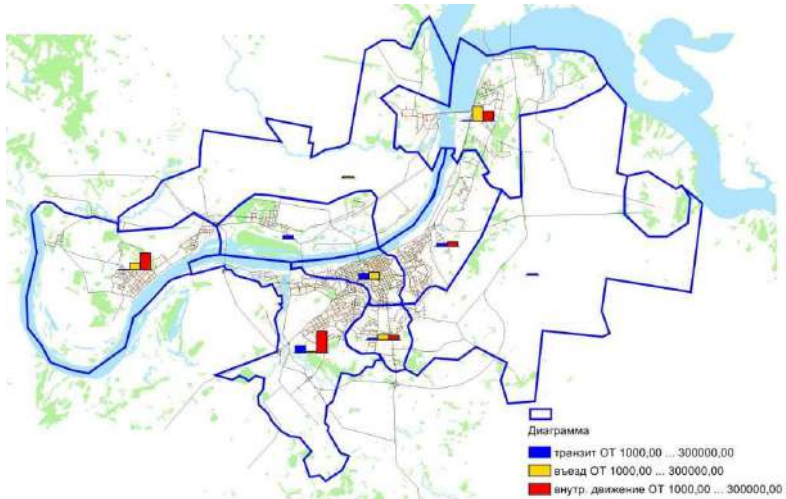


Рис. 4.28. Результаты решения задачи оптимального распределения транспортного спроса для ОТ (к с. 398)

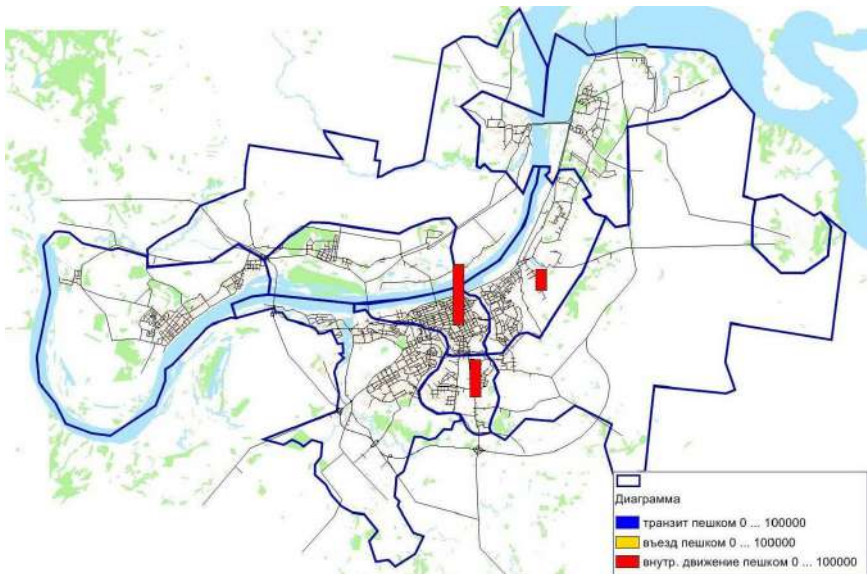


Рис. 4.41. Результаты решения альтернативной постановки задачи оптимального распределения транспортного спроса для пешеходного движения (к с. 411)

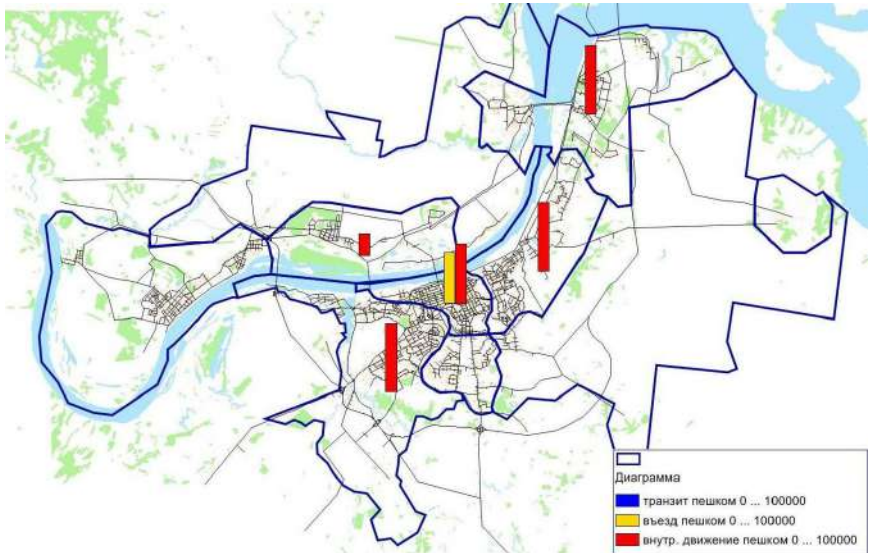


Рис. 4.42. Результаты решения задачи оптимального распределения транспортного спроса для пешеходного движения (к с. 415)

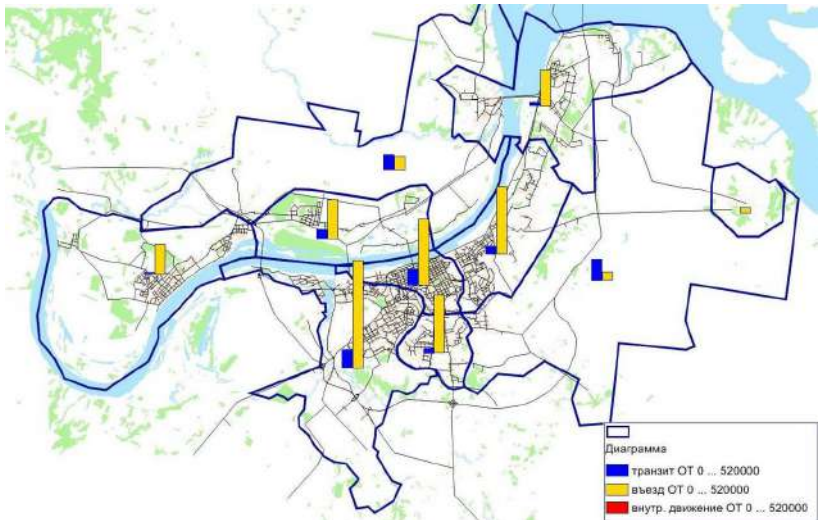


Рис. 4.43. Результаты решения задачи оптимального распределения транспортного спроса для ОТ (к с. 415)

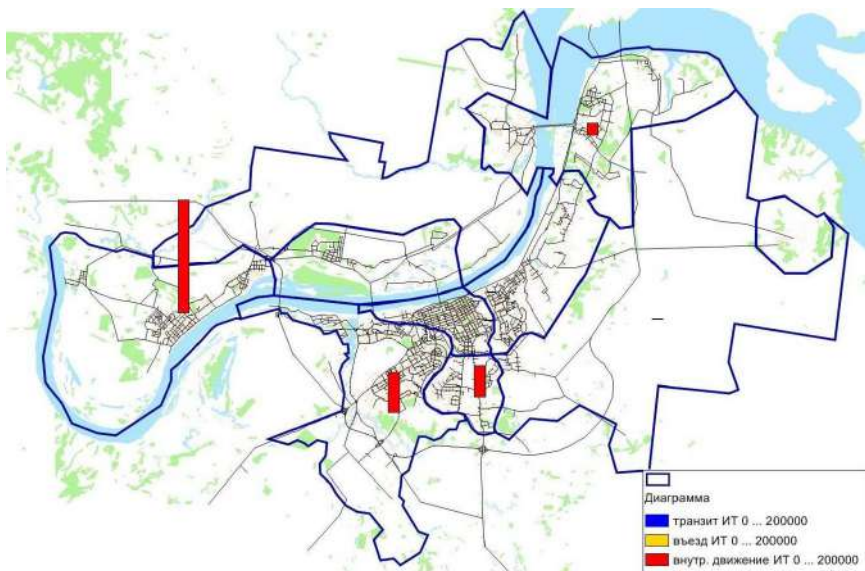


Рис. 4.44. Результаты решения задачи оптимального распределения транспортного спроса для ИТ (к с. 415)



**Трофименко
Юрий Васильевич**

заслуженный деятель науки
Российской Федерации, доктор
технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Техносферная безопасность»
Московского автомобильно-
дорожного государственного
технического университета
(МАДИ)



**Якимов
Михаил Ростиславович**

доктор технических наук,
директор Института
транспортного планирования
Российской академии транспорта



Агентство РАДАР
Россия, 614000, г. Пермь,
ул. Пермская, д. 37, оф. 208
www.road.perm.ru

