

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

На правах рукописи



ПОЛЯКОВ Александр Сергеевич

**Разработка методики оценки эффективности комплекса
мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

Научный руководитель
д.т.н., профессор Жанказиев С.В.

Москва 2017

Оглавление

Оглавление.....	2
Введение.....	4
1 Задачи и методы повышения эффективности функционирования транспортного комплекса города в условиях интенсивной автомобилизации	12
1.1 Особенности процессов управления транспортным планированием в условиях интенсивной автомобилизации.	12
1.2 Критерии и методы количественной оценки эффективности проектных решений по ОДД.....	17
1.3 Влияние связности УДС на показатели эффективности функционирования транспортного комплекса.....	27
1.4 Транспортные модели оценки эффективности в условиях перегрузки УДС.....	29
1.5 Особенности использования программного обеспечения транспортных моделей при оценке эффективности проектных решений ..	35
Выводы к главе 1	38
2 Разработка количественного показателя и модели для оценки связности УДС	40
2.1 Количественный показатель для оценки коэффициента несвязности улично-дорожной сети и требования к алгоритму его расчета	40
2.2 Транспортное районирование для расчета коэффициента несвязности	48
2.3 Методы оценки матрицы корреспонденций для расчета коэффициента несвязности с использованием транспортной модели.	56
2.4 Расщепление маршрута и подготовка исходных данных с применением теории нечетких множеств.....	65
Выводы к главе 2.....	69
3 Методическое, программное и информационное обеспечение для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети.....	71

3.1	Общая методология построения и использования транспортной модели, предназначенной для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности УДС	71
3.2	Требования к программному обеспечению и их реализация. .	73
3.3	Информационное обеспечение транспортной модели.....	76
3.4	Формирование графа УДС и выбор минимального пути.	84
3.5	Методика определения межрайонной связности	89
3.6	Методика определения приоритетных транспортных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе	91
	Выводы к главе 3.....	95
4	Определение межрайонной связности в городе и решения по её повышению.....	97
4.1	Расчет коэффициента межрайонной связности	97
4.2	Возможности увеличения связности улично-дорожной сети. .	99
4.3	Оценка социально-экономического эффекта от реализации мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети.....	104
4.4	Приоритизация мероприятий для повышения межрайонной связности в городе Москве.....	108
	Выводы к главе 4.....	109
	Заключение	111
	Литература	114
	Приложение. Справка о внедрении результатов диссертационного исследования	128

Введение

Актуальность проблемы.

Улично-дорожные сети (УДС) относятся к самым дорогим и трудноизменяемым элементом городской транспортной инфраструктуры, поскольку связи на УДС представляют собой реальные физические соединения в 2-х или 3-х мерном пространстве. Любые, связанные с изменением структуры УДС - зонирование городских территорий, реконструкция УДС, разработка комплексных схем организации движения (КСОД) и проектов организации дорожного движения (ПОД) требуют обоснования ожидаемых результатов, в том числе с позиций количественной оценки их эффективности.

Различные аспекты оценки эффективности проектных решений по структуре УДС исследовались в работах Клинковштейна Г.И., Жанказиева С.В., Сильянова В.В., Кондратьева В.Д., Кременца Ю.А., Лобанова Е.М., Капитанова В.Т., Зырянова В.В., Кочерги В.Г., Афанасьева М.Б., Коноплянко В.И., Макаровой И. В., Михайлова А.Ю., Михеева С.В., Печерского М.П., Пугачёва И.Н., Хилажева Е.Б., Верейкина В.Е., Дивочкина О.А., Печерского М.П., Ткаченко Б.А., Хилажева Е.Б., Хоровича Б.Г., Шелкова Ю.Д. и др.

Детализированы и обоснованы методики для оценки многих показателей эффективности функционирования транспортного комплекса в зависимости от условий движения: пропускная способность УДС, скорости движения, экологическое загрязнение, безопасность. Значительное число исследований проводится по проблеме управления движением в условиях, когда исчерпана пропускная способность (дорожные «пробки»), по транспортному моделированию и созданию построению систем управления в этой сфере.

На этом фоне относительно мало изученной остается задача количественной оценки связности УДС. Руководством по проектированию

городских улиц и дорог (Москва, Стройиздат, 1980), предусмотрено применение т.н. «коэффициента непрямолинейности». Однако практического применения этот коэффициент фактически не находит. В частности, в Своде правил СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» (актуализированная редакция СНиП 2.07.0189) не только не имеется методического обеспечения в части обеспечения требований по значению этого коэффициента непрямолинейности, но не содержится и самого требования по необходимости его использования.

Ситуация усугубляется тем, что проблема заключается не только в транспортной планировке городов. Развитие ИТС и АСУ ДД в условиях интенсивной автомобилизации неизбежно во главу угла ставит критерии увеличения пропускной способности, что обеспечивается, в том числе, закрытием левый и правых поворотов, разворотов, введением односторонних движений и т.д. Насколько при этом ухудшается связность УДС, как это влияет на перепробеги транспортных средств, на формирование заторовых ситуаций на смежных участках УДС как правило не учитывается.

Достаточных исследований и методических рекомендаций нет не только на уровне практических расчетов. Не имеется научного обоснования принципов транспортного районирования территории города для оценки связности, нет алгоритмов расчета коэффициента непрямолинейности с учетом транспортных характеристик, расчет коэффициента не предусматривается компьютерными программами для транспортного моделирования.

Целью работы. является повышение эффективности мероприятий по развитию транспортной инфраструктуры города за счет использования пространственных и семантических свойств транспортной модели путем разработки и применения методики оценки эффективности мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети.

Достижение указанной цели потребовало решить следующие задачи:

1) разработать количественный критерий, позволяющий оценивать связность улично-дорожной сети как свойство транспортной инфраструктуры города, обеспечивающее повышение эффективности транспортного обслуживания и минимизацию затрат ресурсов и потерь, связанных с перемещением пассажиров и грузов.

2) сформулировать и обосновать модели транспортного районирования территории города и возможности применения существующих методов оценки матриц корреспонденции между этими районами для количественной оценки связности УДС, отвечающей целям разработки схем организации движения и безопасности перевозок, оптимизации планирования и управления перевозками пассажиров и грузов;

3) разработать и реализовать методику расчета количественного критерия для оценки связности УДС города с использованием возможностей транспортных моделей, обосновать возможность использования транспортной модели и данных в составе Интеллектуальной транспортной системы для выработки решений по обеспечению экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса, по изменениям в организации дорожного движения и по реконструкции улично-дорожной сети;

4) разработать критерии и методику по оценке социально-экономической эффективности инвестиционных проектов в области эффективного развития автомобильного транспорта, обеспечения его работоспособности, дорожной, экологической безопасности, ресурсосбережения и развития транспортной инфраструктуры;

5) на основе разработанных моделей и методов выполнить расчеты по оценке ожидаемой эффективности предлагаемых мероприятий адресно-инвестиционной программы города Москвы с учетом увеличения связности УДС и выработать рекомендации по практическому использованию выполненных разработок.

Направления исследований. В соответствии с паспортом специальности исследования включали следующие направления: оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, совершенствование организации дорожного движения, повышение эффективности транспортного обслуживания при минимизации затрат ресурсов и потерь, развитие инфраструктуры для обеспечения перевозочного процесса.

Предмет исследования – процесс поддержки принятия решений по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры города на основе транспортной модели города в составе:

специальное и прикладное программное обеспечение информационной системы транспортного моделирования города Москвы;

база данных с представлением улично - дорожной сети в формате «узел-отрезок-узел» и разрешенных вариантов движения, с привязкой к объектам улично-дорожной сети, к расположению технических средств регулирования движения, детекторам транспорта и другим атрибутам описания дорожно-транспортной инфраструктуры;

Объект исследования – система управления транспортной инфраструктурой, включающей в себя: структуру улично-дорожной сети, проекты и схемы организации движения, технические средства организации дорожного движения, транспортные потоки и параметры прогнозных значений транспортных потоков в зависимости от объемов и качества исходных данных по транспортным районам города, полученные с использованием транспортной модели Московского транспортного узла; пропускная способность УДС и существующие распределения потоков транспортных средств по УДС, методы их оценки с использованием матриц корреспонденции.

Методы исследования. Теоретической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области транспортного моделирования и математической статистики.

Использованы общенаучные методы (сопоставительный анализ, элементы теории сложных систем, транспортное моделирование, алгоритмизация, программирование, построение баз данных коллективного пользования и др.), а также специальные методы обработки данных с использованием программных средств транспортной модели.

Научная новизна. Предложен и обоснован новый количественный критерий для оценки связности УДС, основанный на известном коэффициенте непрямолинейности и названный коэффициентом несвязности, который позволяет оценивать связность улично-дорожной сети с учетом фактической интенсивности транспортного сообщения между районами города.

Разработана и обоснована модель транспортного районирования территории города и возможность применения существующих методов оценки матриц корреспонденции с использованием транспортной модели на основе данных от средств фотовидеофиксации и детекторов транспорта в составе Интеллектуальной транспортной системы (или АСУ ДД), позволяющая проводить расчет коэффициента несвязности с учетом как структуры улично-дорожной сети, так и схем организации движения;

Разработан методический инструментарий и предложен алгоритм обоснования приоритетного комплекса мероприятий по развитию транспортной инфраструктуры на основе оценки их эффективности с использованием коэффициента несвязности УДС.

Практическая ценность работы заключается в экспериментальной проверке методики расчета коэффициентов связности УДС города в целом и его отдельных территорий для возможных проектных решений по

изменениям в организации дорожного движения и по реконструкции улично-дорожной сети.

Разработана методика оценки связности УДС на основе коэффициента несвязности с учетом транспортного районирования территории города, отвечающей целям и содержанию работ по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры, включающей структуру улично-дорожной сети, проекты и схемы организации движения.

Разработана методика по оценке социально-экономической эффективности для формирования инвестиционных проектов в области организации дорожного движения и развития транспортной инфраструктуры на предпроектной и проектной стадиях.

Основные положения и результаты могут быть использованы эксплуатационными и проектными организациями, работающими с транспортными система

Достоверность теоретических положений работы, ее практических результатов, рекомендаций и выводов подтверждается результатами верификации собранных данных по экспериментальным участкам, экспериментальной проверкой точности результатов тестовых натурных замеров с результатами расчёта на основе данных транспортной модели.

Реализация работы.

Предложенные в диссертации методы оценки УДС применены в рамках разработки и реализации Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы на 2012-2016 гг.», а также создания и эксплуатации ИТС города Москвы.

На основе разработанных моделей выполнены расчеты по оценке ожидаемой эффективности предлагаемых мероприятий адресно-инвестиционной программы города Москвы с учетом увеличения связности УДС.

Область исследования соответствует паспорту специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» п.6 «Организация безопасности перевозок и движения» и п. 14 «Развитие инфраструктуры перевозочного процесса».

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований были доложены и получили одобрение на XI Международном навигационном форуме (Москва 25-26 апреля 2017 года, Экспоцентр), V международном форуме «Умный город будущего», (Москва, 29-30 ноября 2016 года), международном форуме «Транспортная неделя» (Москва, 26 ноября - 2 декабря 2016 года), международной конференции по безопасности дорожного движения "Безопасные дороги/Safety Roads" (31 марта 2016 г., Москва, ВДНХ), международной конференции Fujitsu World Tour: Reshaping ICT, Reshaping Business and Society. (Москва, 17 сентября 2014 г), VI Международном конгрессе ROAD TRAFFIC RUSSIA «Дорожное движение в Российской Федерации» (Москва, 1 декабря 2015 года), 6-м Российском международном конгрессе по интеллектуальным транспортным системам "ИТС: Стратегия. Технологии. Образование" (21-23 апреля 2014 г., Москва, Комплекс Гостиный Двор)

На защиту выносятся:

Новый количественный критерий для оценки связности УДС, основанный на известном коэффициенте непрямолинейности и названный коэффициентом несвязности.

Методика расчета коэффициента несвязности УДС с использованием транспортной модели города, отвечающей целям и содержанию проектных работ по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры.

Модернизация и экспериментальная проверка транспортной модели города Москвы для расчета коэффициента несвязности УДС города в целом и его отдельных территорий, обеспечивающих выработку проектных

решений по изменениям в организации дорожного движения и по реконструкции улично-дорожной сети

Методика оценки социально-экономической эффективности инвестиционных проектов и обоснования приоритетных направлений развития транспортной инфраструктуры на предпроектной и проектной стадиях в области организации дорожного движения, капитального строительства, реконструкции, технического оснащения объектов транспорта и транспортной инфраструктуры.

Результаты расчетов по оценке ожидаемой эффективности предлагаемых мероприятий адресно-инвестиционной программы города Москвы с учетом увеличения связности УДС.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работы, в том числе 4 – в журналах, рецензируемых ВАК.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка литературы. Она изложена на 130 стр. текста, содержит 8 таблиц, 42 рисунка и библиографический список из 130 наименований.

1 Задачи и методы повышения эффективности функционирования транспортного комплекса города в условиях интенсивной автомобилизации

1.1 Особенности процессов управления транспортным планированием в условиях интенсивной автомобилизации.

В концепции Федерального закона "Об организации дорожного движения и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" /1/, что «интенсивный рост автомобильного парка в Российской Федерации выдвинул в число наиболее острых проблем, препятствующих устойчивому развитию транспортной системы страны, проблемы, связанные с резким повышением уровня загрузки автомобильных дорог». Данное утверждение в первую очередь справедливо для крупных городов и представляет серьезную опасность для функционирования транспортных систем. В часы пик до 70% улично-дорожной сети функционируют с перегрузкой и требуют планирования комплекса мероприятий по повышению пропускной способности. В проекте закона /1/ выделяется, что «средняя скорость движения за последние 10-15 лет снизилась в среднем на 40% и составляет: в мегаполисах — 15 – 30 км/ч, в крупных городах — 20 – 40 км/ч, а в часы пик скорость снижается до 5 – 10 км/ч.»

Особенно остро эти проблемы проявляются в «городах – миллионниках» и в городских агломерациях численностью населения свыше 3-х млн. жителей. Доля перевозок пассажиров личным автотранспортом достигает 25% от общего объема и продолжает расти. Уровень автомобилизации для крупных городов превысил 500 автомобилей на 1000 жителей,, что значительно выше расчетной величины (250-300 легковых автомобилей на 1000 жителей).

На заседании Президиума Госсовета по вопросу о безопасности дорожного движения (г. Ярославль, 2016 год) отмечалось, что «При росте автопарка за последние 10 лет около 5-7% в год, ежегодный прирост протяженности автодорожной сети составил менее чем 1%. Плотность улиц и дорог в городах России в 2-5 раз меньше, чем в европейских государствах. Отставание дорожно-транспортной сети от имеющихся потребностей составляет приблизительно 20 - 25 лет.»

Факторы, формирующие уровень загрузки УДС, имеют комплексный характер и вызваны совокупным действием ряда причин разнонаправленного действия. Соответственно и принимаемые меры должны иметь комплексный характер и требуют системного подхода: к социально-экономическому планированию развития территорий, к градостроительному и транспортному планированию, к организации и управлению дорожного движения и дорожным строительством (рисунок 1.1).

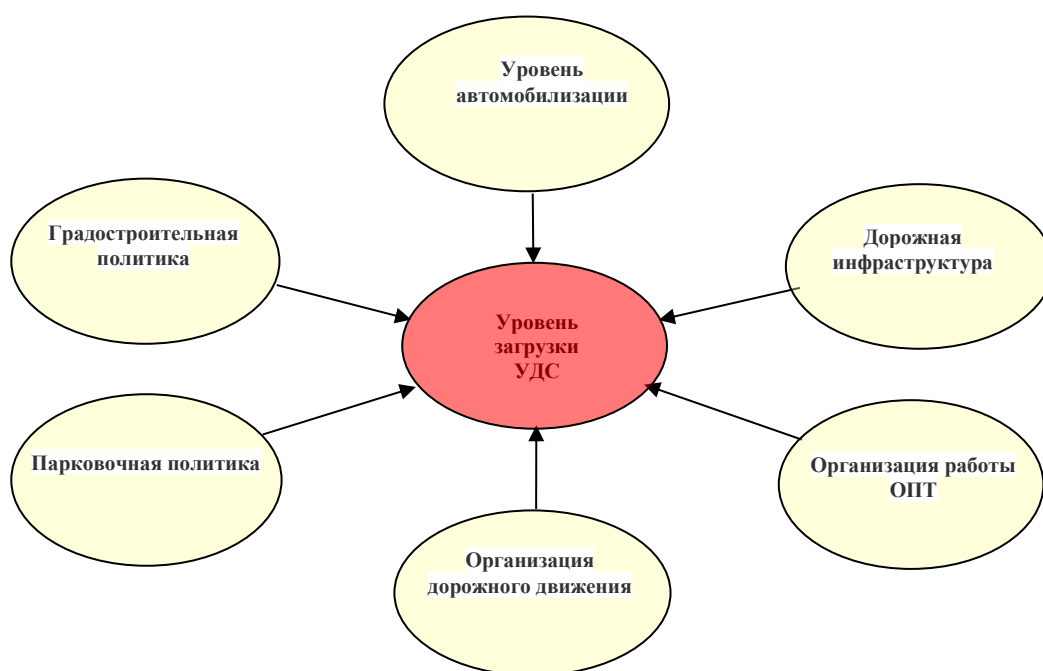


Рисунок 1.1 - Факторы, формирующие уровень загрузки УДС.

Впервые на официальном уровне основные принципы интегрированного подхода в транспортной политике были провозглашены в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года:

- комплексный учет транспортных факторов при выработке архитектурно-планировочных решений, развитие долгосрочного градостроительного и транспортного планирования с учетом прогнозируемых транспортных потоков;
- транспортное зонирование городских территорий, использование системы административных и экономических механизмов для ограничения использования личного автотранспорта в наиболее загруженных зонах;
- внедрение элементов платности за пользование улично-дорожной сетью, а также взимания платы за въезд в центральную часть городов;
- выработка и реализация эффективной парковочной политики;
- комплексное опережающее развитие систем общественного пассажирского транспорта как альтернативы росту числа личных автомобилей; развитие систем скоростного и внеуличного пассажирского транспорта;
- развитие систем городской грузовой логистики. Создание в пригородных зонах крупных терминалов и распределительных центров для вывода из города складов и большегрузного транспорта;
- совершенствование правовой базы, обеспечивающей реализацию транспортной политики крупнейших городов с учётом их специфических особенностей.

Реализация этих принципов не имеет достаточного правового, организационного, технического и методического обеспечения. Имеющиеся не могут обеспечить надлежащее базовое правовое регулирование вопросов организации дорожного движения с учетом современных проблем, не

определены требования к организации дорожного движения с позиции обеспечения ее эффективности. В частности, основные решения в сфере организации и безопасности дорожного движения были направлены на выявление и предупреждение дорожно-транспортных происшествий. При этом принимаемые меры рассматриваются, как правило, без связи с обеспечением устойчивости работы городского транспорта, не считаются составной частью общественной деятельности, направленной на решение социально-значимых задач.

Деятельность по транспортному планированию и организации дорожного движения не имеет единого методического и организационного руководства. В связи с упразднением Государственных специализированных монтажно-эксплуатационных предприятий и передачей их функций по организации дорожного движения различным юридическим лицам с соответствующим финансированием, постепенно возник вакуум в сфере транспортного планирования.

В определенной мере такая ситуация обуславливается используемыми критериями эффективности функционирования транспортного комплекса.

В научной литературе и в методических материалах детализированы и обоснованы многие показатели эффективности в зависимости от условий движения: пропускная способность УДС, скорости движения, экологическое загрязнение, безопасность. Значительное число исследований проводится по проблеме управления движением в условиях, когда исчерпана пропускная способность (дорожные «пробки»), транспортному моделированию и построению систем управления в этой сфере.

На этом фоне относительно мало изученной остается задача обеспечения связности УДС. В достаточно общем виде понятие связности определяется как наличие «альтернативных маршрутов проезда из одной точки сети в другую. Высокая степень связности УДС обеспечивает удобные для горожан корреспонденции делового, социально-бытового и культурно-

рекреационного назначения, а также оптимальное распределение трафика по сети и, соответственно, минимизацию задержек и экологических экстерналий. Низкая степень связности УДС всегда сопровождается значительными перепробегами транспорта, а также возникновением так называемых «бутылочных горлышек» (“bottleneck”), то есть критических сечений сети, становящихся точками формирования транспортных заторов».[7].

Количественно это свойство характеризуется «коэффициентом непрямолинейности» (Руководствѣ по проектированию городских улиц и дорог, Москва, Стройиздат, 1980). На практике критерий непрямолинейности при проектировании городских территорий используется редко или не используется совсем. Фактически современный Свод правил СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» /12/ не только не имеет методического обеспечения по расчету коэффициента непрямолинейности, но не содержит и самого требования по необходимости его использования.

Ситуация усугубляется тем, что проблема заключается не только в транспортной планировке городов. Развитие автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУ ДД) в условиях интенсивной автомобилизации неизбежно во главу угла ставит критерии увеличения пропускной способности УДС, что обеспечивается, в том числе, закрытием левых и правых поворотов, разворотов, введением односторонних движений и т.д. Но при этом, как правило, не учитывается - насколько ухудшается связность УДС, как это влияет на перепробеги транспортных средств, на формирование заторовых ситуаций на смежных участках УДС и другие показатели.

Достаточных исследований и методических рекомендаций нет не только на уровне практических расчетов. Не имеется научного обоснования принципов транспортного районирования территории города для расчета

коэффициента связности, нет алгоритмов расчета коэффициента связности с учетом матрицы корреспонденций. Проведение этих работ в значительной мере основывается на практическом опыте и знаниях специалистов, что значительно увеличивает субъективный фактор и определяет большой разброс конечных результатов.

Новые требования и возможности возникают при создании интеллектуальных транспортных систем - прежде всего в связи с использованием транспортных моделей. С одной стороны в составе транспортной модели имеется много исходных данных, необходимых для расчета коэффициента связности. В то же время фактический расчет коэффициента связности не предусматривается компьютерными программами для транспортного моделирования.

В настоящем исследовании рассматриваются возможности повышения эффективности мероприятий по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры города в условиях функционирования ИТС за счет использования пространственных и семантических свойств транспортной модели путем разработки и применения методики оценки эффективности мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети.

1.2 Критерии и методы количественной оценки эффективности проектных решений по ОДД.

Авторами исследований /14, 16, 18, 29, 31 и др.) предложены различные критерии для оценки эффективности функционирования транспортных систем. В качестве критериев, по которым возможны расчеты количественных показателей предлагаются экономические критерии, критерии безопасности дорожного движения и экологической безопасности, критерии устойчивости функционирования УДС.

Обилие конкретных задач и ситуаций, с которыми сталкиваются при проведении проектных работ на УДС, определяют использование целого

набора количественных показателей. Достаточно полное представление о составе показателей, применяемых в практике ОДД приводят А.С. Михайлов и И.С Головных /15/.

Применительно к задаче разработки методики для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети нами предлагается следующий состав критериев и соответствующих показателей (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Состав критериев и показателей, применяемых для оценки эффективности проектных решений.

Критерий	Количественные показатели
Задержка и длина очереди	Средняя задержка
	Суммарная задержка
	Максимальная задержка
	Длина очереди
Пропускная способность	Плотность УДС
	Емкость УДС
Транспортная работа УДС	Суммарные затраты времени с учетом маршрутов движения и интенсивностей транспортных потоков на этих маршрутах
Экологическая безопасность	суммарный выброс окиси углерода за единицу времени
	суммарный выброс окислов азота единицу времени
	уровень транспортного шума
Безопасность дорожного движения	снижение числа пострадавших в ДТП
	риски ДТП - суммарная конфликтная

	загрузка УДС
Экономический эффект	интегральный экономический эффект - сумма эффектов за весь период сравнения;
	индекс доходности - отношение суммы эффектов к общей величине единовременных затрат;
	срок окупаемости - минимальный интервал времени от начала расчетного периода, за пределами которого интегральный эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным;
Устойчивость функционирования УДС	коэффициент устойчивости
Уровень обслуживания на УДС	коэффициент обслуживания - отношение интенсивности движения к пропускной способности
	объем обслуживания

Продолжительность **средней задержки** чаще применяется как критерий оптимизации управления на локальном участке - отдельное пересечение, круговая развязка и пр.. Неоднократно проводившимися исследованиями доказано, что средняя задержка тесно коррелирует с интенсивностью движения, циклами светофорного регулирования и длиной очереди.

Точность методики расчета величины средней задержки имеет принципиальную важность, так как на основе величины средней задержки оценивается длина очередей, определяются суммарная задержка. В специальной литературе для практических расчетов величины средней задержки рекомендуется формула Вебстера

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0,65 \left(\frac{C}{q^2} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)} \dots\dots\dots(1.1)$$

где: C - длительность цикла, сек;

g - эффективная длительность фазы;

x – коэффициент насыщения;

q – интенсивность движения, приведенных ед./с.

Входящие в состав формулы (1.1) λ , x и q определяются как

$$\lambda = g/C;$$

$$x = \frac{Q}{\lambda M} = \frac{gQ}{CM};$$

$$q = Q/3600.$$

Суммарной задержкой называют задержка всех транспортных средств за определенный период в пределах и используется для оценки экономической эффективности функционирования УДС города в целом или отдельного городского района, в то время как средняя задержка больше характеризует качество обслуживания для каждого отдельно взятого транспортного средства.

Под **длиной очереди** понимается либо число транспортных средств в очереди или ее протяженность. Длину очереди можно использовать как интегральный показатель степени насыщения как локального участка, так и УДС в целом. Для насыщенных потоков, когда задач управления сводится к диагностике предзаторовой ситуации и к снижению вероятности возникновения затора, длина очереди и основанные на ней показатели становятся более важными для сетевого управления[15, 17, 18].

Методы оценки **пропускной способности** на УДС городов подробно исследованы в специальной литературе и изложены в методических и руководящих материалах [57,58].

Применительно к УДС города в целом ситуация неоднозначная и существует достаточно много различных позиций и взглядов. В

градостроительной практике чаще всего используется показателей плотности УДС в сочетании с нормативным определением требований к улиц разных категорий. При этом подразумевается, что выполнение нормативных требований плотности УДС уже позволяет обеспечить достаточную пропускную способность. Некоторые проектные организации используют показатель емкости УДС — максимального количества транспортных средств, которые одновременно могут находиться в движении на рассматриваемой территории.

Специалисты в области ОДД чаще всего связывают исчерпание пропускной способности сети с появлением затора. Однако на практике применение и этого подхода не дает однозначного метода расчета, т.к. изначально требует определить допустимое количество заторов, протяженность, длительность и др. параметры.

Ю.Д. Шелков и В.В. Шештокас [54, 55] **транспортную работу** УДС указывают как наиболее значимый критерий экономической оценки состояния ОДД. Ими предложен количественный показатель транспортной работы УДС:

$$W = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m N_{ij} t_{ij} l_{ij}, \quad (1.2)$$

где: n - число корреспонденций;

m - число маршрутов движения, реализующих корреспонденцию j ;

N_{ij} - число транспортных средств, пользующихся маршрутом i при реализации корреспонденции j , прив.ед.час;

t_{ij} -средние затраты времени на реализацию корреспонденции i при использовании маршрута j

l_{ij} - протяженность маршрута i корреспонденции j , км.

Под показателями **экологической безопасности** понимают, как правило, суммарный выброс окиси углерода и окислов азота за единицу времени [54], а также эквивалентный уровень транспортного шума на расстоянии 7,5 м от края проезжей части [56]. Существующие транспортные модели в большинстве случаев позволяют производить оценку массовых выбросов от автомобильного транспорта - как в городских условиях, так и для загородных дорог.

Эффективность мероприятий по повышению безопасности движения заключается, в первую очередь, в снижении потерь от дорожно-транспортных происшествий, которые делятся на три группы:

- потери, связанные со смертью и ранениями людей, вовлеченных в ДТП;
- материальный ущерб от повреждения транспортных средств, дороги и дорожных сооружений, стоимость поврежденных грузов;
- общественный ущерб - затраты, связанные с нарушением нормальных условий движения в зоне транспортного происшествия, затраты органов ГАИ, судов и прокуратуры.

Согласно методическим рекомендациям по назначению мероприятий для повышения безопасности дорожного движения на участках концентрации ДТП [114] эффект от проведения мероприятий по снижению числа пострадавших в ДТП может быть определен прямым расчетом по формуле:

$$R(t)=A1(t)*C1+A2(t)*C2 \quad (1.3)$$

где $A1(t)$, $A2(t)$ - ожидаемое в течении t лет снижение количества погибших и раненых в ДТП;

$C1$, $C2$, - средние стоимости потерь от одного ДТП со смертельным исходом и ранением.

Если нет данных о средней стоимости потерь от одного ДТП эффект от проведения мероприятий по повышению безопасности движения допускается определять по формуле:

$$R(t) = 365 * g * N * L * S * (P_{до} - P_{после}) \quad (1.4)$$

где: g - коэффициент использования пробега;

$$g = 0,6 \times b_1 + 0,9 \times b_2 + 0,8 \times b_3$$

b_1, b_2, b_3 - доля соответственно легковых, грузовых автомобилей и автопоездов в составе поток;

N - среднегодовая суточная интенсивность движения на рассматриваемом участке дороги в расчетный период, авт. сут;

L - протяженность рассматриваемого участка дороги, км;

S - себестоимость перевозок в дорожных условиях, принятых за эталон, руб. авт.-км;

$P_{до}, P_{после}$ - коэффициенты, определяющиеся в зависимости от величины коэффициентов относительной аварийности ($Z_{до}, Z_{после}$)

Значения коэффициента относительной аварийности ($Z_{после}$) после проведения мероприятий по повышению безопасности движения определяются по формуле:

$$Z_{после} = Z_0 + (Z_{до} - Z_0) * (1 - P_m) \quad (1.5)$$

где: Z_0 - относительное количество происшествий, на возникновение которых не оказывают влияние дорожные условия ($Z_0 = 0,08$);

$Z_{до}$ - средний коэффициент относительной аварийности до проведения мероприятий по повышению безопасности движения;

P_m - средняя вероятность снижения числа ДТП.

Количественную оценку безопасности ОДД по рискам возникновения ДТП, проводят используя суммарную конфликтную загрузку УДС:

$$R = 5 \sum \frac{N_{in} \cdot N_{jn}}{(N_{in} + N_{jn})^2} + 3 \sum \frac{N_{ic} \cdot N_{jc}}{(N_{ic} + N_{jc})^2} + \sum \frac{N_{io} \cdot N_{jo}}{(N_{io} + N_{jo})^2}, \quad (1.6)$$

где N_{in}, N_{jn} - интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку пересечения, ед. сут;

N_{ic}, N_{jc} - интенсивность движения потоков i и j , образующих конфликтную точку слияния потоков, ед. сут;

N_{io}, N_{jo} - интенсивность движения потоков x и y , образующих конфликтную точку ответвления потоков, ед. сут.

Экономическая эффективность рассчитывается по соотношению эффекта от снижения числа дорожно-транспортных происшествий к затратам на проведение мероприятий по снижению аварийности.

Для расчета показателей эффективности мероприятий по повышению безопасности движения используют следующие расчетные формулы:

Интегральный эффект:

$$\text{Эинт} = \sum_t^T \frac{(R_t - Z_t)}{(1 + T)^t} - \sum_t^T \frac{K_t}{(1 + T)^t} \quad (1.7)$$

где: R_t - эффект от снижения числа ДТП в году t ;

Z_t - текущие затраты в году t ;

K_t - единовременные затраты в году t ;

E - норма дисконта;

T - момент окончания расчетного периода.

Индекс доходности:

$$\text{ИД} = \sum_t^T \frac{(R_t - Z_t)}{(1 + E)^t} : \sum_t^T \frac{K_t}{(1 + E)^t} \quad (1.8)$$

Срок окупаемости (t ок) определяется из уравнения

$$\text{Эинт} = 0, \text{ для } 0 \leq t \leq T, \quad (1.9)$$

при этом для всех $t \geq t_{ок}$ должно выполняться условие $\dot{Э}_{инт} \geq 0$.

Устойчивостью УДС называют ее свойство не уменьшать свою пропускную способность в результате полного или частичного исключения из транспортного процесса отдельных ее элементов [54]. Причинами таких отказов могут быть ДТП, аварии инженерных коммуникаций, массовые мероприятия и т.д.

Для оценки устойчивости предлагается следующая процедура. УДС разбивается на элементы, границами которых являются перекрестки, в которых транспортные потоки могут менять маршруты. Для каждого из элементов определяется коэффициент потерь при полном его отказе:

$$k_{уст} = \frac{\sum_1^n (W^{УДС} - W_i^{УДС})}{n} \quad (1.10)$$

где: $W_i^{УДС}$ - суммарная транспортная работа элементов УДС, которые воспринимают нагрузку элемента i при полном его отказе;

$W^{УДС}$ - транспортная работа элемента УДС без отказов элементов;

W - транспортная работа магистральной УДС (см. формулу).

n - число элементов, на которые разбита УДС.

Универсальность расчетной величины по формуле 1.10 становится значительно шире, если под отказом элемента понимать возникновение затора на этом участке, поскольку в этом случае транспортная работа является одним из наиболее важных критериев оценки устойчивости и имеет ясный физический смысл.

Показатели **уровня обслуживания** рассчитываются с использованием элементов теории массового обслуживания и, как правило, требуют сложных вычислений. Поэтому чаще используют различные варианты коэффициента обслуживания:

$$k = N/P, \quad (1.11)$$

где N - интенсивность поступления требований;

P - интенсивность обслуживания требований.

Чаще всего коэффициента обслуживания рассчитывают как отношение интенсивности движения к пропускной способности элемента УДС. Максимальная интенсивность движения, соответствующая определенному уровню обслуживания, называется объемом обслуживания. По факту уровень обслуживания стал одним из наиболее часто применяемых критериев оценки качества ОДД [23, 35].

В.В Сильянов [23] каждому значению коэффициента обслуживания ставит в соответствие характеристику условий движения:

Таблица 1.2 - Градации уровней обслуживания и уровней удобства для перегонов улиц и дорог

Уровень обслуживания	Коэффициент загрузки	Характеристика условий движения	Уровень удобства	Уровень загрузки	Характеристика условий движения
А	<0.1	Свободный поток	А	<0.2	Свободный
В	>0.1	Устойчивый поток	Б	0.2-0.45	Частично связанный
С	>0.3	Устойчивый поток	В	0.45-0.7	Связанный
Д	>0.7	Приближающийся к неустойчивому	Г-а	0.7-1.0	Насыщенный
Е	>1.0	Неустойчивый поток	Г-б	>1.0	Плотно насыщенный

А.С. Михайлов [14] подчеркивает, что «если рассматривать УДС как систему массового обслуживания, то в проектах ОДД оценку сети и ее отдельных элементов можно свести к двум следующим показателям:

пропускная способность - максимальное количество заявок, которые может обслужить сеть;

уровень обслуживания - качество обслуживания заявок».

1.3 Влияние связности УДС на показатели эффективности функционирования транспортного комплекса.

Выше уже отмечалось, что задача расчета и обеспечения требуемых значений т.н. «коэффициента связности» УДС остается мало изученной. Еще меньше исследований известно о взаимосвязи коэффициента связности с количественными показателями эффективности функционирования транспортного комплекса, выделенными нами в предыдущем разделе. Фактически можно выделить только Е.А. Ильиной [13], которая выделила несколько конкретных источников экономии за счет изменения конфигурационных особенностей сети:

- спрямление трассы (снижение коэффициента непрямолинейности) приводит к сокращению объемов транспортной работы при сохранении объема перевозок.

- частичное высвобождение автопарка в результате уменьшения транспортной работы;

- сокращение оборотных средств, связанных с ускорением доставки;

- снижение транспортных расходов, в том числе за счет снижения числа ДТП, порчи грузов во время транспортировки, износ и т.д..

Для анализа и математической обработки были рассмотрены 3 показателя транспортной инфраструктуры (форма УДС, степень связанности, мера центральности) и ряд социально –экономических показателей (экономический эффект в культурно- бытовом обслуживании, экономический эффект в торговле, экономический эффект в образовании, экономический эффект в сельском хозяйстве и некоторые др.).

Расчеты, проведенные на примере Чувашской республики показывают, что все рассматриваемые показатели подчиняются нормальному распределению. Анализ парных коэффициентов корреляции зависимостей

показателей социально-экономического развития и топологических индексов (таблица 1.3) показывает наличие стабильной связи.

Таблица 1.3 – Парные коэффициенты корреляции социально-экономических показателей и характеристик топологии улично-дорожной сети (на примере Чувашии [13]).

Показатель	Коэффициент корреляции
экономический эффект в культурно-бытовом обслуживании	0.82
экономический эффект в торговле	0.89
экономический эффект в образовании	0.71
экономический эффект в сельском хозяйстве	0.79
школы	0.80
предприятия торговли	0.62
детские дошкольные учреждения	0.84

Наиболее тесная взаимосвязь установлена между увеличением объема бытовых услуг в регионе, экономическим эффектом в торговле, в образовании и топологическим индексом связанности сети, а также между экономическим эффектом в результате улучшения дорожных условий и топологическим индексом центральности. Показатели социального развития (количество школ, предприятий торговли, детских дошкольных учреждений) наиболее тесно связаны с индексом формы сети дорог.

Таким образом, топологические показатели, определяя начертание сети автомобильных дорог, характеризуют в определенной степени и экономические особенности региона, и социальные условия жизни населения. Поэтому их необходимо использовать при формировании планов развития дорог.

1.4 Транспортные модели оценки эффективности в условиях перегрузки УДС.

Для современного состояния условий движения в городах (см. раздел 1.1) характерен переход от управления движением транспортных средств к управлению перевозками пассажиров и грузов [10, 33, 39] и, как следствие, переход от управления потоками к управлению каждой единицей транспортного средства индивидуально. Фактически идеология построения ИТС именно этим отличается от идеологии построения АСУ ДД.

Это накладывает ограничения на возможности использования транспортных моделей для оценки эффективности функционирования транспортного комплекса, в том числе при выработке путей увеличения связности улично-дорожной сети.

Традиционно в математических моделях движение транспортных средств уподобляется физическому процессу (гидро- или газодинамическому потоку) [17, 18, 31, 40, 45 и др.]. По аналогии с этим транспортный поток описывается кинематическими уравнениями, на основе которых формируется макроскопические транспортные модели. Макромодели базируются на исходном допущении об однозначной взаимозависимости скорости и плотности потока. По мере усложнения задач используются элементы теории динамических систем (функционалы Ляпунова), кинетической теории (уравнения Колмогорова) и т.д.

Необходимость учитывать состав транспортного потока породила класс имитационных микроскопических моделей, в которых характеристики потока складываются из взаимодействия множества отдельных транспортных средств. Имитационные модели начинались с моделей «следования за лидером», в основе которых лежит предположение о взаимосвязи поведения ведомого и головного автомобиля. В более сложных вариантах учитывается

время реакции водителей, в том числе на многополосных дорогах, изучались переходные процессы..

Мезомодели и модели клеточных автоматов [45, 60] занимают промежуточное положение. С применением мезомоделей и теории клеточных автоматов все чаще исследуется динамика транспортных потоков, т.к они позволяют воспроизводить такие явления, как гистерезис при устранении заторов и «пробок», обратные ударные волны, старт-стопное движение и т.п.

По мере роста уровня автомобилизации применение моделей в виде потоков – аналогов физических процессов все чаще не приводит к получению адекватных результатов. В исследованиях по управлению дорожным движением приходится применять междисциплинарные математические идеи, методы и алгоритмы, что обуславливается характером объекта исследования, который включает социальные, технические, экономические и другие элементы. Внутри одной и той же системы мы должны допустить наличие психологических, экономических, технических, культурных и политических взаимодействий. Взаимодействия этих факторов часто бывают более важны, чем внутреннее содержание любого из них, взятого в отдельности.

Нами проанализированы и выделены 6 классов смежных теорий и моделей, объекты исследования в которых полностью или частично соответствуют свойствам транспортной системы (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Области научных знаний, смежные с теориями транспортных потоков.

Применительно к моделированию транспортных систем можно выделить следующие характерные особенности этих теорий и моделей:

Сложные системы.

Строгого и однозначного определения сложной системы ещё не сформулировано. Л.А. Растрин [41] к характерным чертам сложной системы относит:

- отсутствие или невозможность математического описания, обусловленная наличием большого числа процессов и случайных помех.
- невоспроизводимость экспериментов, обусловленная дрейфом характеристик, изменением параметров, эволюцией во времени.
- «нетерпимость» к управлению, обусловленная собственным поведением элементов системы, в том числе выражающаяся в создании затруднений наблюдениям и реализации управляющих воздействий.

Дж. Форрестер [42] уточняет, что «Сложным системам свойственны специфические ответные реакции, и в этом причина частых неудач и

провалов попыток, предпринимаемых с целью улучшения поведения системы». Сложные системы, как и все системы, имеют цепи обратной связи, но «содержат более трёх или четырёх цепей положительной и отрицательной обратной связи. Взаимодействие между этими цепочками обратной связи, смещение доминирующей роли от одной цепочки к другой - вот что в большой степени определяет характер сложной системы».

Следует признать, что эти свойства в полной мере характерны для транспортной системы любого масштаба и применение элементов теории сложных систем может оказаться более чем оправданным.

Нелинейные системы

В большинстве случаев при анализе транспортных систем с использованием аналитических моделей делается допущение о линейном характере зависимостей. Отчасти это справедливо, но в достаточно узком диапазоне изменения воздействующих факторов. Но в условиях интенсивной автомобилизации и перегрузки улично- дорожной сети поведение транспортной системы почти никогда не удастся описать в рамках линейного подхода, линейного мышления и линейного мировидения. В основе теории нелинейных систем лежат нелинейные соотношения между факторами, которые определяют поведение системы. По мнению И.Р. Пригожина [43, 44] «нелинейное взаимодействие делает систему чрезвычайно чувствительной к одним параметрам системы и нечувствительной – к другим. Усиление нелинейности приводит к увеличению вариантов будущего развития. На сильно нелинейной среде появляется более разветвленное прогнозное поле развития системы в будущем. Усиление нелинейности среды расширяет спектр возможностей, спектр будущих состояний.»

К сожалению современная математика имеет дело почти исключительно с линейными процессами, что сильно ограничивает

возможности адекватного отображения реальной ситуации в транспортных системах.

Достаточно подробный обзор возможностей применения нелинейных моделей в системах, имеющих социальную компоненту, проведен П.А. Амбаровой [46]. С примерами проведения исследований с использованием теории нелинейных систем можно ознакомиться, например, в монографии М.М. Басимова [47].

Социотехнические системы со сложными взаимозависимостями

Сложные социотехнические системы сочетают много таких факторов, которые в классическом системном анализе разделены на изолированные области мышления.

Почти все переменные в социотехнической системе тесно взаимосвязаны, причем почти никогда невозможно отличить причину от следствия. Весьма часто случайные симптомы принимаются за причины и планируются мероприятия, направленные на устранение симптомов, а не причин.. «Причина и следствие часто не связаны ни во времени, ни в пространстве. Причины какого-либо наблюдаемого симптома могут в действительности лежать в очень отделенном секторе социотехнической системы. Кроме того, симптомы могут проявиться гораздо позже вызвавших их первоначальных причин» [48].

Более подробно с вопросами теории принятия решений в сложных социотехнических системах с позиций концепции эффективности можно ознакомиться в пособии [48].

Динамические модели

При решении задач организации и безопасности дорожного движения обычно применяют 3 типа динамических моделей:

- модель «черного ящика» (вход – исходное состояние, выход результирующее состояние);

- факторная модель (вход – количественное значение измерителя управляющего воздействия, выход – количественное значение ожидаемого результата);

- структурная модель (вход – планируемая последовательность и продолжительность воздействий, выход – результирующее состояние).

Вопросы разработки моделей и алгоритмов решения функциональных задач управления транспортными системами с использованием динамических моделей исследованы, например, А.В. Кутыркиным [49].

Однако многие модели, используемые для управления дорожным движением на улично-дорожной сети городов, фактически остаются статичными. Периодичность обновления параметров транспортной модели в несколько месяцев, или даже недель не позволяют прогнозировать развитие ситуации с достаточной точностью для принятия управленческих решений в реальном масштабе времени. Задача модернизации существующих транспортных моделей с приданием им динамических свойств остается актуальной.

Синергетические модели

Синергетика характеризуется рядом положений, в том числе характерными для сложных и нелинейных систем (см. выше). Специфическими (особенными) можно назвать самоорганизацию и открытость системы [50, 51].

Самоорганизация в сфере дорожного движения прежде всего проявляется в адаптации к принимаемым мерам воздействия. Даже значительные изменения в системе могут слабо влиять или совсем не влиять на ее поведение. И. В. Андрианов с соавторами [52] отмечают, что «Причина заключается в природе синергетических систем, противоречащей интуиции, и нечувствительности их к изменению параметров. Нечувствительность системы к изменению большинства её параметров приводит к тому, что система остается нечувствительной и к большинству модификаций, которые

навязываются ей новыми мероприятиями и решениями, так как эти решения изменяют только степень влияния информации или действия. В этом кроется природа сопротивляемости социальных систем.»

Особенностью является и то, что какое-либо изменение в синергетической системе обычно вызывает краткосрочные реакции, направление которых противоположно долгосрочному эффекту. Последовательность по принципу «сначала хуже, потом лучше», сильно затрудняет практическое использование синергетических моделей. Конфликт между краткосрочными и долгосрочными реакциями системы частично объясняет плохое теперешнее состояние наших городских систем. Некоторые формы математического описания объекта, применимые к сфере дорожного движения, приведены в [52].

Нечеткие множества и нечеткая логика.

Результаты исследований и практического применения теории нечеткой логики реализованы в больших управляющих комплексах, в целом ряде новых массовых микрочипов, базирующихся на нечеткой логике [53].

Применительно к транспортным моделям нечеткие множества прежде всего могут применяться для поиска данных по качественному описанию в хранилище данных.

1.5 Особенности использования программного обеспечения транспортных моделей при оценке эффективности проектных решений

Программное обеспечение ЭВМ как инструмент моделирования предъявляет повышенные требования к качеству исходных данных, допускает относительно широкий набор альтернатив в выборе технологий моделирования, предоставляет значительное количество настраиваемых параметров и коэффициентов, а также показателей качества функционирования. От качества разработки и компетентности в использовании этого инструмента может зависеть эффективность

капиталовложений в транспортную инфраструктуру. Неквалифицированное применение инструментов моделирования транспортных потоков не только сводит на нет все их преимущества, но и может привести к принятию неверных решений, что помимо финансовых потерь дискредитирует сам метод моделирования и снижает уровень доверия к нему.

Транспортная модель призвана повысить обоснованность управленческих решений на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях управления дорожным движением.

Стратегический уровень моделирования охватывает весь регион моделирования с внешними связями. Его главная задача – отображение и прогнозирование баланса между спросом на транспортные услуги и возможностями его удовлетворения различными видами транспорта. Данные об экономическом и социально-экономическом развитии региона позволяют прогнозировать возможное изменение качества транспортного обслуживания бизнеса и населения и на этом основании принимать стратегические решения о развитии тех или иных видов транспорта, транспортных терминалов и реализации крупных строительных проектов в жилищной и промышленной сферах.

Моделирование на тактическом уровне обеспечивает обоснованное принятие решений по модернизации транспортной сети, совершенствованию ОДД, а также позволяет выполнять оценку последствий от закрытия отдельных участков для выполнения ремонтных работ, массовых мероприятий и т.д.

На оперативном уровне основное внимание уделяется детальному анализу пропускной способности отдельных транспортных связей и пересечений, а также влиянию режимов регулирования в АСУДД и ИТС, в том числе в режиме онлайн, когда модель включена в контур управления.

Исходя из целей проектирования ОДД транспортные модели должны быть способны:

- осуществлять оценку уровня потенциальной опасности на объекте проектирования при принятых решениях по организации и управлению движением,

- рассчитывать интенсивность движения различных категорий участников движения и уровень загрузки элементов улично-дорожной сети, параметры характеризующие условия движения,

- определять параметры, характеризующие уровень транспортного обслуживания отдельных территорий и[или объектов (прежде всего время сообщения при перемещении до рассматриваемой территории и[или объекта из заданных точек),

- определять параметры, необходимые для расчета экономических потерь при осуществлении дорожного движения транспортных средств и пешеходов, а так же оценки воздействия от автомобильного транспорта на окружающую среду.

Применение математических моделей при выработке проектных решений возможно на следующих стадиях:

- получение исходных данных для решения задач проекта;
- вариантное моделирование для оперативной оценки эффективности принимаемых решений;

- анализ эффективности принятых решений на завершающей стадии работ или в процессе аудита проектных решений.

В рамках настоящего исследования нами рассматривается следующая методология построения и работы с программным обеспечением транспортных моделей:

- выбор типа транспортной модели и программного обеспечения для ее реализации;

- сбор и ввод исходных данных, оценка возможностей использования модели путем верификации, калибровки и валидации;

- выполнение экспериментов, интерпретация и анализ результатов.

Выводы к главе 1

Анализ ситуации, складывающаяся в крупных и крупнейших городах России и на подходах к ним, показывает, что существующая градостроительная практика и методы организации дорожного движения не обеспечивают решение задачи перегруженности городских улично-дорожных сетей. Реализация принципов интегрированного подхода к решению транспортных проблем, определенных Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года, сдерживается, в том числе, отсутствием достаточного методического обеспечения для оценки эффективности планируемых мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети.

Задача расчета и обеспечения требуемых значений «коэффициента непрямолинейности», нормированных действующим Руководством по проектированию городских улиц и дорог используется редко или не используется совсем, не имеет методического обеспечения и инструментария для расчета.

В научной, методической и нормативной литературе выделены критерии и количественные показатели для оценки качества функционирования транспортных комплексов в городах. В тоже время взаимосвязь этих показателей с «коэффициентом непрямолинейности» не исследовалась и не определена, что не позволяет планировать и обосновывать мероприятия, необходимые для улучшения связности улично-дорожной сети городов.

Создание интеллектуальных транспортных систем, переход от управления транспортными потоками к управлению каждой единицей транспортного средства индивидуально требуют применения более широкого класса транспортных моделей, в которых учитываются нелинейные и синергетические особенности транспортных систем, стохастический

характер и нечеткая логика исходных данных, динамическое изменение целей и условий функционирования транспортного комплекса.

Для крупных городов расчет коэффициента непрямолинейности и планирование мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети могут проводиться только с применением программного обеспечения для ЭВМ с реализацией транспортной модели, что предъявляет специфические требования как к содержанию методики оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети, так и к самому программному обеспечению.

2 Разработка количественного показателя и модели для оценки связности УДС

2.1 Количественный показатель для оценки коэффициента несвязности улично-дорожной сети и требования к алгоритму его расчета

Рекомендациями по разработке комплексных транспортных схем для крупных городов /2/ связность улично-дорожной сети предлагается оценивать коэффициентом непрямолинейности (КН) между двумя точками i и j :

$$КН_{ij} = \frac{l_{ij}^{\Phi}}{l_{ij}^B} \quad (2.1)$$

где: l_{ij}^{Φ} - фактическое расстояние между двумя точками i и j с учетом структуры улично-дорожной сети (наличие дорог и улиц, естественные и искусственные препятствия, разрешенные направления движения и т.д.);

l_{ij}^B – прямое расстояние между точками i и j «по воздуху».

КН для города в целом вычисляют как среднее значение для всех возможных пар таких точек на улично-дорожной сети города:

$$КН_{гор} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n КН_{ij} \quad (2.2)$$

где n - число транспортных зон, по которым проводится расчет КН.

Оценка степени непрямолинейности в зависимости от значения КН приводится в «Руководстве по проектированию городских улиц и дорог» /3/:

Таблица 2.1 - Оценка степени связности улично- дорожной сети города в зависимости от значения коэффициента непрямолинейности

Коэффициент непрямолинейности	Степень непрямолинейности
Более 1,3	Исключительно высокая
1,25 ÷ 1,3	Очень высокая

1,2÷1,25	Высокая
1,15÷1,2	Умеренная
1,1÷1,15	Малая
Менее 1,1	Очень малая

Рекомендуется проектировать улично-дорожные сети со степенью непрямолинейности от очень малой до высокой, а при очень высоких и исключительно высоких показателях следует предусматривать мероприятия по уменьшению непрямолинейности.

На практике критерий непрямолинейности при проектировании городских территорий используется редко или не используется совсем. Фактически современный Свод правил СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» не только не имеет методического обеспечения по расчету коэффициента непрямолинейности, но не содержит и самого требования по необходимости его использования /12/.

Ситуация усугубляется тем, что проблема заключается не только в транспортной планировке городов. Развитие автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУ ДД) в условиях интенсивной автомобилизации неизбежно во главу угла ставит критерии увеличения пропускной способности УДС, что обеспечивается, в том числе, закрытием левых и правых поворотов, разворотов, введением односторонних движений и т.д. Но при этом, как правило, не учитывается - насколько ухудшается связность УДС, как это влияет на перепробеги транспортных средств, на формирование заторовых ситуаций на смежных участках УДС и другие показатели.

Достаточных исследований и методических рекомендаций нет не только на уровне практических расчетов. Не имеется научного обоснования принципов транспортного районирования территории города для расчета

коэффициента связности, нет алгоритмов расчета коэффициента связности с учетом матрицы корреспонденций, расчет коэффициента связности не предусматривается компьютерными программами для транспортного моделирования.

В значительной мере такая ситуация обуславливается физическим смыслом КН, который отражает только геометрические параметры УДС и не позволяет в достаточной мере учесть транспортные характеристики. Предпринимались попытки устранить этот недостаток и модернизировать содержание и порядок расчета КН. Например И.С. Ефремовым /4/ предложено учитывать пассажиропоток при оценке маршрутной сети пассажирского транспорта:

$$КН_{\text{мар}} = \frac{\sum A_{ij}КН_{ij}}{\sum A_{ij}} \quad (2.3)$$

В рекомендациях по разработке комплексных транспортных схем для крупных городов /2/ предлагается для расчета КН учитывать площадь застройки каждой оцениваемой зоны для оценки степени непрямолинейности при поездках в зоны тяготения (в центр города):

$$КН_i = \frac{\sum S_iКН_i}{\sum S_i} \quad (2.4)$$

где: i – номер транспортной зоны;

S_i – площадь транспортной зоны;

$КН_i$. – коэффициент непрямолинейности i -ой зоны по отношению к зоне тяготения (центру города).

Однако все они не привели к широкому и повсеместному использованию КН при оценке качества транспортной инфраструктуры и показателей функционирования транспортного комплекса. Отчасти такое положение отражается на терминологических построениях. В частности, в качестве синонима КН нередко используется термин «коэффициент

связности» или «коэффициент перепробега». Это не вполне точно отражает физический смысл рассчитанной величины.

Представляется, что более точным и корректным было бы ввести понятие «коэффициента несвязности» (КНС) и называть ею величину, при расчете которой учитывается интенсивность корреспонденций между пунктами i и j (значения матрицы корреспонденций):

$$\text{КНС}_{\text{гор}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij} \text{КН}_{ij}}{n^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij}} \quad (2.5)$$

где: I_{ij} – элемент матрицы корреспонденций, отражающий интенсивность движения из пункта i в пункт j (авт/сут).

Такое определение коэффициента несвязности позволяет заметно расширить сферу его использования. Например, умножив на среднюю длину маршрута между точками i и j и анализируемый период времени получаем суммарный перепробег:

$$\Delta L_{\Sigma} = \Delta t * l_{\text{cp}} * \text{КНС}_{\text{гор}} \quad (2.6)$$

Используя среднюю скорость движения можно рассчитать потери времени:

$$\Delta T = \Delta L_{\Sigma} / v_{\text{cp}} \quad (2.7)$$

Эти значения в свою очередь позволяют по известным соотношениям оценить экологические показатели и показатели социально–экономической эффективности функционирования транспортного комплекса города.

Например, в «Методических указаниях по расчету выброса вредных веществ автомобильным транспортом» /92/ масса выброшенного за расчетный период вредного вещества напрямую связывается с суммарным пробегом групп автомобилей с различными типами ДВС (бензиновыми, дизельными, газовыми и др.):

$$M_j^t = \sum_I \sum_j m_{jik} Z_{ik} \prod_n R_{jik} \quad (2.8)$$

где: I - количество групп автомобилей с различными типами ДВС;

m_{jik} - удельный выброс j -го вредного вещества автомобилем i -й группы с двигателем k -го типа на расчетный период t (включает в себя пробеговой выброс с учетом картерных выбросов и испарений топлива), г/км;

Z_{ik} - пробег автомобилей i -й группы с двигателем k -го типа за расчетный период, млн. км;

PR_{jik} - произведение коэффициентов влияния n разных факторов на выброс j -го вредного вещества автомобилями i -й группы с двигателем k -го типа в рассматриваемом регионе.

Реализация указанного подхода в рамках функционирующих транспортных моделей города требует решения ряда специфических задач:

Задача 1. Транспортное районирование.

Обычно транспортное районирование представляет собой неформализованный процесс, когда в каждый транспортный район включаются относительно однородные территории. В общем случае размеры и количество транспортных районов следует назначать исходя из требуемой точности расчетов и их трудоемкости, а также из достоверности и полноты исходной информации. Теоретические и методические аспекты особенностей транспортного районирования для решения задач по оценке связности улично-дорожной сети рассмотрены в разделе 2.2.

Задача 2. Оценка матрицы корреспонденций.

Оценка существующих матриц корреспонденций выполняется, как правило, на основе проведения опроса участников о маршрутах движения или регистрацией транспортных средств. Для крупных городов это является чрезвычайно дорогой, трудоемкой, а часто и невыполнимой задачей.

В условиях функционирования ИТС, в составе которой в обязательном порядке применяются детекторы транспорта (в ИТС Москвы, например, детекторами транспорта контролируется свыше 6 тыс. логических

направлений движения), для восстановления матрицы корреспонденций целесообразно использовать именно эти данные.

Теоретические и методические аспекты особенностей восстановления матрицы корреспонденций для решения задач по оценке связности улично-дорожной сети рассмотрены в разделе 2.4.

Задача 3. Выбор маршрута и расчет коэффициентов связности УДС города в целом или его отдельных территорий.

При наличии данных по матрице корреспонденций расчет проводится по формуле для $KHC_{гор}$, приведенной выше. Практическое применение этой формулы требует учета ряда особенностей:

- в большинстве случаев существует некоторое множество маршрутов движения из зоны I в зону j , причем критерии выбора маршрута оказываются разными для разных категорий участников дорожного движения;

- большое количество транспортных зон порождает еще большее количество элементов матрицы корреспонденций, что требует выработки качественных и количественных критериев для оценки коэффициента несвязности по выборочным данным.

Теоретические и методические аспекты особенности выбора межзональных маршрутов и для решения задач по оценке связности улично-дорожной сети рассмотрены в разделах 2.2 и 2.4.

Задача 4. Формирование приоритетных направлений развития транспортной инфраструктуры с учетом коэффициента связности и оценка социально-экономической эффективности инвестиционных проектов в области развития транспортной инфраструктуры на предпроектной и проектной стадиях.

Алгоритм определения приоритетных транспортных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе включает несколько относительно самостоятельных этапов:

- На основе полученных данных о коэффициентах связности пар районов делается вывод о необходимости осуществления мероприятий для повышения связности между ними. Вывод о целесообразности мероприятий делается поэтапно с ранжированием по критерию связности. Мероприятия группируются в соответствии со значением связности, которое устанавливается от большего к меньшему (то есть поэтапно определяются группы мероприятий для коэффициентов связности 5,4,3 и далее). Данный подход позволяет выделить наиболее проблемные места;

- Определяется необходимость строительства нового участка улично-дорожной сети, либо корректировки организации дорожного движения. Данный вывод формируется в соответствии с анализом объектов, разделяющих районы. В случае, если проведенный между узлами примыканий районов отрезок пересекает водные преграды и ж/д пути, делается вывод о необходимости строительства дорожного линейного объекта (путепровода). При пересечении отрезком дорожного линейного объекта, проверяется условие возможности решения проблемы низкой связности путем изменения организации дорожного движения. Отсутствие пересечения с объектами говорит о необходимости соединения существующих участков дорожной сети;

- Сформированный список мероприятий ранжируется в соответствии с методическими указаниями по оценке социально-экономической эффективности инвестиционных проектов в области развития транспортной инфраструктуры /7,8,9/. Данная процедура позволит учесть наиболее значимые корреспонденции, осуществляемые как между районами, так и транзит через них. Наибольший приоритет имеют мероприятия с высокими значениями инвестиционных показателей.

Заключительным этапом работы по определению межрайонной связности города и необходимых мероприятий для её повышения является подготовка заключения, содержащего значение коэффициента межрайонной

связности города, а также списка мероприятий, ранжированных и скорректированных в соответствии с приносимым социально-экономическим эффектом, а также нормативными документами, регламентирующими правила застройки городских территорий.

На рисунке 2.1 представлена методика (последовательность) действий повышения эффективности функционирования транспортного комплекса города на основе увеличения связности улично-дорожной сети.



Рисунок 2.1 - Методика (последовательность) действий повышения эффективности функционирования транспортного комплекса города на основе увеличения связности улично-дорожной сети

2.2 Транспортное районирование для расчета коэффициента несвязности

Начальным этапом и основой методики расчета связности является транспортное районирование города. На практике даже незначительное изменение границ районов приводит к существенному изменению расчетной величины коэффициента несвязности. Естественно, что число и размеры расчетных зон выбирают в зависимости от размера территории города и его планировочных особенностей. При этом надо исходить из того, что чем больше назначено зон, тем точнее будет определен транспортный и пассажиропоток и тем меньше расчетная величина будет зависеть от принципов проведенного районирования.

В настоящее время применяется несколько основных подходов к формированию территориальных зон в городах.

Административно-территориальное районирование.

В соответствии с Федеральным законом от 6 октября 1999 года № 184-ФЗ «Об общих принципах организации законодательных (представительных) органов субъектов Российской Федерации» вопрос об административно-территориальном устройстве субъектов Российской Федерации отнесен к компетенции представительных (законодательных) органов субъектов Российской Федерации. Фактически территориальное районирование обуславливается историческими, природными, политическими, экономическими, национальными и иными факторами.

Например, в настоящее время на территории города Москвы образовано 125 административных районов (рисунок 2.2).

Для решения транспортных задач административно-территориальное деление должно характеризоваться степенью удовлетворения нужд населения в пределах районов. Естественными границами жилых районов в этом случае являются магистральные улицы, по которым осуществляются основные пассажирские перевозки.

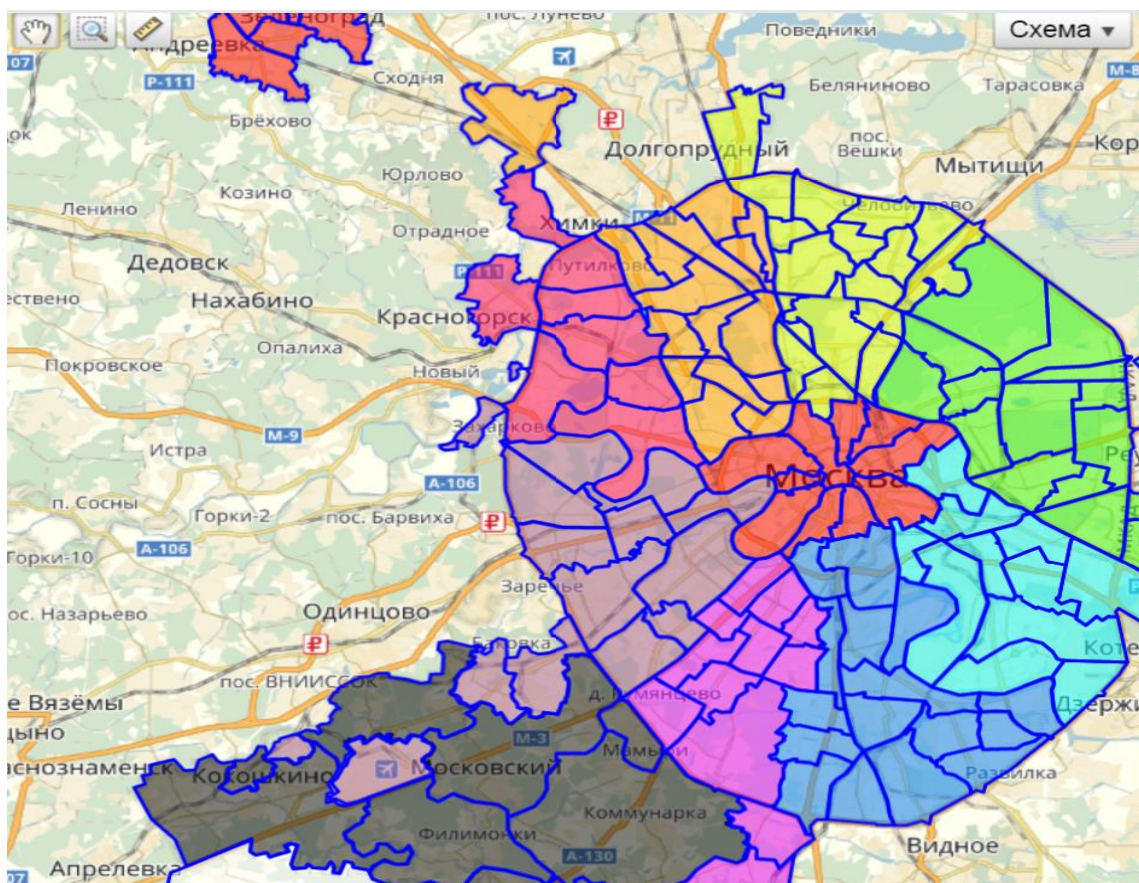


Рисунок 2.2 – Административно-территориальное деление города Москвы на районы.

Однако подобное районирование не применимо при формировании комплексных схем организации дорожного движения, в том числе и для расчетов межрайонной связности - прежде всего из-за размеров каждого района. Например, численность населения в районах составляет от 12 тыс. чел. (муниципальное образование «Восточный») до 250 тыс. чел. (Марьино). Каждый район включает десятки (иногда сотни) перекрестков, светофорных объектов и других элементов организации дорожного движения. Во многих случаях границы пролегают по линиям магистралей, улиц и проездов, разделяющим транспортные потоки противоположных направлений.

Функциональное зонирование.

Законом г. Москвы от 9 декабря 1998 г. № 28 "О градостроительном зонировании территории города Москвы" [75] установлены 14 типов функционального назначения кварталов и планировочных районов:

природные, общественные, жилые, производственные, общественно-жилые и др.

На территории города выделяются также зоны инженерной и транспортной инфраструктур, которые предназначены «для размещения промышленных, коммунальных и складских объектов, объектов инженерной и транспортной инфраструктур, в том числе сооружений и коммуникаций железнодорожного, автомобильного, речного, морского, воздушного и трубопроводного транспорта, связи, а также для установления санитарно-защитных зон таких объектов в соответствии с требованиями технических регламентов». С учетом данных требований в Генеральном плане развития города Москвы на период до 2025 года выделены необходимые зоны (рисунок 2.3).

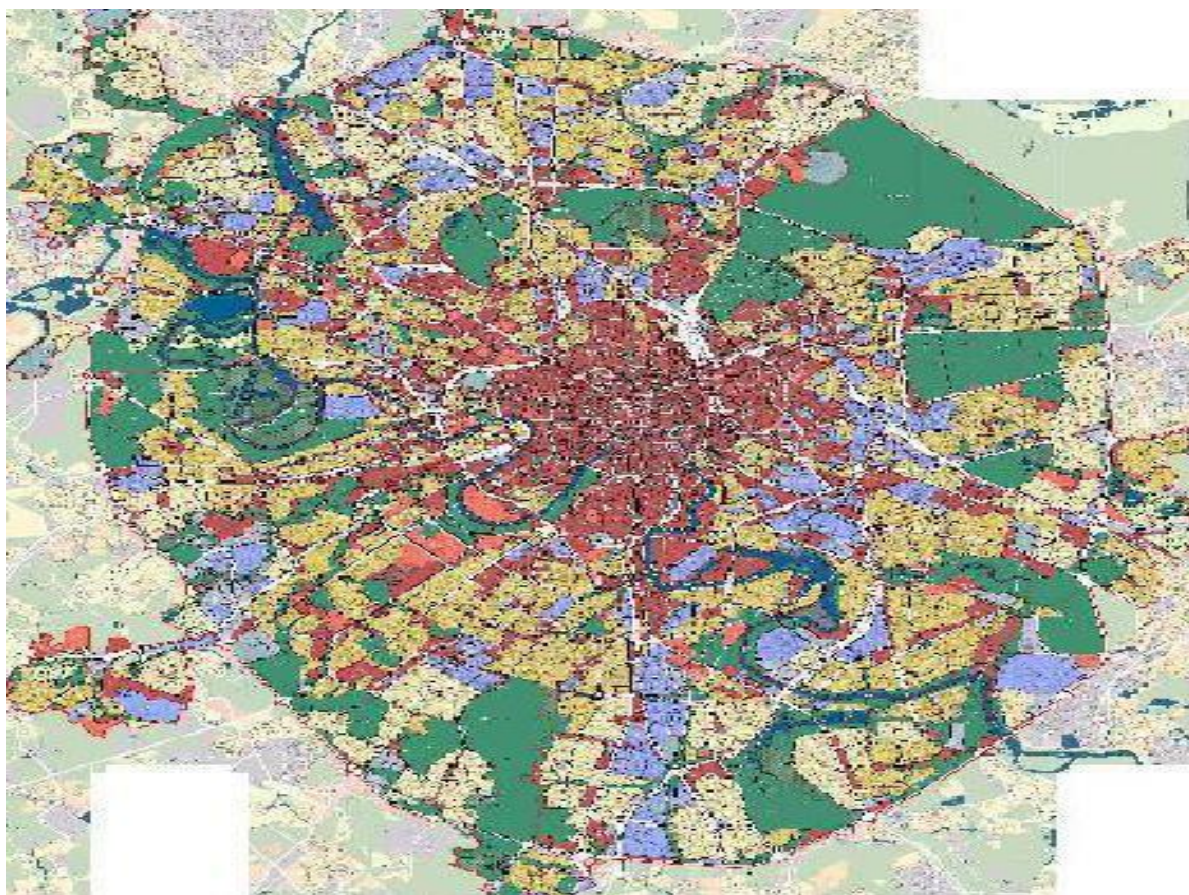


Рисунок 2.3 – Функциональное зонирование города Москвы по Генеральному плану развития на период до 2025 года

Генеральными планами развития отечественных городов предусматривается разделение всей территории на зоны именно по функциональному признаку. Также, как и в случае с административно-территориальным районированием, совмещение различных функций территории позволило бы снизить общее число корреспонденций и, соответственно, транспортную работу УДС. На практике, однако, функциональные зоны формируются с обеспечением как можно большей однородности этих зон.

Промышленный район, как правило, включает предприятия, электростанции, инженерные сооружения и сети. Селитебные территории формируют вокруг общественных центров с учреждениями и предприятиями культурно-бытового обслуживания: службы быта, детские сады, школы, магазины, театры, кинотеатры и стадионы.

Функциональные районы должны иметь четко выраженную границу. Градостроительным кодексом Российской Федерации [74] определено, что границы территориальных зон могут устанавливаться по:

- естественным границам природных объектов и иным границам;
- линиям магистралей, улиц, проездов;
- границам земельных участков;
- границам муниципальных образований, в том числе границам внутригородских территорий городов федерального значения Москвы и Санкт-Петербурга.

Более того, промышленный район, например, отделяется от селитебной территории санитарно-защитной зоной (аллеи, защитные зеленые полосы, скверы) шириной 50 — 300 м

Однако ключевым моментом, существенно ограничивающим применение функционального районирования для решения транспортных задач является необходимость выделения в каждом районе условного центра

(центроида) – специального узла, являющегося модельным образом всего района.

Собственно для расчетов коэффициентов несвязности и непрямолинейности границы районов не нужны, так как в состав графа УДС входят только условные центры, являющиеся начальными и конечными пунктами транспортного движения. В любой транспортной модели каждый район сведен к центру тяжести. Границы показывают пространственное положение района, однако влияние на распределение транспорта оказывает только положение центра района. Границы районов используются для того, чтобы определить, какие объекты попадают на территорию района и оценить емкости районов по прибытию и отправлению.

Исходя из этих требований функциональные районы не могут использоваться для расчета коэффициента несвязности, т.к. в большинстве случаев их границы проходят по магистралям, улицам и проездам и в пределах этих районов невозможно выделить условные центры, матрицы корреспонденций между которыми отражали бы потребности транспортного спроса в городе.

Транспортное районирование

Для целей решения транспортных проблем разработаны различные критерии и подходы к формированию транспортных районов, которые прежде всего отражают источники и цели передвижений в транспортной системе [21, 22, 75, 78, 80]

В таблице 2.2 сведены основные требования к формированию транспортных районов и практические приемы их реализации.

Таблица 2.2 - требования к формированию транспортных районов и практические приемы их реализации

Критерий формирования транспортного района	Условия реализации
Размеры	Рекомендуется формировать транспортные районы

транспортного района	численностью постоянно проживающего трудового около 20 тыс. чел. и расчетной площадью около 100 га. Однако не обязательно следовать критерию равенства районов по площади или численности населения. Можно выделять более мелкие районы в зонах, которые примыкают к наиболее загруженным и важным участкам улично-дорожной сети и более крупные районы на краю области моделирования.
Границы и конфигурация транспортного района	В качестве границ транспортного района желательно использовать элементы, препятствующие сообщению между районами: реки, водохранилища, овраги, полосы отвода железных дорог, заборы предприятий, крупные массивы зеленых насаждений и пр. Следует учитывать направление передвижения жителей к предполагаемым линиям массового пассажирского транспорта внутри районов. При отсутствии естественных преград границы районов назначают по линиям, равноудаленным от уличных магистралей, по которым предполагается основной поток транспорта. На практике в качестве пунктов начала и окончания поездки принимают центры транспортных микрорайонов, на которые делят обслуживаемую территорию. Если жилой массив расположен вдоль магистрали, имеющей единственную транспортную связь с остальной городской застройкой (магистраль-радиус), то данный жилой массив принимают за один транспортный район
Условные центры транспортных районов (центроид)	Центроид следует рассматривать как геометрический центр транспортной сети зоны, смещенный в сторону основных пассажирообразующих пунктов. За центр тяжести транспортного района может быть принят также многофункциональный пересадочный узел или наиболее нагруженный центрально расположенный остановочный пункт (обычно на пересечении транспортных линий).
Функциональный тип района	При разбивке нужно по возможности стремиться к выделению транспортных районов с определенным планировочным профилем (жилой с однотипной застройкой, административный, общественно-культурный). Общегородские пункты массового тяготения (парки, стадионы, торгово-развлекательные центры и т.п.) следует выделять в отдельные расчетные зоны. Это облегчает оценку транспортного спроса на корреспонденции между районами.
Внутрирайонная улично-дорожная сеть	В каждом транспортном районе необходимо предусмотреть как минимум одну улицу (магистраль), которая по возможности являлась бы его осью симметрии. Важные пересечения и станции внеуличного транспорта должны располагаться внутри районов.

Транспортное районирование территории Москвы (в пределах МКАД), проведенное по такому принципу, составляет 980 районов представлено на рисунке 2.4

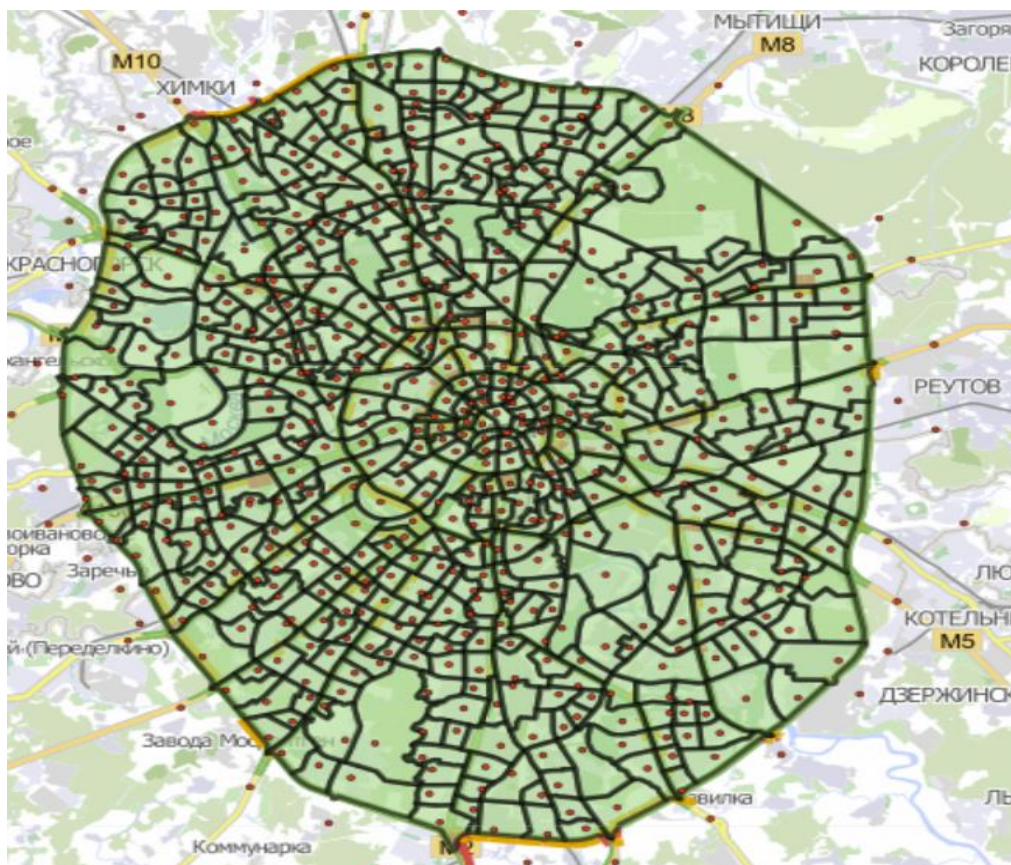


Рисунок 2.4 _Транспортное районирование города Москвы.

Классический подход, изложенный в таблице 2.1, имеет несколько существенных особенностей, ограничивающих его применение для расчета коэффициента несвязности с использованием возможностей транспортной модели.

- Результаты транспортного районирования имеют субъективный характер, поскольку зависят от опыта, квалификации и объема знаний специалиста (группы специалистов), осуществляющих районирование.
- Определение транспортного спроса для района требует весьма значительного объема исходных данных: число мест приложения труда; выявление возрастной структуры района; проведение анкетного опроса по объему и направлениям передвижений и др.
- В составе программного обеспечения транспортной необходимо иметь специальную функцию (сервис), позволяющую

описывать и отображать границы транспортных районов. Требуется также процедуры ввода и актуализации данных о составе и границах транспортных районов.

- Замена территориально - распределенных районов на точечные центры может вносить в результаты расчетов существенные искажения. Чем мельче районы – тем меньше эти искажения. В частности, для расчета коэффициента несвязности, в отличие от коэффициента непрямолинейности, существенное значение имеет направление движения. Современные условия дорожного движения требуют введения одностороннего движения, запретов на развороты и закрытия поворотов на перекрестках. На практике простой перенос условного центра района на другую сторону улицы может в разы изменить результат расчета коэффициента несвязности.

С учетом изложенных факторов нами предлагается в качестве варианта для расчета коэффициента несвязности (непрямолинейности) с использованием транспортной модели не проводить транспортное районирование, а качестве центров транспортных районов использовать координаты остановок общественного транспорта (наземного и внеуличного).

Поскольку маршруты общественного транспорта в любом случае вводятся в состав транспортной модели в виде самостоятельного информационного слоя, это не потребует работ по дополнению транспортной модели информацией о транспортных моделях и, одновременно, сделает физически более ясными и понятными данные о пассажиропотоках.

В настоящее время на маршрутной сети общественного транспорта Москвы имеется 9916 остановок, что позволяет с достаточной полнотой закрыть всю территорию города и описать маршруты движения пассажиров. На рисунке 2.5 приведена карта территории Южного округа города Москвы с радиусами 500 м. относительно имеющихся остановок.

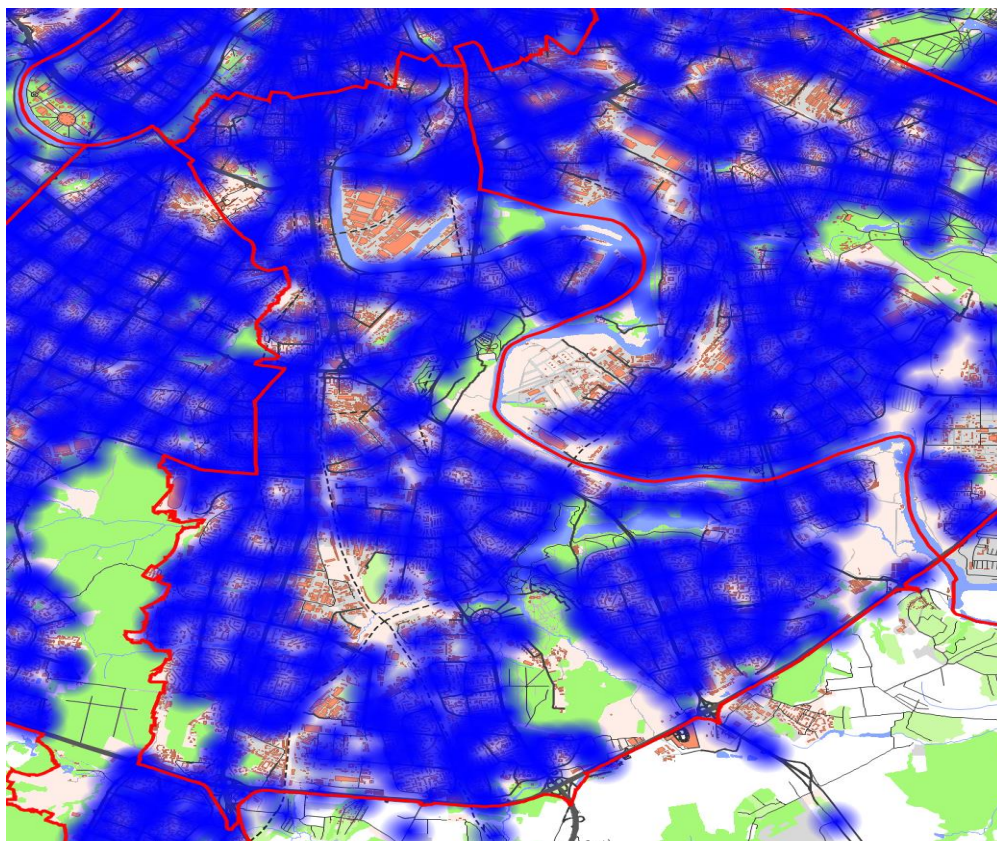


Рисунок 2.5 – Транспортные районы Южного округа города Москвы на основе остановок общественного транспорта.

Из рисунка видно, что при таком формировании транспортных районов вне транспортных районов остаются только парковые и промышленные зоны, пассажиропоток из которых стекается к существующим остановкам общественного транспорта.

В течение длительного времени количество районов являлось критическим параметром с точки зрения затрат вычислительных ресурсов. В настоящее время практических ограничений на это существует, особенно учитывая тот факт, что не требуется проводить расчет коэффициента несвязности в реальном масштабе времени и с малыми интервалами времени.

2.3 Методы оценки матрицы корреспонденций для расчета коэффициента несвязности с использованием транспортной модели.

Методы оценки матрицы корреспонденций рассмотрены во многих работах зарубежных и отечественных авторов [22, 31, 35, 40, 45, 63,81-86]. В

нашей стране в большинстве случаев использовались ручные методы: подсчет интенсивности движения наблюдателями или анкетирование [14].

Для расчета коэффициента несвязности с использованием транспортной модели эти методы малопригодны прежде всего из-за необходимости использования транспортного районирования с небольшим размером транспортных зон, что, соответственно, требует привлечения большого количества работников.

Хорошей альтернативой методам подсчета интенсивностей движения наблюдателями или посредством анкетирования является методика формирования т.н. «качественной матрицы корреспонденции» (КМК), предложенной С.В. Жанказиевым, А.И. Воробьевым и Д.Ю. Морозовым [11, 93], которые отмечают, что «основное отличие КМК от простых матриц корреспонденции заключается в том, что она содержит информацию не только об истоках, ОП и параметрах ТП, связанных с ними, но и об основных маршрутах движения ТС и количественных характеристиках ТП, следующих данными маршрутами». Методика основана на технических средствах идентификации транспортных средств, передвигающихся по улично-дорожной сети. Решена задача оптимального сочетания технических характеристик идентификационных блоков и способа их размещения на участках улично-дорожной сети при проектировании систем косвенного управления транспортными потоками.

Выше отмечалось, что на величину коэффициента несвязности (непрямолинейности) может самым существенным образом влиять даже незначительный перенос центра тяжести транспортного района, что требует детального транспортного районирования вплоть до каждой отдельно взятой остановки общественного транспорта. Поэтому для целей настоящего исследования нами предлагается два подхода: (гравитационный и энтропийный), преимущественно основанные на данных об интенсивности

движения, фиксируемых детекторами транспорта в составе интеллектуальной транспортной системы [15, 87].

При использовании гравитационной модели предполагается, что интенсивность движения $I_{i,j}$ между транспортными районами i и j пропорциональна исходящему потоку U_i из района i , входящему потоку V_j в район j и некоторой функции $f(r_{i,j})$, где $r_{i,j}$ – расстояние между районами i и j :

$$I_{i,j} = k * f(r_{i,j}) * U_i * V_j \quad i=1 \dots N: j=1 \dots N \quad (2.9)$$

Здесь k постоянный коэффициент, а $I_{i,j}$ элемент матрицы корреспонденций $[[I]]$.

Чаще всего $r_{i,j}$ определяется, конечно, не географическим расстоянием, а дальностью в транспортном смысле – временем поездки, стоимостью, экологическим загрязнением и др. Но в случае расчета коэффициента несвязности используется, естественно, именно расстояние в прямом исчислении.

Следует еще раз подчеркнуть, что в большинстве случаев рассматривают диагональную матрицу $[[I]]$, имея в виду, что интенсивность движения из района i в район j равна интенсивности движения в обратном направлении. Выше мы уже отмечали, что для большинства случаев расчета коэффициента несвязности это не так, и необходима полная матрица корреспонденций.

В качестве функции $f(r_{i,j})$ обычно применяют экспоненциальную функцию [65], что приводит к следующему математическому выражению:

$$I_{i,j} = k * \frac{V_i U_j}{e^{ar_{i,j}}} \quad i=1 \dots N: j=1 \dots N \quad (2.10)$$

Расстояние $r_{i,j}$ складывается как сумма длин ребер графа улично-дорожной сети на пути из района i в район j :

$$r_{i,j} = \sum_{l_{i,j} \in L_{i,j}} l_{i,j} \quad (2.11)$$

где: $L_{i,j}$ – множество элементов (дуг) графа улично-дорожной сети на пути из района i в район j :

$l_{i,j}$ - длина конкретного ребра графа УДС на пути $L_{i,j}$.

Значение коэффициента k на расчет коэффициента несвязности не влияет.

На выражение (2.10) накладываются совершенно естественные ограничения:

$$\sum_{i=1}^N I_{i,j} = V_j \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^N I_{i,j} = U_i \quad (2.13)$$

Ограничения (2.12) и (2.13) означают, что сумма всех исходящих потоков из всех транспортных районов в один конкретный район должна равняться входящему потоку в этот район, а исходящий поток из любого конкретного района должен равняться сумме входящих потоков из данного района во все другие. Удовлетворение этих условий в формулу (2.10) добавляет так называемые «балансирующие» коэффициенты. Для конкретных условий предложены и обоснованы различные варианты решения системы уравнений (2.10-2.11) [15, 40, 87]. В частности, А. Дж. Вильсон приводит такую модификацию гравитационной модели:

$$I_{i,j} = A_j B_i V_i U_j f(r_{i,j}) \quad i,j = 1,2,\dots,N$$

где:

$$A_j = \left[\sum_{i=1}^n U_i V_i f(r_{i,j}) \right]^{(-1)} \quad j= 1,2,\dots,N$$

$$B_i = \left[\sum_{j=1}^n U_j V_j f(r_{i,j}) \right]^{(-1)} \quad i= 1,2,\dots,N$$

Значения U_i и V_j формируются на основе данных детекторов транспорта с распределением (при необходимости) по видам транспорта,

времени суток, дням недели и другим факторам, которые могут влиять на загрузку улично-дорожной сети и маршруты движения.

При достаточно большом количестве детекторов транспорта гравитационный метод модифицируется пропорциональным делением потока $I_{i,j}$ на промежуточных элементах маршрута $L_{i,j}$:

$$I_{(i,j)}^{\text{исх}} = I_{(i,j)}^{\text{вх}} * \frac{\mu_{(i,j)}}{\sum \mu_{(m)}} \quad (2.14)$$

где: $I_{(i,j)}^{\text{вх}}$ – значение матрицы корреспонденций на входе на промежуточный узел по маршруту $L_{i,j}$;

$I_{(i,j)}^{\text{исх}}$ - значение матрицы корреспонденций на выходе с промежуточного узла по маршруту $L_{i,j}$;

$\mu_{(i,j)}$ – данные детектора транспорта об интенсивности движения на выходе с промежуточного узла на маршруте $L_{i,j}$;

$\sum \mu_{(m)}$ – сумма данных от всех детекторов транспорта об интенсивности движения на выходе с промежуточного узла на маршруте $L_{i,j}$.

В качестве примера на рисунке 2.6 представлен маршрут движения в городе Москве от м. Чистые пруды (транспортный район i) до м. Достоевская (транспортный район j).

На рисунке 2.7 выделен один из промежуточных районов (узлов графа улично-дорожной сети) на этом маршруте (пересечение Бульварного кольца и ул. Петровка). с расположенными на этом пересечении детекторами транспорта. На этом пересечении имеется 5 детекторов транспорта. Нас интересуют данные от двух детекторов транспорта, используя который можно рассчитать выходной поток по маршруту при известном значении на входе:

$$I_{(i,j)}^{исх} = I_{(i,j)}^{вх} * \frac{\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} \quad (2.15)$$

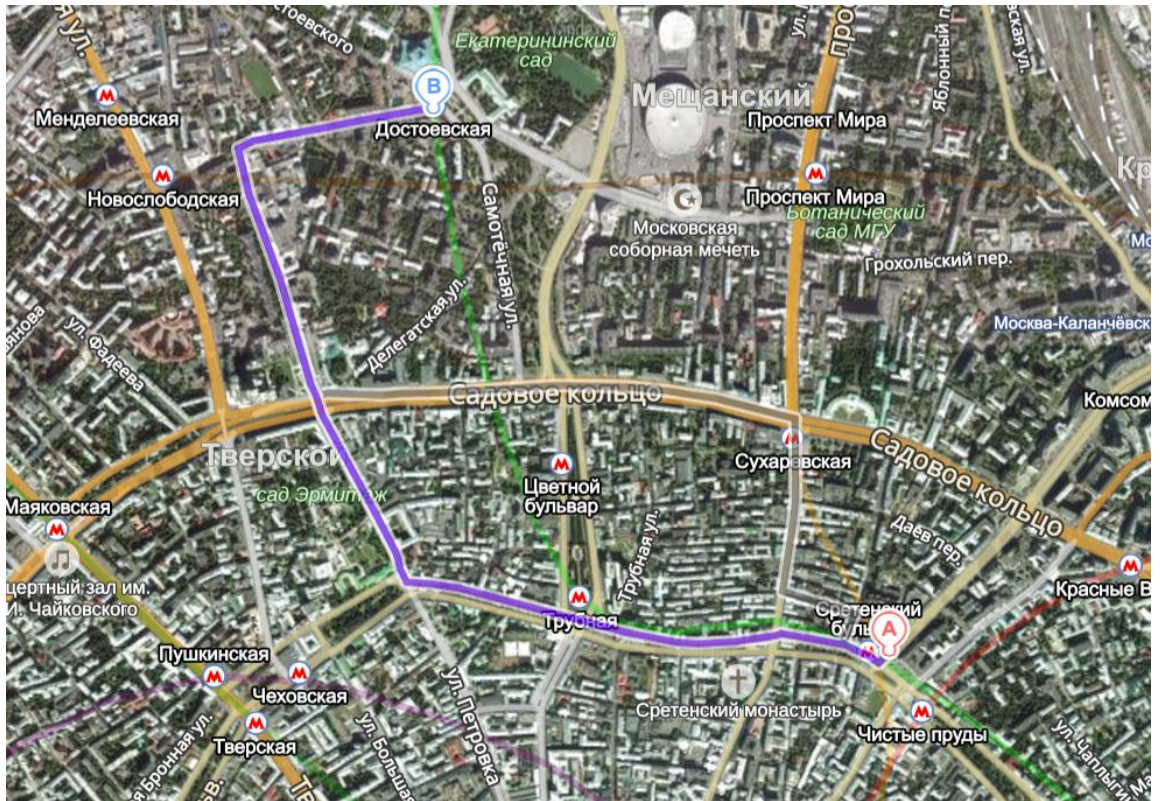


Рисунок 2.6 - Маршрут движения в городе Москве от м. Чистые пруды до м. Достоевская.

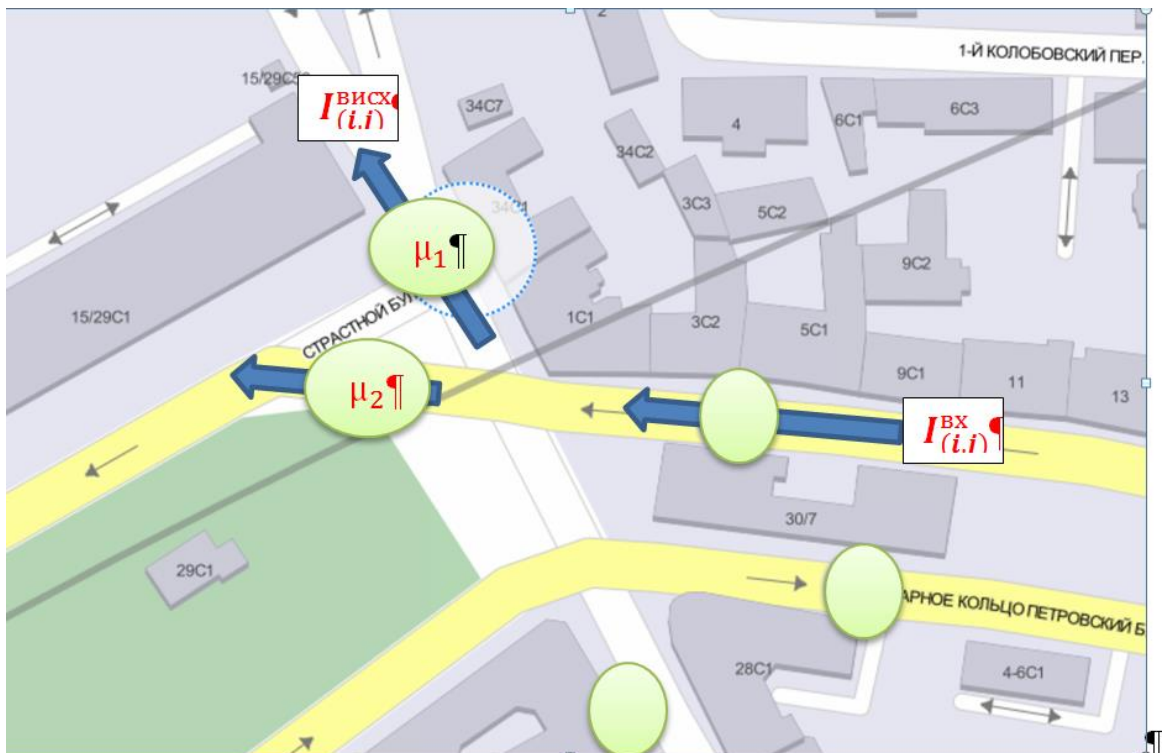


Рисунок 2.7 - Промежуточный узел на маршруте (пересечение Бульварного кольца и ул. Петровка) с расположенными на этом пересечении детекторами транспорта.

Практический алгоритм состоит в последовательном применении выражения (2.10) с корректировкой по выражению (2.15) в тех узлах, где имеется достаточное число детекторов транспорта для подсчета интенсивностей движения по требуемым направлениям.

При использовании выражений (2.10) и (2.15) сохраняется проблема выбор объекта и периода наблюдений для расчета интенсивностей $I_{i,j}$. Как отмечалась выше размерность матрицы $[[I]]$ может составлять несколько тысяч, т.е. она может содержать десятки миллионов элементов. Для анализа этой матрицы вполне применим подход к ней как к сложной системе стохастического характера [41, 43, 44, 87]. С одной стороны, каждый элемент матрицы является непрерывной случайной величиной на микроуровне. С другой стороны, совокупность этих значений отражает качественно новое состояние движения на макроуровне, включающей свойства самоорганизации, нелинейности, сохранения общих свойств при том, что каждый пользователь транспортной сети самостоятелен и выбирает кратчайший маршрут, используя свои критерии.

Для решения подобных задач в настоящее время широкое распространение получили энтропийные модели, основанные на гипотезе о том, что состояние равновесия в макросистеме достигается при максимуме её энтропии [88]. Доказано, что они являются обобщением гравитационной модели, созданы эффективные алгоритмы для расчетов по энтропийным моделям.

Для многих практических случаев энтропия может выступать в роли универсального параметра и идеально подходит для анализа сложных

стохастических систем, каковой будем считать улично-дорожную сеть и матрицу $[[I]]$, являющуюся в данном случае объектом анализа.

Обозначим $P_I(I_{i,j})$ плотность распределения случайной величины $I_{i,j}$. Тогда энтропия этой величины рассчитывается по формуле [88]:

$$\Psi(I_{i,j}) = - \int_{-\infty}^{+\infty} P_I(I_{i,j}) \ln P_I(I_{i,j}) d I_{i,j} \dots\dots\dots(2.16)$$

В общем случае величины $I_{i,j}$ взаимозависимыми, поэтому совместная энтропия матрицы $[[I]]$ определяется по формуле:

$$\Psi(I) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} P_I(I_{i,1}, I_{i,2} \dots I_{i,N}) \ln P_I(I_{i,1}, I_{i,2} \dots I_{i,N}) dI_{i,1} dI_{i,2} \dots dI_{i,N} \quad (2.17)$$

где: $i = 1, 2, \dots N/$

Согласно принципу энтропийной модели реальному распределению потоков на сети, которые генерируются в результате самоорганизации, соответствует распределение потоков, при котором достигается максимум энтропийной функции $\Psi(I)$:

$$\Psi(I) \Rightarrow \max_I \quad (2.18)$$

Максимизация взвешенной энтропии означает, что в системе находится равновесное состояние, которое близко по вероятности к тому, которое сложилось бы в реальной транспортной системе при учете индивидуальных предпочтений.

Достаточно подробная классификация и методы оптимизации рассмотрены в работах А.Дж. Вильсона, А.С. Михайлова, И.М. Головных, А.В. Гасникова [14, 15, 87, 89]. Рассмотрим подробнее случай, когда непрерывные случайные величины элементов матрицы $[[I]]$ подчиняются нормальному закону. Замена неизвестных законов распределения нормальным широко применяется на

практике, поскольку распределение случайной величины, являющейся суммой достаточно большого числа переменных (от нескольких десятков и более) хорошо аппроксимируется нормальным законом.

Это допущение означает, что величина $P_I(I_{i,j})$ в выражении (2.16) будет иметь вид:

$$P_I(I_{i,j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_I} e^{-\frac{(I_{i,j}-m_{i,j})^2}{2\sigma_{I_{i,j}}^2}} \quad i,j=1,2,\dots,N \quad (2.19)$$

Энтропия случайной величины с таким распределением получена К. Шенноном [88]:

$$\Psi(I_{i,j}) = \frac{1}{2} \ln \left[(2\pi e) \sigma_{I_{i,j}}^2 \right] \quad i,j=1,2,\dots,N \quad (2.20)$$

В [90] для этого случая приведено выражение для расчета совместной энтропии:

$$\Psi(I) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \Psi(I_{i,j}) + \frac{1}{2} \ln |I| \quad (2.21)$$

где $|I|$ - определитель матрицы $[[I]]$.

Второе слагаемое на поиск максимума не влияет, поэтому нахождение искомых элементов матрицы $[[I]]$ сводится к поиску максимума:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \Psi(I_{i,j}) \Rightarrow \max_I \quad (2.22)$$

В большинстве исследований по проблеме восстановления матрицы корреспонденций подчеркивается, что любая предварительная информация о распределении транспортных потоков существенно повышает точность оценки восстановления матрицы корреспонденции. При их наличии в качестве такой информации обычно выступают данные обследования маршрутов следования, которые распространяются на генеральную совокупность. При наличии транспортной модели может применяться "старая" матрица

корреспонденции, корректируемая на основе данных интенсивности движения по формулам (2.10) и (2.15).

Итоговые значения $I_{i,j}$ рассчитываются в ходе итерационной процедуры при максимизации выражения (2.22). На каждой k -ой итерации одним из известных методов оптимизации (например, методом наилучшей пробы) ищется точка максимума для выражения (2.22) по одному из значений матрицы корреспонденций. Полученная точка используется в качестве начальной на следующей итерации, выполняемой при увеличивающемся значении энтропии.

Итерационный алгоритм завершается при достижении заданного значения максимального модуля отклонения:

$$\left| \sum_1^N \sum_1^N \Psi(I_{i,j}^{k+1}) - \sum_1^N \sum_1^N \Psi(I_{i,j}^k) \right| \leq \epsilon \quad (2.23)$$

Доказательство сходимости и алгоритм приведены, например, в [91].

2.4 Расщепление маршрута и подготовка исходных данных с применением теории нечетких множеств

В большинстве случаев расчет фактического расстояния l_{ij}^ϕ между двумя точками i и j в формулах 2.1 и 2.11 не может быть проведен однозначно, поскольку возможно несколько маршрутов движения. В простейшем случае рассчитывается среднее значение, которое и используется в дальнейших вычислениях.

Такой подход справедлив, если все пути равнозначны. Однако почти всегда критерии, по которым участники дорожного движения выбирают тот или иной маршрут не только не имеют количественного значения, но они переменные по времени и стохастические по своему характеру.

Результаты, достигнутые разработчиками теории нечеткой логики позволяют проводить количественный анализ явлений, которые раньше либо могли быть учтены только на качественном уровне, либо требовали

использования весьма грубых моделей [93, 94]. Применительно к задаче выбора фактического маршрута движения по УДС из точки i в j предлагается следующий алгоритм:

Обозначим E_{ij} множество путей l_{ij}^ϕ , а F — качественные характеристики этого пути. То, что мы не можем однозначно сказать, какой путь предпочтительнее, означает, что множество путей определяется не просто элементами l_{ij}^ϕ , а множеством упорядоченных пар:

$$A = \left\{ \mu_{l_{ij}^\phi} \mid l_{ij}^\phi \right\}$$

где $\mu_{l_{ij}^\phi}$ называется «характеристической функцией принадлежности, которая принимает значения в интервале $[0, 1]$. Функция принадлежности указывает степень (или уровень) принадлежности элемента l_{ij}^ϕ множеству A » [53? 73? 74].

Например, пусть имеется 6 возможных путей из точки i в j . С использованием транспортной модели рассчитывается протяженность каждого маршрута:

Вариант пути	1	2	3	4	5	6
Длина пути (в долях от максимальной)	0,4	0,5	0,8	0,9	1	1

Нечеткое множество для этого случая будет выглядеть следующим образом:

$$A = \{0.4|1; 0.5|2; 0.8|3; 0.9|4; 1.0|5; 1.0|6\}.$$

Аналогичным образом для этих маршрутов вычисляются интенсивности движения по маршруту:

Вариант пути	1	2	3	4	5	6
Интенсивность движения (в долях от максимальной)	0,9	1,0	0,6	0,9	0,6	0,8

Нечеткое множество для этого случая будет иметь вид:

$$A = \{0.9|1; 1.0|2; 0.6|3; 0.9|4; 0.6|5; 0.8|6\}.$$

В некоторых случаях эксперты на основе этих данных могут оценить возможность выбора того или иного маршрута в виде количественных значений вероятностей.

Но в большинстве случаев предпочтения можно задать только качественными характеристиками (лингвистическими переменными). Применительно к задаче выбора маршрута предлагается предпочтения оценивать 3 качественными уровнями: желательно, допустимо, нежелательно. Получены следующие качественные оценки лингвистической переменной «Предпочтение при выборе маршрута».

	Длина пути (в долях от максимальной)	Интенсивность движения (в долях от максимальной)
Желательно	До 0.5	До 0.7
Допустимо	0.5-0.9	0.7-0.9
Нежелательно	Более 0.8	Более 0.9

Графическое изображение этой переменной представлено на рисунке 2.8.

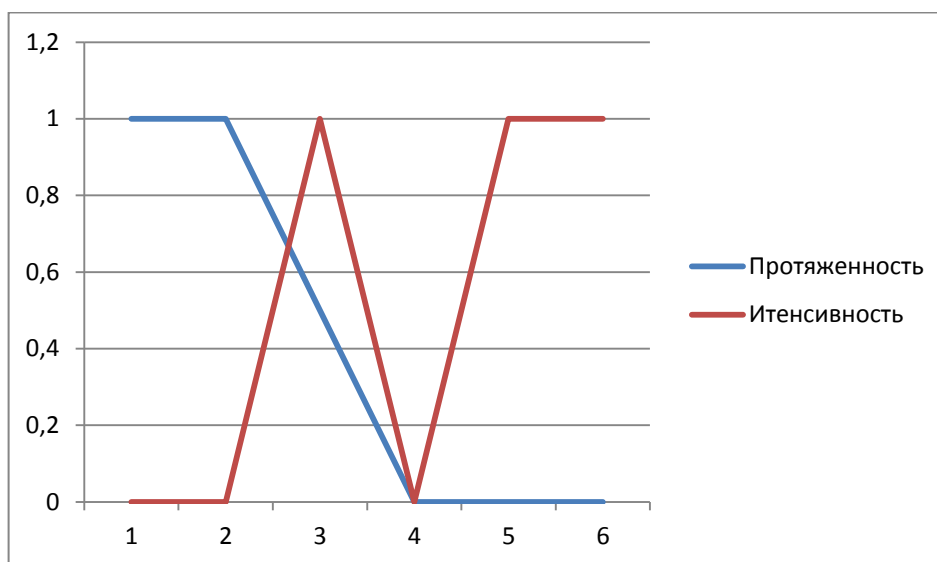


Рисунок 2.8 - Графическое изображение лингвистической переменной «Предпочтение при выборе маршрута»

С нечеткими множествами возможны классические базовые операции [73?74].[:

Объединение – формируется новое множество из всех элементов исходных множеств:

$$A \cup B = \{ \langle \text{MMb}(x)/x \rangle \}; \quad (2.24)$$

$$\text{где: } \text{MMb}(x) = \max \{ \text{Ma}(x), \text{Mb}(x) \}$$

Пересечение: формируется новое множество из одинаковых элементов исходных множеств:

$$A \cap B = \{ \langle \text{MMb}(x)/x \rangle \} \quad (2.25)$$

$$\text{где: } \text{MMb}(x) = \min \{ \text{Ma}(x), \text{Mb}(x) \}$$

Дополнение: инвертируется принадлежность каждого элемента.

$$C = \sim A = \{ \langle \text{Mc}(x)/x \rangle \} \quad (2.26)$$

$$\text{где: } \text{Mc}(x) = 1 - \text{Ma}(x)$$

Умножение на число: принадлежности элементов домножаются на число.

$$q * A = \{ \langle q * \text{Ma}(x)/x \rangle \} \quad (2.27)$$

Нормализация: нечеткое множество нормально если супремум множества равен единице. Для нормализации перечитывают принадлежности элементов:

$$\text{M}'a(x) = \text{Ma}(x) / (\text{Sup } \text{Ma}(x)) \quad (2.28)$$

На рисунке. 2.9 зеленым цветом представлено **объединение** двух критериев предпочтения (протяженность маршрута и интенсивность движения), которое можно рассматривать как «суммарный» путь между точками I и j.

Подобное объединение производится без участия эксперта для любых возможных маршрутов между любыми точками.

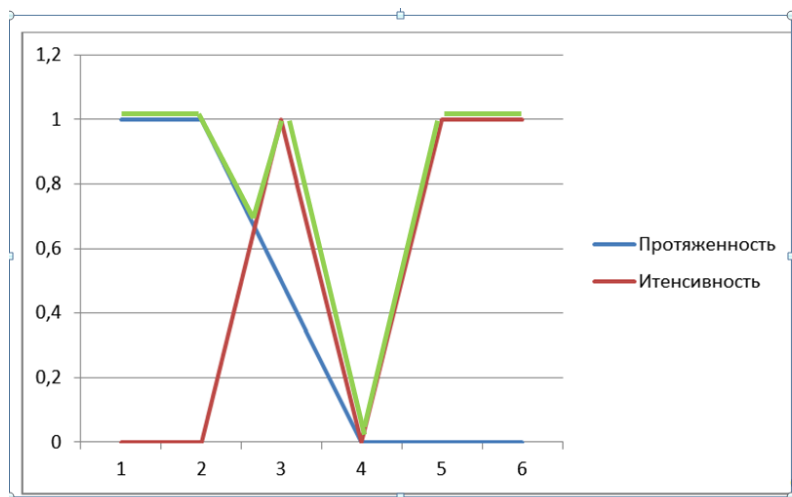


Рисунок 2.9 - объединение двух критериев предпочтения (протяженность маршрута и интенсивность движения).

Выводы к главе 2.

Предложена модернизация известного коэффициента непрямолинейности, названного коэффициентом несвязности, который включает транспортные свойства улично-дорожной сети. Показано, что применение коэффициента несвязности позволяет в количественном виде оценивать такие транспортные характеристики, как суммарный перепробег транспортных средств, потери времени при поездках, увеличение экологического загрязнения, рост аварийности и др.

Для расчета коэффициента несвязности предложены алгоритмы транспортного районирования, основанные на функциональных характеристиках территории города, а также с применением маршрутной сети всех видов общественного транспорта.

С применением элементов теории сложных систем предложен метод оценки устойчивости функционирования транспортного комплекса на основе значений коэффициента несвязности.

Разработаны требования к транспортной модели, предназначенной для расчета коэффициента несвязности, включающей алгоритм формирования

матрицы корреспонденций и подготовку исходных данных как элементов нечетких множеств.

3 Методическое, программное и информационное обеспечение для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети

3.1 Общая методология построения и использования транспортной модели, предназначенной для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности УДС

Методология в целом включает в себя следующие шаги:

- предварительный анализ и выбор СПО для моделирования;
- сбор и подготовка исходных данных для построения модели;
- ввод полученных данных в модель;
- верификация модели;
- калибровка модели;
- валидация модели;
- выполнение экспериментов, интерпретация и анализ результатов;
- прогнозирование и построение модели перспективной ситуации (при необходимости);
- формирование отчетных материалов;
- сопровождение модели, актуализация данных (при необходимости).

Указанная последовательность действий представлена в виде блок-схемы на рисунке 3.1.

Одним из ключевых факторов является наличие и возможность сбора необходимых исходных данных. Необходимо четко понимать до начала работ какой перечень исходных данных потребуется для построения качественной модели при том или ином подходе. Если по каким-либо причинам отсутствует возможность получить необходимые данные для детального моделирования, следует рассмотреть возможность использования

более простых моделей или пересмотреть условия выполнения данного проекта.

Факторами, влияющими на эффективность разработки проектов ОДД, являются:

- точность данных;
- объём данных;
- состав данных.

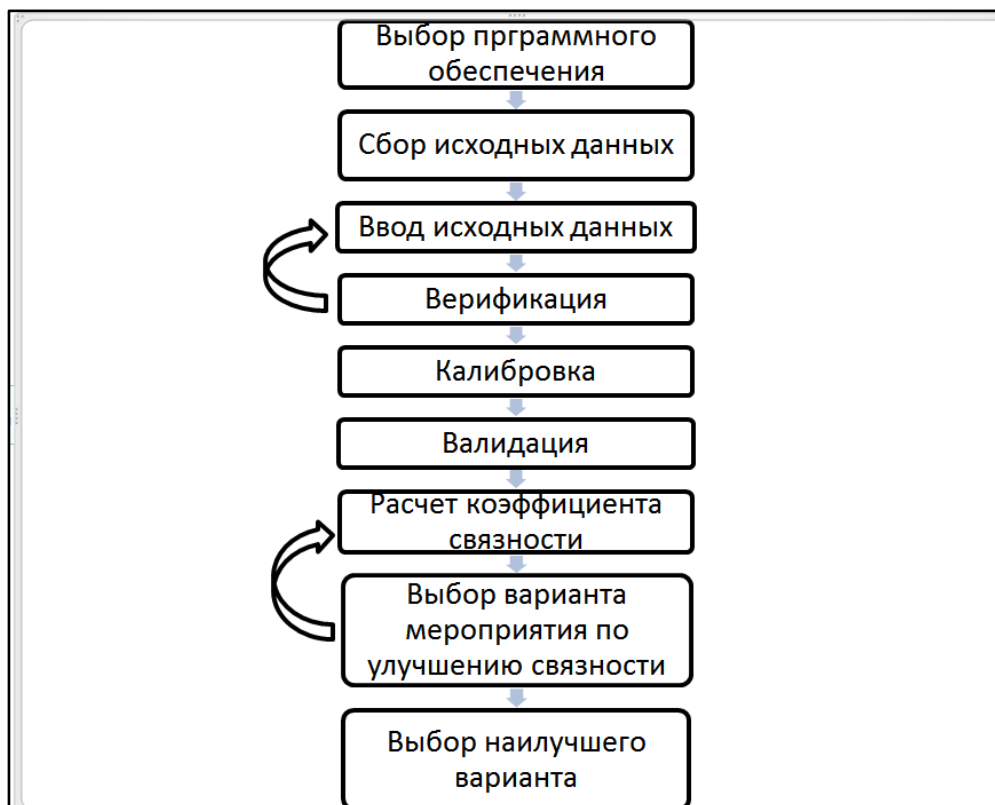


Рисунок 3.1 – Состав и последовательность действий при использовании транспортной модели, предназначенной для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности УДС

После первоначального ввода исходных данных необходимо осуществить **верификацию** - проверку введенной информации. Целью данного этапа является подтверждение корректности ввода данных по следующим аспектам:

- отсутствие ошибок непосредственно при вводе численных параметров;

- корректность базовых настроек и соотношений элементов модели;
- учет специфических факторов.

Целью этапа **калибровки** является настройка модели таким образом, чтобы выходные параметры модели максимально соответствовали реально наблюдаемым значениям. Задача этапа калибровки – определить такое сочетание значений параметров, при котором достигается выбранная степень соответствия по ключевым выходным параметрам.

Целью этапа **валидации** модели является определение того факта, что модель пригодна для проведения экспериментального анализа объекта исследования. Входными данными для этапа валидации является откалиброванная модели и набор независимых данных той же номенклатуры, что и для проведения калибровки.

Валидация имитационной модели основывается на сравнительном анализе наблюдаемых выходных характеристик реальной системы и итоговых данных, получаемых в результате выполнения имитационных экспериментов над компьютерной моделью.

3.2 Требования к программному обеспечению и их реализация.

Требования к программному обеспечению для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети для транспортного планирования и анализа сформулированы и реализованы на базе программного обеспечения PTV Vision® VISUM.

Укрупненный перечень проведенных доработок программного обеспечения, позволяющих реализовать методику оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 - Доработки программного обеспечения PTV Vision® VISUM.

В доработанном программном обеспечении средства для работы с расширенной версией дорожно-транспортной сети позволяют реализовать характеристики, приведенные в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Возможности программного обеспечения по размерам улично-дорожной сети

Характеристика сети	Значение
Размеры сети	
Транспортные районы	5.000
Узлы/остановки	50.000
Отрезки УДС	100.000
Варианты маршрутов ОТ	20.000
Размеры ГИС	
Узлы, не менее	250.000
Отрезки УДС, не менее	500.000

Структура УДС задается в виде графа (см. раздел 3.4), предоставляющий возможность прокладывать фактический межрайонный маршрут для различных видов транспорта. Программный модуль графа сети обеспечивает хранение, обработку и отображение информации об улично-

дорожной сети города, сети железных дорог, трамвайной сети, сети метрополитена в виде направленного графа.

Дополнительно разработана утилита для расчета матриц корреспонденций по данным от мобильных операторов о перемещениях абонентов, позволяющая осуществлять:

- формирование групп базовых станций (БС) по пользователю и сбор статистической информации по этим БС;
- анализ групп БС по пользователю с целью отбора станций, наиболее достоверно определяющих его местоположение;
- пространственный анализ групп БС;
- расчет матриц корреспонденций.

Модуль технико-экономического обоснования различных инвестиционных проектов в развитие транспортной инфраструктуры (включая мероприятия по увеличению связности улично-дорожной сети) позволяет рассчитать технико-экономические показатели, выделенные в разделе 3.6.

При реализации методики оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети использованы также общие функциональные возможности программного комплекса PTV Vision® VISUM [70]:

расчет и прогнозирование транспортных потоков, транспортной потребности городов и регионов, транспортного спроса;

оценка различных транспортных ситуаций и вариантов развития транспортной инфраструктуры для управления транспортными потоками на основе сравниваемых количественных значений, оценка работы транспортной сети в целом по разработанной системе показателей качества;

систематизация и наглядное представление данных по транспортной системе города;

оптимизация потоков легкового транспорт и грузового транспорта;

оптимизация работы общественного транспорта: расчет объема перевозок по видам транспорта, оценка себестоимости общественного транспорта, разработка предложений по совершенствованию тарифной системы и ее обоснование, анализ геометрии сети общественного транспорта и оценка ее доступности, оптимизация интервалов и расписания движения, обоснование ввода новых маршрутов и удаление существующих;

прогноз количественного влияния последствий различных сценариев социально-экономического развития города на транспортные потоки и транспортную инфраструктуру на основе системы математических моделей;

расчет матриц затрат на перемещения для различных видов транспорта (время в пути при свободном потоке, время в пути с учетом загруженности улично-дорожной сети, скорость при свободном потоке, скорость с учетом загруженности улично-дорожной сети, длина поездки и другие);

расчет интенсивности движения различных типов транспортных средств, грузопотоков и пассажиропотоков в различных видах общественного транспорта с детализацией по маршрутам на всех участках графа улично-дорожной сети на основе информации о характеристиках сети, введенной с помощью подсистемы ввода и обработки данных, и матриц корреспонденций.

3.3 Информационное обеспечение транспортной модели

Информационное обеспечение должно быть сформировано в составе и форматах, пригодных для программного обеспечения PTV Vision® VISUM (или эквивалент). Укрупненный перечень загружаемых данных приведен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Перечень основных загружаемых данных

Содержание данных	Характеристика	Объем данных, объектов
1. Территориальное планирование		

Содержание данных	Характеристика	Объем данных, объектов
Картографическая подоснова	масштабов 1:25000 и 1:10000.	
Административное деление	Административные районы	125
Здания, включая объекты городской и внешней логистики	Адрес, тип по классам БТИ, координаты	> 80000
Центроиды всех строений	с информацией по количеству проживающего трудоспособного населения и количеством рабочих мест.	> 80000
Транспортные районы	С детализацией на 3-х уровнях	от 300 до 7000
2. Общественные и социальные объекты		
ВУЗы	Учебные места, студенты	> 120
Общежития	Тип, общая/жилая площадь, число комнат	> 300
Среднеобразовательные учреждения	Учебные места, студенты по формам обучения	> 120
Школы, детские сады	Количество детей/учащихся и учителей, мест	> 200
Торговые центры Москвы	Общая / эффективная площадь, этажность	> 100
Оптовые продовольственные комплексы	Площадь земельных участков, строений, грузооборот, количество грузового транспорта	> 250
Грузообразующие объекты	Адреса, тоннаж, количество машин	>100
Логистические центры	Логистические центры	>100
Учреждения здравоохранения	Численность мест (коек), врачей по специальностям	>100
Спортивные учреждения	Стадионы, физкультурно-оздоровительные комплексы и прочие объекты	>300
Культурно-развлекательные объекты	Театры, кинозалы, клубы, музеи, парки, аквапарки, зоопарки и пр.	>500
Промышленные объекты	Тип, адрес	>500
3. Данные общественного транспорта		
Маршруты ОТ	Прохождение маршрута с остановками	> 2000
Остановки ОТ	Название, местоположение, пассажиропоток	> 4600

Содержание данных	Характеристика	Объем данных, объектов
Зоны остановок ОТ	Название, местоположение	> 7500
Автовокзалы	Автовокзалы междугородные	> 3
Ж/д вокзалы	Название, координаты, пассажиропоток (в год)	9
Аэропорты	Название, координаты, пассажиропоток (в год)	3
4. Элементы улично-дорожной сети и организация дорожного движения		
Граф дорог	содержит два основных типа объектов – дуги и узлы	
Узлы	Перекрестки, развязки и т.д.	> 190 000
Отрезки	Участки автомобильных дорог, улицы, железные дороги, линии метрополитена, мосты, переправы, водные пути	> 450 000
Повороты	Повороты	> 1 200 000
Примыкания	Места выхода/выхода участников транспортного движения из/в районы	> 15 000
Матрицы корреспонденций		не менее 256
Выделенные полосы для ОТ	Место прохождения, протяженность в км.	>30
Характеристика транспортных потоков		

Загружаемая база данных должна иметь блоковое строение, подразделяясь на информационные блоки, выделенные по тематическому принципу.

Данные об организации дорожного движения должны обеспечивать хранение, обработку и отображение информации характеристиках УДС, дорожной инфраструктуры и средств организации дорожного движения [65,67,68]: «тип дороги, количество полос движения, ограничение скорости на дорожном сегменте, проходящие виды транспорта, ограничение движения грузового транспорта, спрос на грузовые перевозки, пропускная способность полос движения, наличие одностороннего движения, расположение пешеходных переходов, разрешённые манёвры на перекрёстках, направления

движения на перекрестках, разрешение/запрет стоянки на крайней полосе проезжей части, наличие обозначенных парковок, обследование спроса на парковки и места постоянного хранения транспорта, наличие светофорных объектов, наличие выделенных полос для общественного транспорта, ограничения на передвижения по направлениям на перекрестках и перегонах по типам подвижного состава по времени суток».

На рисунке 3.3 приведен пример ввода данных о дорожных знаках на участке улично-дорожной сети. Дорожные знаки с информацией об особенностях движения обеспечивают визуальное восприятие навигационной карты и дополнительный визуальный контроль корректности исходных данных. Поэтому качество их нанесения определяется по традиционным картографическим критериям – наглядность и достоверность данных. Основные особенности движения на отдельных участках, которые могут показываться на картах открытого пользования, должны быть занесены в характеристики элементов графа УДС.

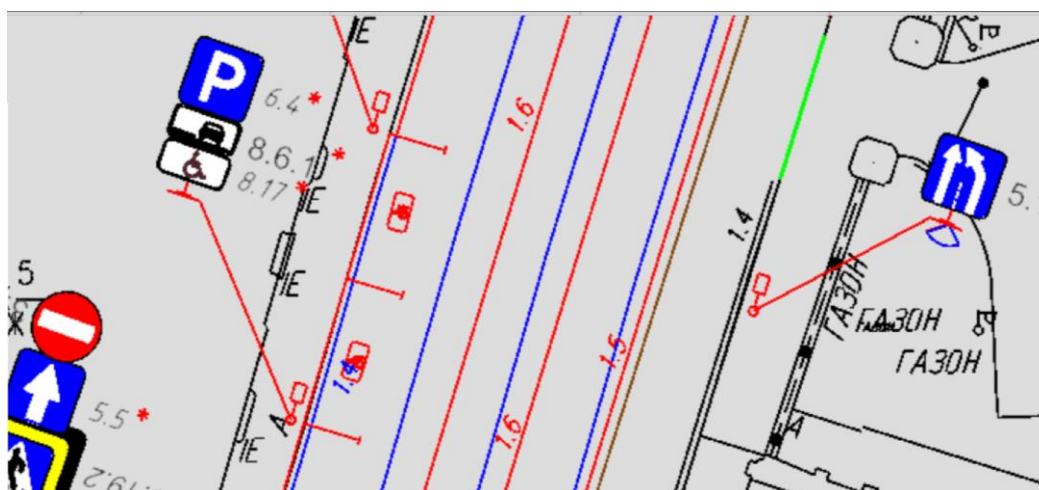


Рисунок 3.3 – Дорожные знаки с привязкой к месту дислокации

На рисунке 3.4 изображен локальный перекресток с указанием всех технических средств регулирования дорожного движения – дорожные знаки, разметка, светофоры, разрешенные направления движения и др.

Характеристики транспортных потоков включают данные об интенсивности движения, о составе потока на основных магистралях, мостах и в ключевых узлах УДС (пиковая, суточная, среднегодовая); коэффициенты сезонной, недельной, суточной неравномерности движения по характерным магистралям города, основным магистралям и мостам, путепроводам и переездам.

На рисунке 3.6 представлен фрагмент исходных данных об интенсивности движения, которые поступают в систему от детекторов транспорта.

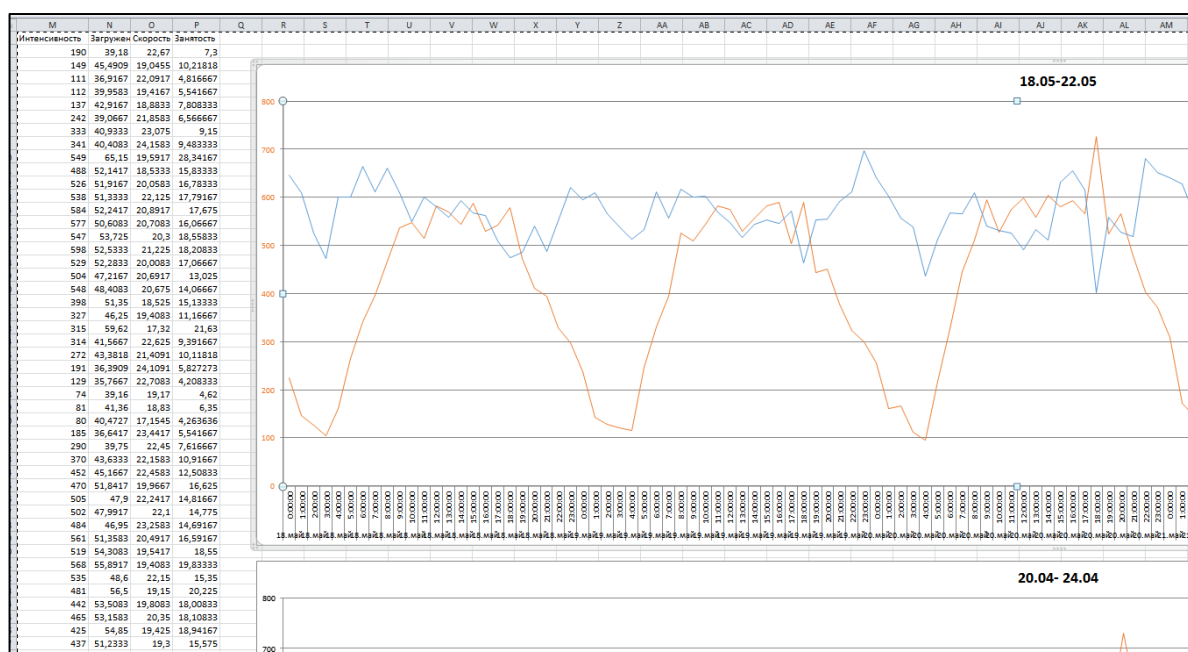


Рисунок 3.6 - Фрагмент исходных данных об интенсивности движения.

Маршрутная сеть и инфраструктура пассажирского транспорта в границах зоны моделирования включает [65] «городской, пригородный и внешний пассажирский транспорт, автобус троллейбус, трамвай, метрополитен, пригородная железная дорога, маршрутное такси, трассы прохождения маршрутов всех видов городского и пригородного пассажирского транспорта; расположение и характеристики терминалов междугороднего и международного пассажирского транспорта; база с координатами (X,Y) остановочных пунктов наземного городского

транспорта, вестибюлей метрополитена, железнодорожных платформ, причалов водного пассажирского транспорта; расписание движения подвижного состава; характеристики используемого подвижного состава и маршрутов (скорость передвижения, вместимость, стоимость); время сообщения между узлами пассажирского транспорта; объемы пассажиропотоков на наземном пассажирском транспорте и метрополитене».

Общая схема сети общественного транспорта, внесенная в состав информационного обеспечения, представлена на рисунке 3.7

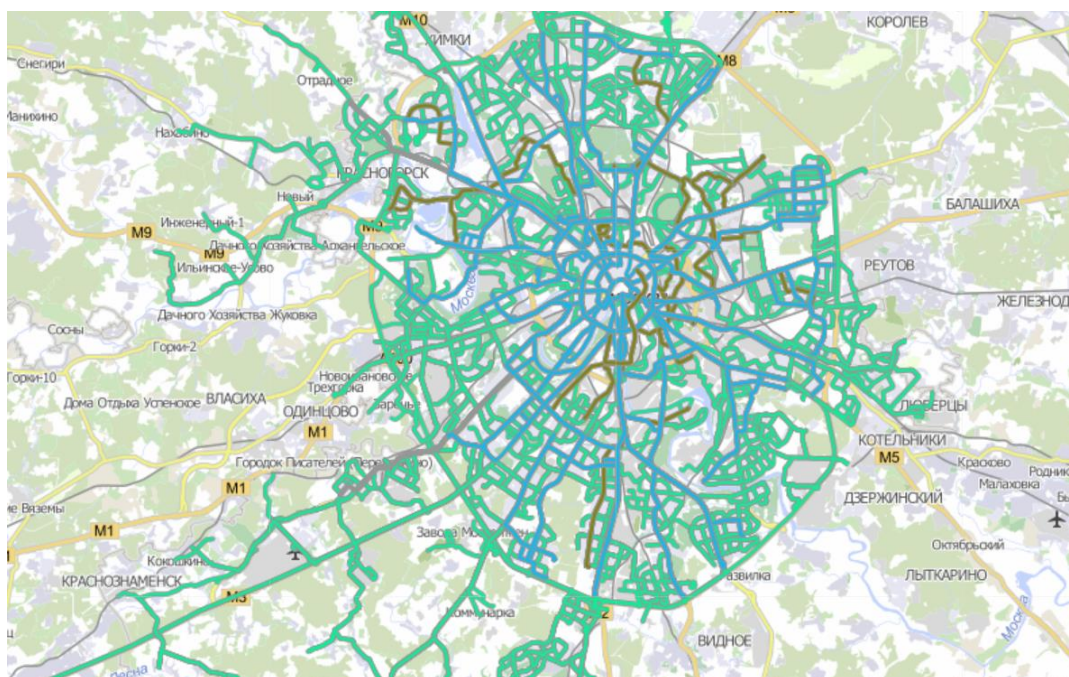


Рисунок 3.7 - Сеть общественного транспорта

На рисунке 3.8 представлен фрагмент сети наземного городского пассажирского транспорта с нанесенными остановками для посадки-высадки пассажиров.

Пункт остановки – обязательный элемент описания сети общественного транспорта. При вводе данных в граф УДС (см. раздел 3.4) пункт остановки должен находиться либо в узле, либо на отрезке (пункт остановки на отрезке) и иметь атрибуты: номер, тип, имя, допущенные для остановки виды транспорта, номер узла или отрезка, к которому привязан

пункт остановки, номер зоны остановки, к которой привязан пункт остановки.

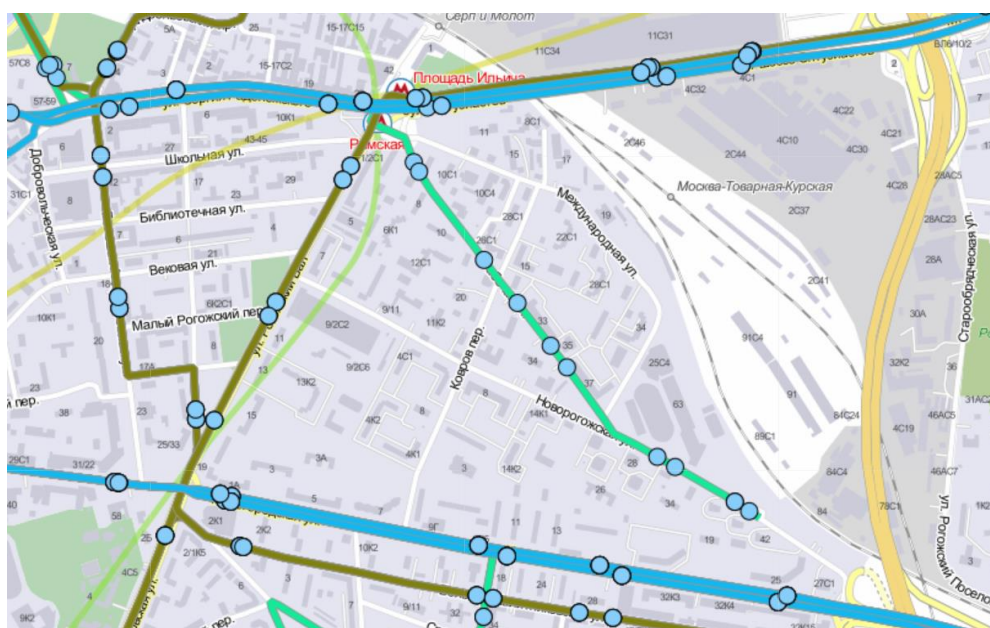


Рисунок 3.8 - Фрагмент сети наземного городского пассажирского транспорта с нанесенными остановками

Определение **характеристик транспортного спроса** связано с трудовыми, образовательными поездками, посещением культурно-бытовых и других объектов.

Адресная база объектов городской и внешней логистики (терминально-складские комплексы, грузовые дворы, железнодорожные станции, объекты портовой инфраструктуры, торговые центры, промышленные предприятия) вводится с указанием объемов грузооборота, номинальные перегрузочные мощности, показатели интенсивности и структуры транспортных потоков с привязкой к графу сети.

На рисунке 3.9 в укрупненном виде представлены общественные здания и социальные объекты, которые содержат данные о социально-демографических и экономических характеристиках населения, включая занятость, схемы расселения, торговой и экономической деятельности.

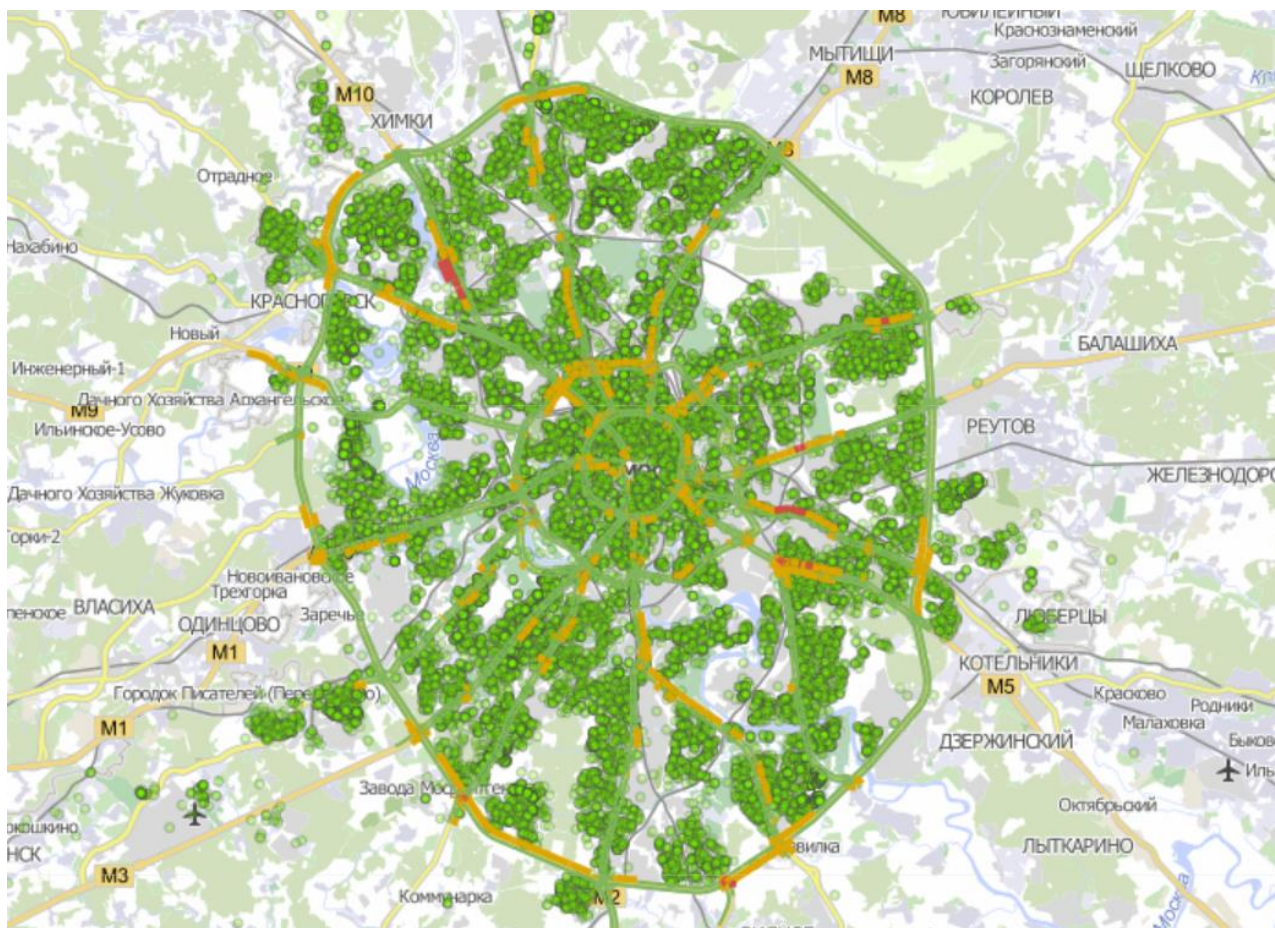


Рисунок 3.9 - Общественные здания и социальные объекты на территории города.

3.4 Формирование графа УДС и выбор минимального пути.

Согласно требованиям к навигационным картам [44] граф УДС – это «цифровая векторная карта, состоящая из топологически связанных дуг и узлов, местоположение и свойства которых с заданной точностью и полнотой передают маршруты и организацию движения наземного транспорта. Граф УДС создается согласно требованиям к навигационным картам, включающим описание классификаторов, правил цифрового описания, форматов данных, редакционно-технические указания и другие документы».

Ключевыми элементами графа УДС являются дуги (отрезки) и узлы.

Узел обеспечивает представление перекрестков, развязок и т.п. на графе УДС. В качестве основных атрибутов узлов вводятся порядковый номер, тип, имя, пропускная способность, начальная задержка на проезд, тип

регулирования, координаты. Параметры узлов содержат сведения о полосности движения, островках безопасности, пешеходных переходах, разметке, разрешенных направлениях поворотов по видам транспорта, светофорных фазах.

На рисунке 3.10 точками обозначены узлы центральной части города Москвы.

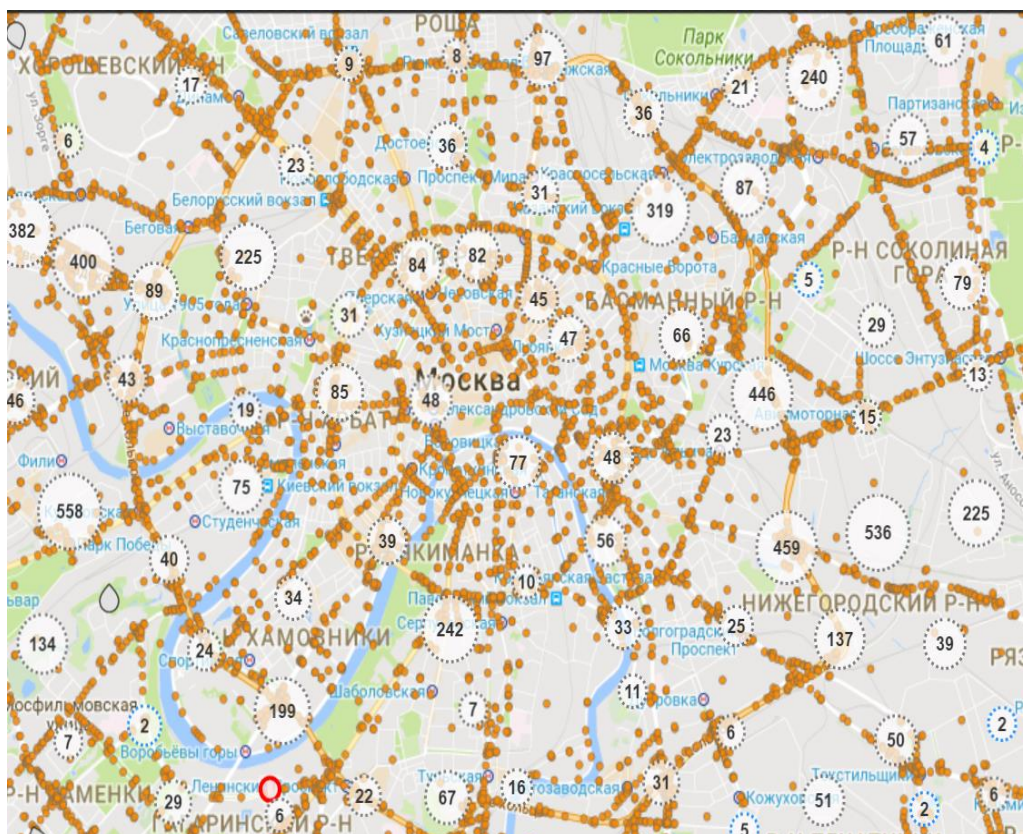


Рисунок 3.10 – узлы улично-дорожной сети центральной части города Москвы.

В общем случае узлами выступают любые пересечения транспортных, велосипедных и пешеходных потоков. На рисунке 3.11 точками обозначены узлы такого типа на площади Гагарина в городе Москве.

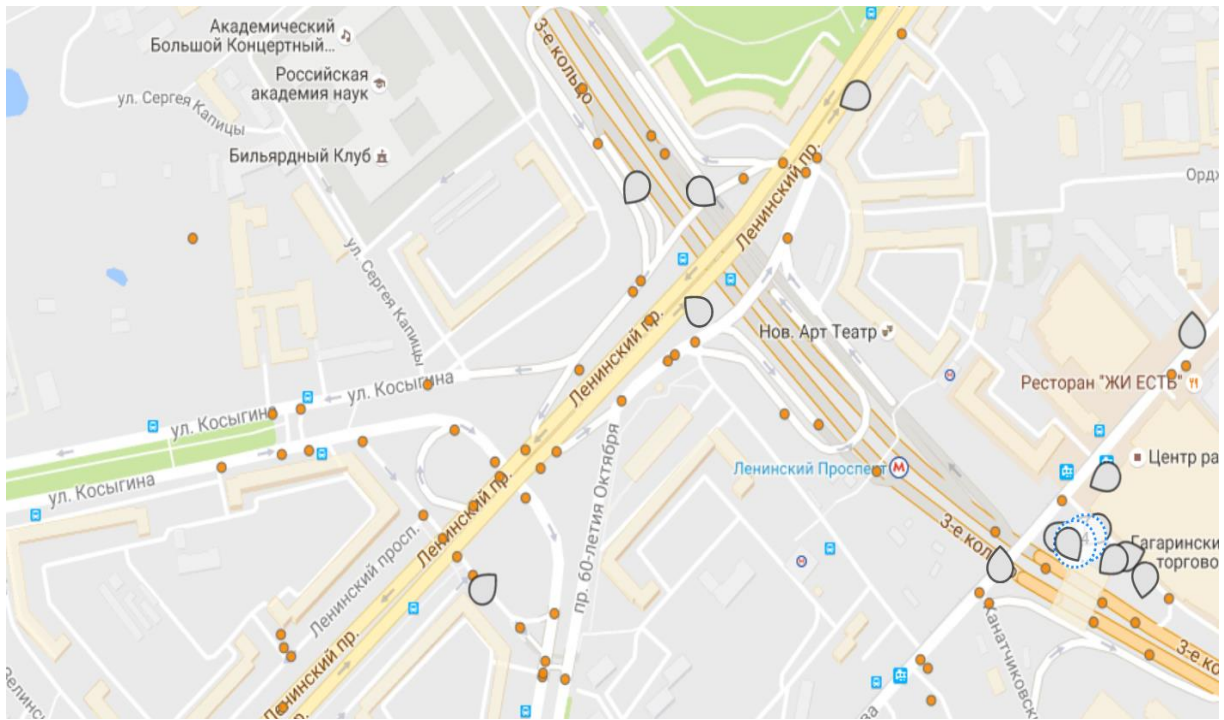


Рисунок 3.11 - площадь Гагарина в городе Москве, узлы графа УДС.

Дуги (отрезки) обеспечивают представление участков автомобильных дорог, улиц, железных дорог, линий метрополитена, мостов, переправ, водных путей и т.п. Отрезкам присвоены следующие атрибуты: номер, номера связанных узлов (узлы, в которых начинается и заканчивается отрезок), тип, имя, пропускная способность, длина, количество полос для движения, разрешенная скорость для движения, допущенные для движения транспортные средства, функциональные ограничения по использованию полос движения (только для общественного транспорта или для велосипедного движения), наличие парковки, транспортно-эксплуатационное состояние.

Транспортные районы в составе графа УДС и возможность их формирования являются необходимыми элементами для расчета связности. Как правило, транспортные районы наряду с транспортными характеристиками содержат модельное представление территории города с набором параметров, характеризующих социально-экономическое состояние района. Поэтому по каждому транспортному району необходимы

экономические характеристики - численность рабочих мест, площадь торговых помещений, объем производимой продукции и вид транспорта, объем завозимого сырья и вид транспорта, наличие парковки и т.п.

Для формирования возможного перечня мероприятий по увеличению связности (см. раздел 3.6) необходима функция **разделения транспортных районов** (увеличения числа транспортных районов). Данная возможность реализована с использованием встроенной в программное обеспечение PTV Vision® VISUM дополнительной функции (рисунок Рисунок 3.1212).

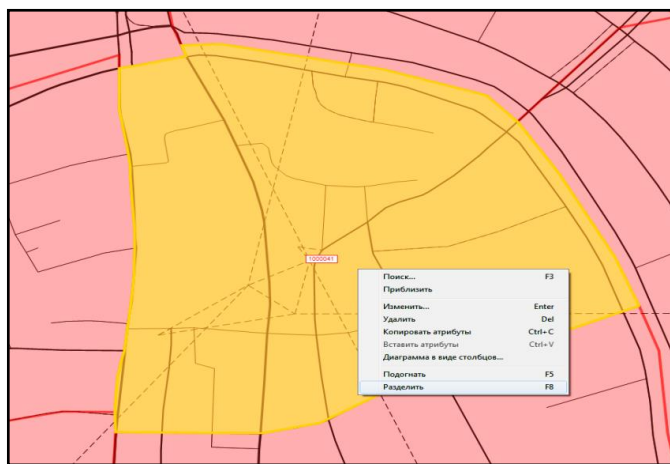


Рисунок 3.12 - Разделение транспортного района в PTV Vision® VISUM

Основные атрибуты районов при вводе: номер, тип, имя, координаты, полигон района (перечень дуг, отрезков), описывающий границы.

Примыкания – это отрезки специального типа, связывающие граф УДС и районы. Примыкания отражают места выхода участников транспортного движения из районов на УДС, а также места входа участников транспортного движения из УДС в районы. Основные атрибуты: номер района, номер узла, направление (вход в район или выход из района), тип, допущенные для движения транспортные средства, длина, доля индивидуального транспорта, доля общественного транспорта, начальная задержка на перемещение.

Перечисленные выше элементы графа УДС позволяют осуществлять **формировать маршруты** между любыми заданными точками на графе.

Поиск минимального пути между точками (центроидами транспортных районов) осуществляется с учетом характеристик дуги, входящей в маршрут (тип дорог, скорость движения, количество проезжих частей). Желательный маршрут находится либо по минимальной длине пути, либо по минимальному времени прохождения маршрута. При нахождении минимального пути имеется возможность исключения некоторых дуг, например аварийных участков, из поиска. Результаты поиска отображаются на карте в виде объекта – маршрута (рисунок 3.13).

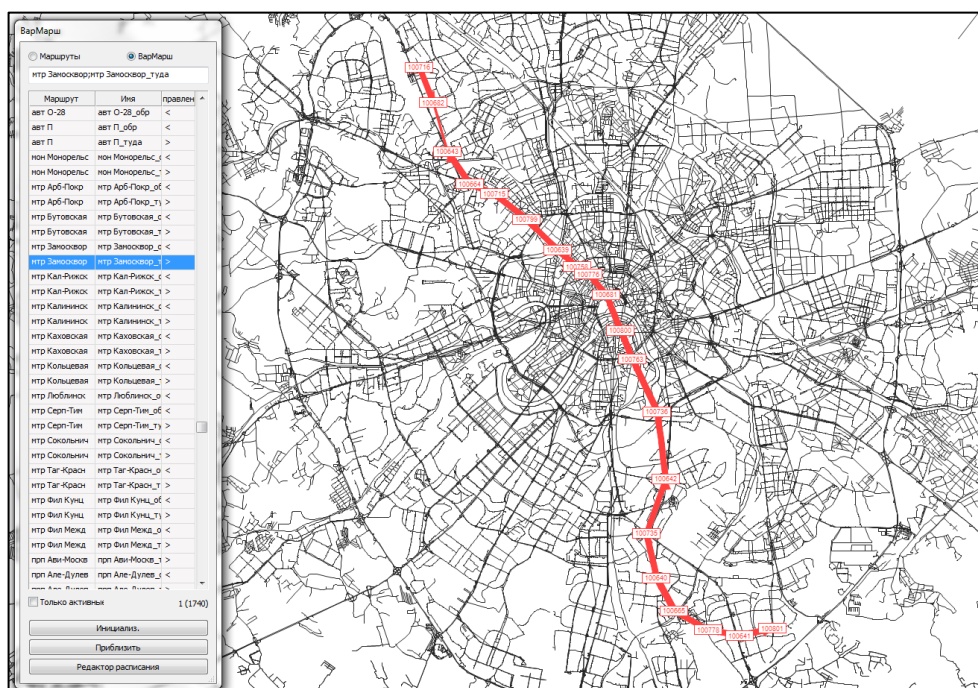


Рисунок 3.13 – Автоматизированный выбор минимального пути между узлами графа УДС.

Для построения маршрута задаются начальная и конечная точки, а также критерий оптимальности (длина маршрута или время его прохождения). Результат отображается в виде таблицы, в которой указаны длина кратчайшего пути между исходной и конечной точками.

В настоящее время в составе информационного обеспечения транспортной модели города Москвы введены данные о более чем 2000 светофорных объектов и видеокамер телеобзора, около 7000 остановок

общественного транспорта и детекторов мониторинга условий дорожного движения, 80 тыс. зданий и сооружений, более 45 тыс. торговых объектов, 190 тыс. узлов (развязок и перекрестков), 1,2 млн поворотов по направлениям и т.д. Почти 10 тыс. единиц подвижного состава наземного городского пассажирского транспорта оснащены терминалами ГЛОНАСС, установлено свыше 7008 комплексов фотовидеофиксации нарушений Правил дорожного движения, контролируется более 100 тысяч парковочных мест.

3.5 Методика определения межрайонной связности

Разработанная методика позволяет оценивать связность улично-дорожной сети города Москвы с точки зрения межрайонных перемещений и позволяет делать обоснованные выводы об уровне развития улично-дорожной сети города, обеспечивает сравнение показателей связности и делать выводы о необходимости осуществления мероприятий по повышению связности (рисунок 3.14)

Определение значения межрайонной связности γ , а также рекомендуемых мероприятий дорожно-мостового строительства и организации дорожного движения осуществляется органами исполнительной власти города, а так же подведомственными им на праве собственности и управления структурами.

Алгоритм определения коэффициента межрайонной связности в городе включает следующие этапы:

- Определение значений коэффициентов связности между соседними транспортными районами;
- Определение значений коэффициентов связности между районами, разделенными другим районом;
- Определение итогового коэффициента межрайонной связности города.



Рисунок 3.14- Основные цели разработки методики расчета межрайонной связности.

- Определение значений коэффициентов связности между районами включает следующие шаги:
 - Для пары районов определяется кратчайший из путей между всеми узлами примыканий в районах, для которого загрузка улично-дорожной сети в часы пик не превышает 100%;
 - Для пары примыканий, обеспечивающей кратчайший путь, относящихся к двум рассматриваемым районам, строится отрезок по воздушной линии и определяется его длина;
 - Определяется значение коэффициента связности районов путем деления кратчайшего пути между узлами примыканий на длину отрезка по воздушной линии между узлами данных примыканий;
 - Данные процедуры проводятся для всех пар районов.

- Определение итогового значения коэффициента межрайонной связности города производится путем вычисления среднего значения найденных коэффициентов связностей всех пар районов.

При большом числе районов значения коэффициента межрайонной связности города можно производить расчетом среднего значения по статистической выборке [92]. Необходимый объем выборки зависит от объема генеральной совокупности, от допустимого отклонения и доверительной вероятности. Обычно для практических случаев нормированное отклонение принимают равным 2 ($t = 2$), а допустимую ошибку - 5%.

Также следует исходить из того, что количественная оценка связности играет заметную роль для крупных городов и территорий, в которых число транспортных районов превышает сотни единиц, т. е. генеральная совокупность превышает 10000. В этом случае максимально необходимый объем статистической выборки не превышает 400 единиц, а число транспортных районов, между которыми рассчитывается матрица корреспонденций – 20.

Если есть основания предполагать, что выбранные для статистической оценки транспортные районы имеют какие-то специфические особенности, то расчет следует повторить для другой выборки из 20 транспортных районов и применить критерий Пирсона (Хи-квадрат) для проверки гипотезы о равенстве двух средних значений произвольно распределённых генеральных совокупностей.

3.6 Методика определения приоритетных транспортных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе

Алгоритм определения необходимых транспортных мероприятий для повышения связности в городе включает последовательно повторяющиеся итерационные процедуры (рисунок 3.15):

Первоначально формируется список рекомендуемых мероприятий по развитию дорожно-транспортной инфраструктуры.

Формирование предложений о строительстве участка улично-дорожной сети, а также предложений об изменении организации дорожного движения производится на основе расчета коэффициента связности с использованием транспортной модели.

Процедура выбора приоритетных мероприятий состоит из разных этапов в зависимости от рассматриваемых объектов улично-дорожной сети.

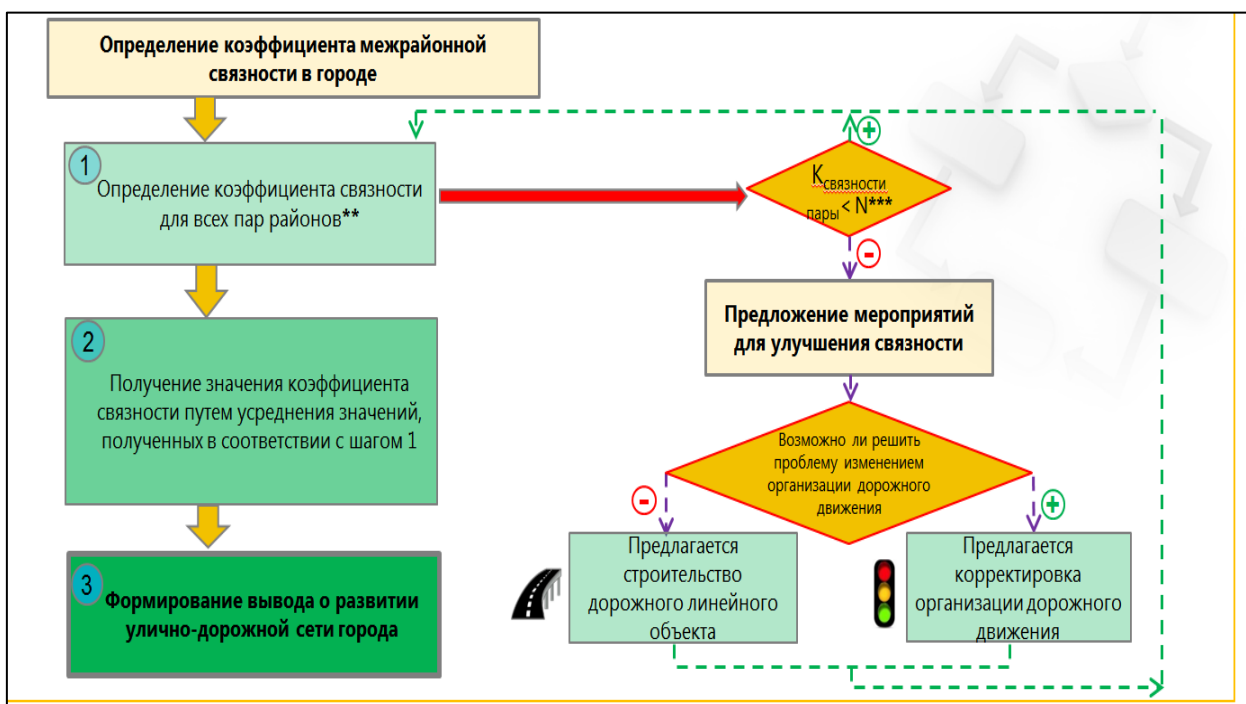


Рисунок 3.15 – Алгоритм выбора приоритетных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе

Подготовка предложений по повышению связности УДС по городу в целом включает следующие этапы:

Этап 1. На основе полученных данных о коэффициентах связности пар районов делается вывод о необходимости осуществления мероприятий для повышения связности между ними. Вывод о целесообразности мероприятий делается поэтапно с ранжированием по критерию связности. Мероприятия группируются в соответствии со значением связности, которое устанавливается от большего к меньшему (то есть поэтапно определяются

группы мероприятий для коэффициентов перепробега 5,4,3 и далее). Данный подход позволяет выделить наиболее проблемные места.

Этап 2. Определяется необходимость строительства нового участка улично-дорожной сети, либо корректировки организации дорожного движения. Данный вывод формируется в соответствии с анализом объектов, разделяющих районы. В случае, если проведенный между узлами примыканий районов отрезок пересекает водные преграды и ж/д пути, делается вывод о необходимости строительства дорожного линейного объекта (путепровода). При пересечении отрезком дорожного линейного объекта, проверяется условие возможности решения проблемы низкой связности путем изменения организации дорожного движения. Отсутствие пересечения с объектами говорит о необходимости соединения существующих участков дорожной сети.

Этап 3. В соответствии с выявленной причиной низкой связности формируется предложение о строительстве участка улично-дорожной сети, либо предложение об изменении организации дорожного движения.

Этап 4. Для пары районов, разделенных другим районом, и имеющих с ним коэффициент связности, не превышающий установленный критерий, но для которой значение коэффициента межрайонной связности превышает данный критерий, делается вывод о необходимости проведения мероприятий по повышению связности.

Этап 5. Все предложенные мероприятия имеют адресную привязку и отражаются в виде списка.

Этап 6. Сформированный список необходимо скорректировать в соответствии со значимостью мероприятий для города. Для ранжирования и последующей корректировки используются «Методические указания по оценке социально-экономической эффективности инвестиционных проектов в области развития транспортной инфраструктуры». Данная процедура позволит учесть наиболее значимые корреспонденции, осуществляемые как

между районами, так и транзит через них. Наибольший приоритет имеют мероприятия с высокими значениями инвестиционных показателей.

Формирование предложения о строительстве участка улично-дорожной сети для повышения связности соседних районов включает следующие шаги:

- между парой примыканий, обеспечивающих кратчайший путь, проводится отрезок по воздушной линии;

- находится точка пересечения отрезка с границами районов;

- определяются два приближенных к данной точке транспортных узла, относящихся к соседним районам, между которыми также проводится отрезок, который рассматривается как наилучшее, с точки зрения повышения связности, размещение нового участка улично-дорожной сети;

- при невозможности размещения участка улично-дорожной сети в соответствии с найденным отрезком проводится оценка других вариантов размещения.

Формирование предложения о строительстве участка улично-дорожной сети для повышения связности пары районов, разделенных другим районом, включает следующие шаги:

- между узлами пары примыканий, обеспечивающих кратчайший путь, проводится отрезок по воздушной линии;

- определяются две точки пересечения отрезка с границами данных районов;

- для каждой точки пересечения с границей определяются два ближайших узла, один из которых располагается на территории разделяющего района, между которыми проводится отрезок;

- формируется пара отрезков, обеспечивающих дополнительную связь с разделяющим районом, которая рассматривается как оптимальное, с точки зрения повышения связности, размещение новых участков улично-дорожной сети;

- при отсутствии на территории разделяющего района улично-дорожной сети, отрезок проводится через всю территорию данного района, тем самым обеспечивая связность рассматриваемой пары районов.

Завершающим этапом работы по определению межрайонной связности города и необходимых мероприятий для её повышения является подготовка заключения, содержащего значение коэффициента межрайонной связности города, а также списка мероприятий, ранжированных и скорректированных в соответствии с приносимым социально-экономическим эффектом, а также нормативными документами, регламентирующими правила застройки городских территорий. В заключении также отражается значение коэффициента межрайонной связности города при условии реализации всех мероприятий в соответствии с итоговым списком предложений.

Заключение согласовывается с руководителями транспортного и градостроительного комплексов города

Порядок согласования полученных результатов органами исполнительной власти города Москвы, а так же подведомственными им на праве собственности структурами и используются для корректировки организации дорожного движения и формирования предложений по дорожно-мостовому строительству с последующим включением в инвестиционные программы.

Выводы к главе 3.

Выработана и сформулирована общая методология построения и использования транспортной модели, предназначенной для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности УДС

Сформулирован перечень требований к доработке программного обеспечения и реализованы на базе аппаратно-программного комплекса PTV Vision® VISUM.

В форматах, пригодных для программного обеспечения PTV Vision® VISUM, проведена подготовка информационного обеспечения транспортной модели города Москвы, которое включает сведения о более чем 2000 светофорных объектов и видеокамер телеобзора, около 7000 остановок общественного транспорта и детекторов мониторинга условий дорожного движения, 80 тыс. зданий и сооружений, более 45 тыс. торговых объектов, 190 тыс. узлов (развязок и перекрестков), 1,2 млн поворотов по направлениям и т.д.

Методика определения приоритетных транспортных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе

Согласно требованиям к навигационным картам проведено формирование графа УДС и разработан алгоритм выбора минимального пути. Разработанная методика позволяет оценивать связность улично-дорожной сети города Москвы с точки зрения межрайонных перемещений и позволяет делать обоснованные выводы об уровне развития улично-дорожной сети города, обеспечивает сравнение показателей связности и делать выводы о необходимости осуществления мероприятий по повышению связности.

Выработан алгоритм выбора приоритетных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе, включающий строительство участков улично-дорожной сети, а также изменения в организации дорожного движения.

4 Определение межрайонной связности в городе и решения по её повышению.

4.1 Расчет коэффициента межрайонной связности

Расчет межрайонной связности с использованием данных транспортной модели проведем на основе районирования территории города Москвы, представленного на рисунке 2.4. На рисунке 4.1 выделен участок улично-дорожной сети (выделено желтым), включающий 2 транспортных района.

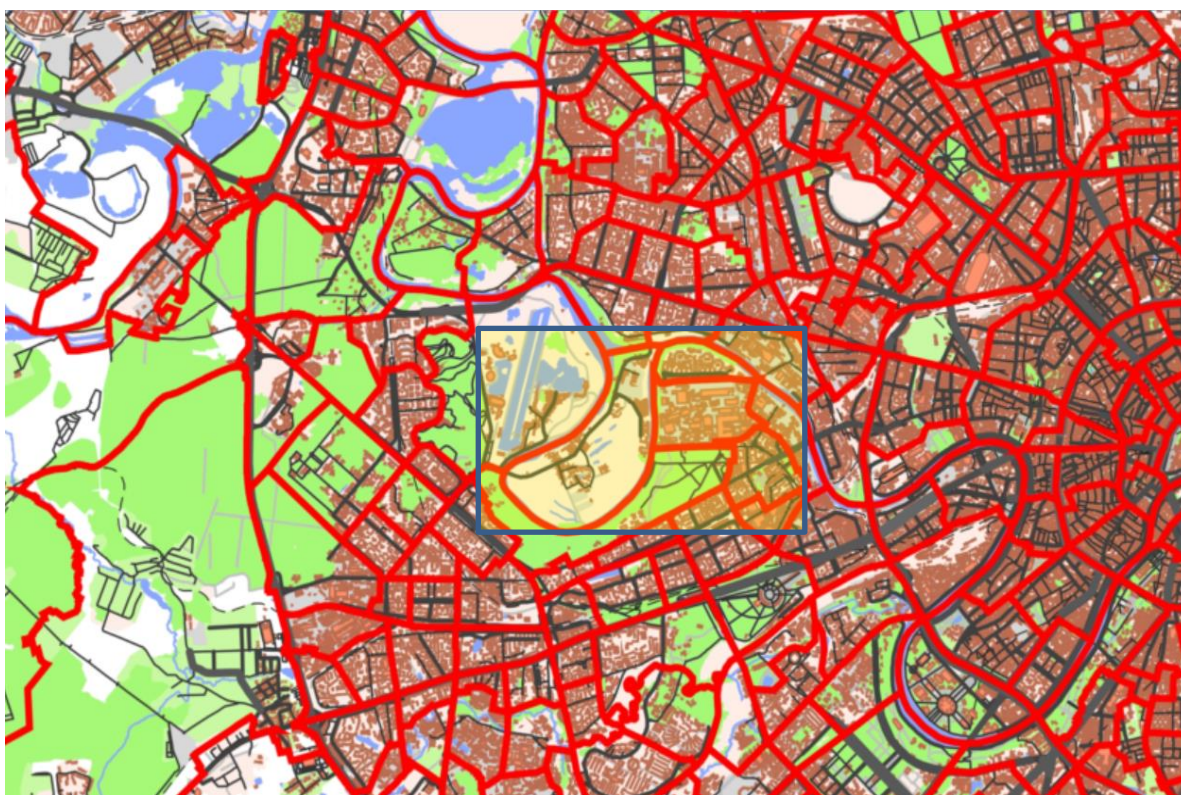


Рисунок 4.1 – Пример выделения зона для расчета межрайонной связности.

На рисунке 4.2 желтой пунктирной линией выделены границы первого района, синей – второго. Условные центры районов обозначены цифрами 1 и 2 соответственно.

Внутри каждого района красными стрелками показаны «примыкания» - условные точки внутри района, в которых происходит основной выход

пользователей личного и наземного городского общественного транспорта на улично-дорожную сеть для перемещения в другие районы города.

Зеленой стрелкой показан отрезок по воздушной линии между примыканиями, обеспечивающий кратчайший путь, а фиолетовой сплошной линией - кратчайший фактический путь между парой примыканий. Длина воздушной линии и протяженность фактического пути рассчитывается в транспортной модели по алгоритму описанному в разделе ____. Коэффициент связности для данной пары районов равен 10,2 .

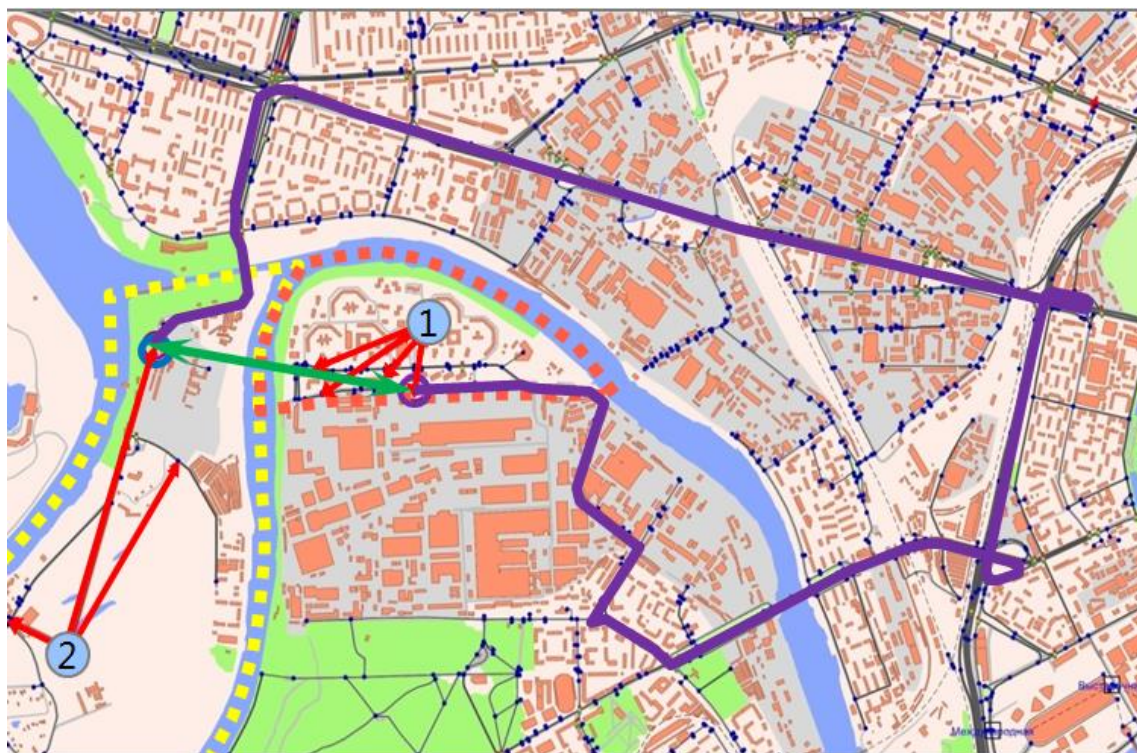


Рисунок 4.2 – Пример расчета связности для двух транспортных районов города Москвы.

Расчет коэффициентов связности для всех пар транспортных районов и вычисление среднего значения показывает, что коэффициент связности для УДС города Москвы равен 1,5.

По критериям оценки, приведенным в разделе 1.1, связность улично-дорожной сети следует оценивать как исключительно неблагоприятную.

На рисунке 4.3 показаны пары транспортных районов, коэффициент связности для которых ≥ 5 (синие отрезки). В пределах МКАД имеется 96 таких пар районов.

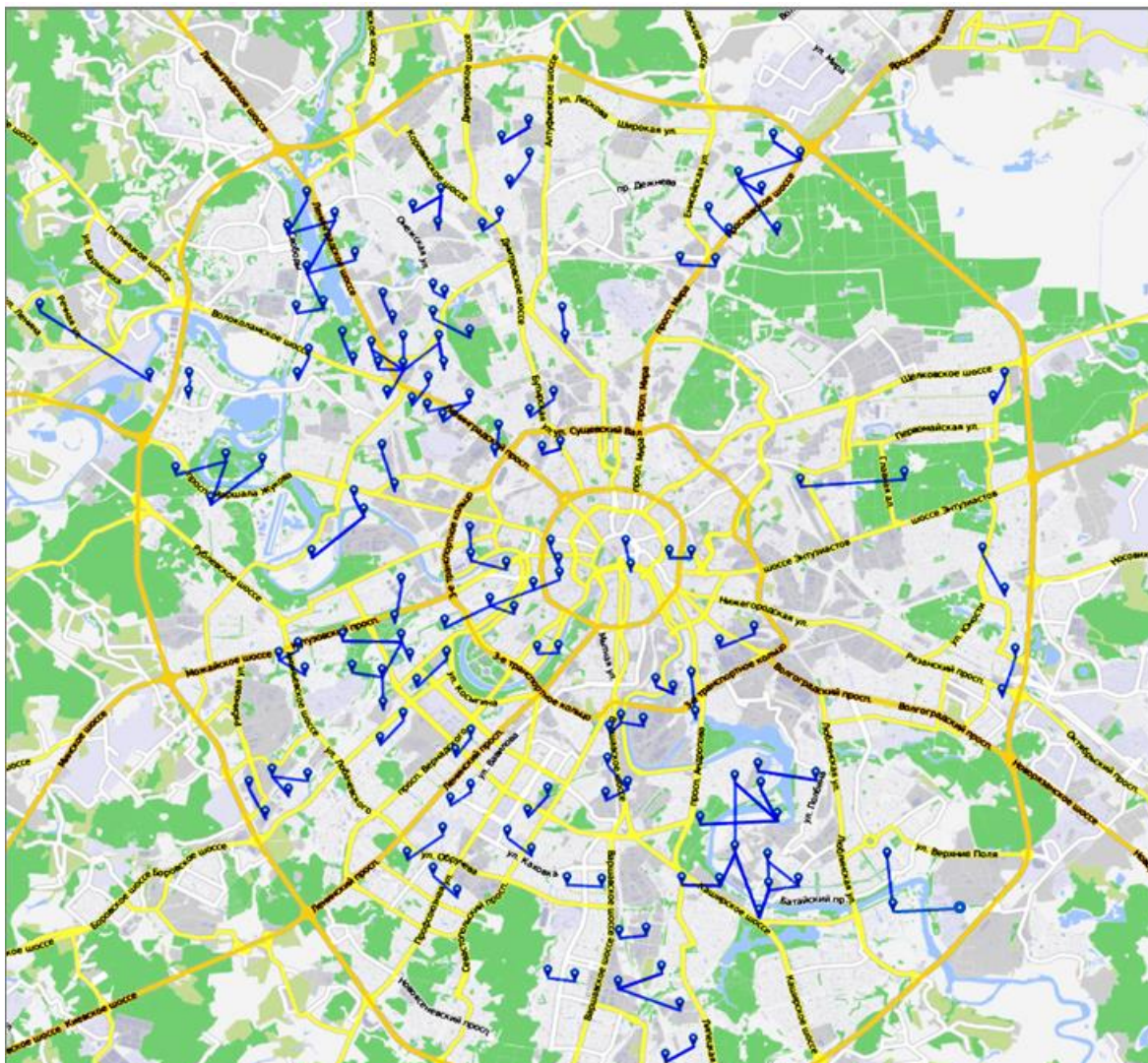


Рисунок 4.3 – Пары транспортных районов улично-дорожной сети города Москвы с коэффициентом связности выше 5.

4.2 Возможности увеличения связности улично-дорожной сети.

Результаты расчета коэффициентов межрайонной связности, изложенные выше, позволяют выделить возможные пути увеличения связности улично-дорожной сети. Коэффициенты межрайонной связности рассчитываются между условными центрами транспортных районов.

Естественно, что существующая структура улично-дорожной сети в большинстве случаев не позволяет планировать мероприятия, сокращающая путь непосредственно между этими центрами и приходится учитывать конкретные особенности каждого района.

На рисунке 4.4 красными отрезками показаны возможные мероприятия для улучшения связности на примере ЮЗАО города Москвы. Данный перечень формируется с учетом структуры улично-дорожной сети.

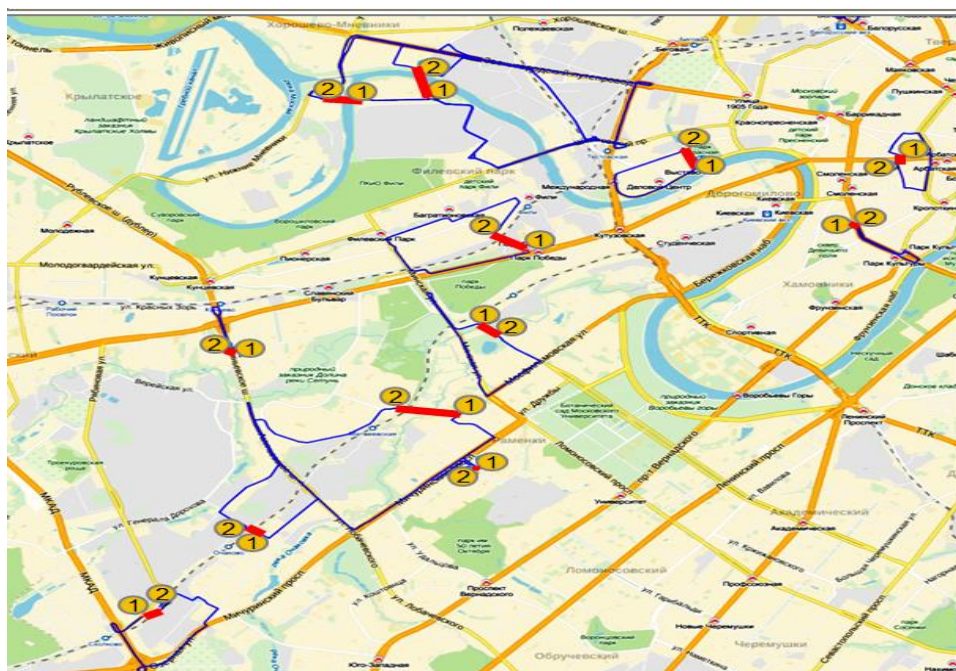


Рисунок 4.4 – Возможный состав мероприятий для улучшения связности на примере ЮЗАО города Москвы

На рисунке 4.5 показано, каким образом путем строительства моста может быть улучшена ситуация, ранее представленная на рисунке 4.2. Началом и концом перспективного моста является пара узлов улично-дорожной сети (по одному в каждом районе), находящаяся максимально близко к точке пересечения границ районов воздушной линией. При невозможности строительства в указанном месте рассматриваются другие варианты размещения моста между рассматриваемыми транспортными районами.

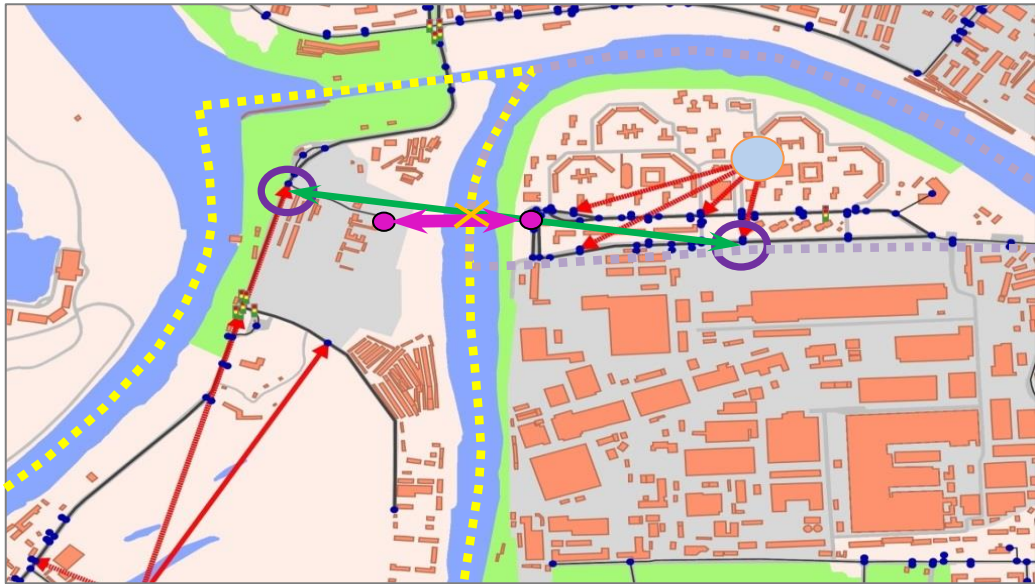


Рисунок 4.5 – Пример повышения связности улично-дорожной сети путем строительства нового моста.

Во многих случаях оказывается, что связность УДС может быть существенно улучшена без проведения таких дорогостоящих мероприятий, как строительство мостов.



Рисунок 4.6 - Обустройство проезда от ул. Донецкой к ул. Шосейной в городе Москве.

На рисунке 4.6 представлен пример обустройства проезда от ул. Донецкой к ул. Шосейной в городе Москве. Расчет элемента матрицы

корреспонденций по методике, изложенной в разделе 2.3, показал, что спрос составляет 15000 авт/сут. Обустройство проезда длиной менее 1 км по относительно свободной территории приведет к снижению перепробега – в 7 раз.

На рисунке 4.7 приведены результаты расчета при открытии проезда: от Краснопресненской набережной до 1-го Красногвардейского пр. в городе Москве. Проезд по переулку был закрыт. Расчет элемента матрицы корреспонденций по методике, изложенной в разделе 2/3 показал, что спрос составляет -4000 авт/сут. Открытие проезда по переулку позволило снизить перепробег в 6 раз.

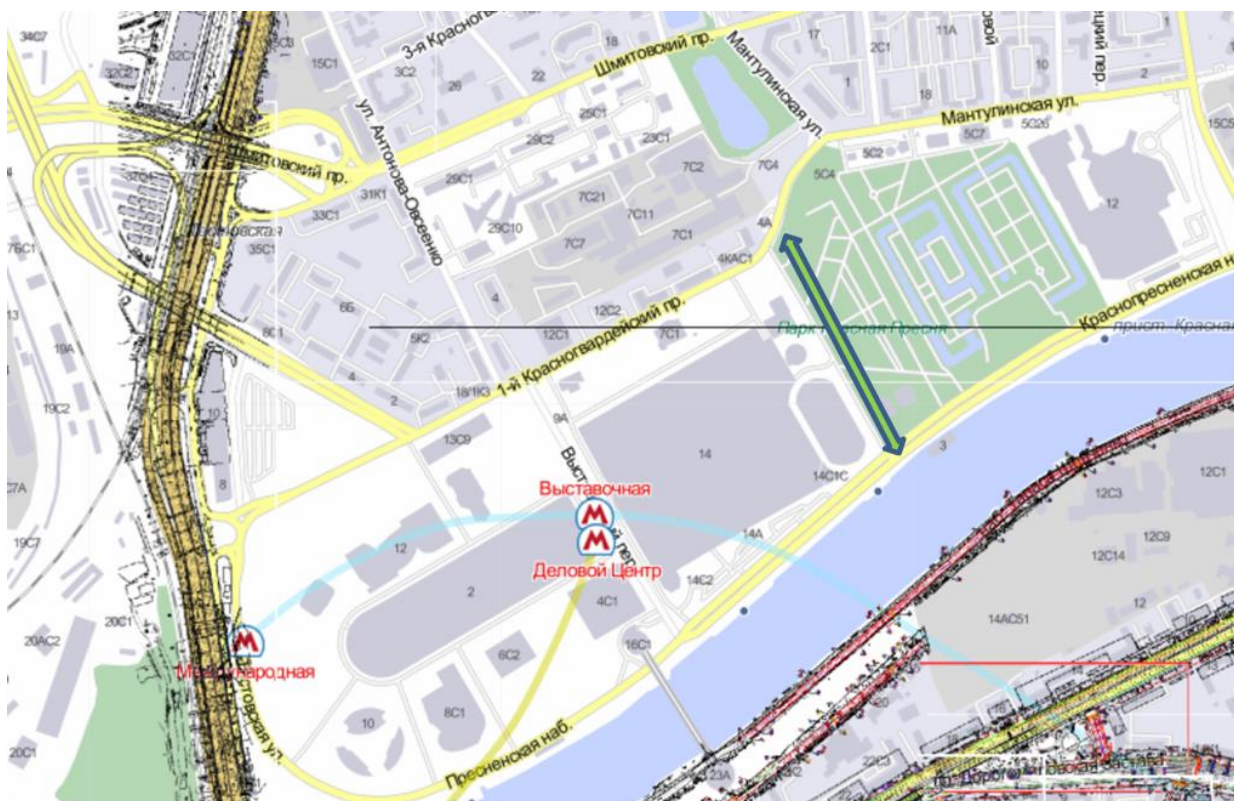


Рисунок 4.7 - Открытие проезда: от Краснопресненской набережной до 1-го Красногвардейского пр. в городе Москве.

На рисунке 4.8 представлено изменение в организацию дорожного движения на проезде Дежнева в городе Москве (движение от ул.

Енисейской). Организация левого поворота на Заповедную улицу позволяет снизить перепробег в 23 раза при спросе 1200 авт/сут.

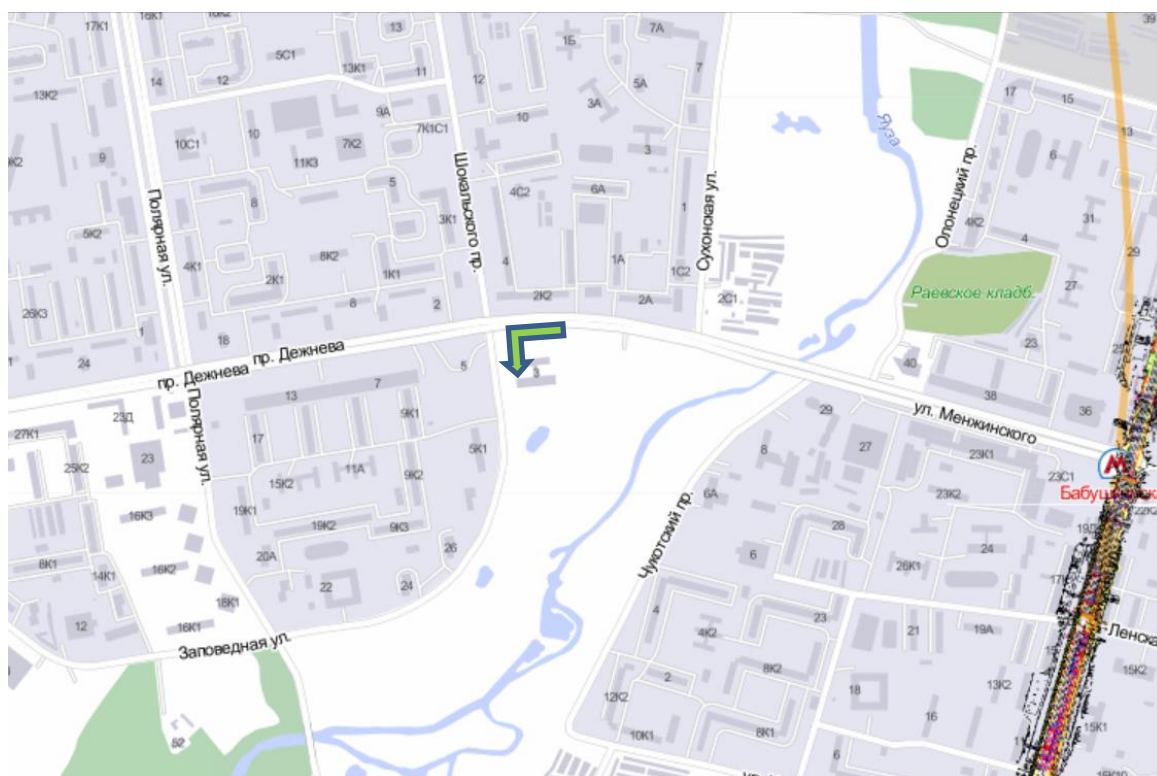


Рисунок 4.8 - организация левого поворота с проезда Дежнева (движение от ул. Енисейской) на Заповедную улицу в городе Москве.

На рисунке 4.9 приведен пример расчета изменения коэффициента связности и перепробега при изменении организации дорожного движения в городе Тула. В настоящее время отсутствует проезд с проспекта Ленина на ул. Академика Павлова. Предлагается соединить данные улицы с организацией одностороннего движения в сторону ул. Николая Руднева. Данный проезд даст альтернативу для перераспределения потоков в узком месте проспекта Ленина.

Расчет элемента матрицы корреспонденций по методике, изложенной в разделе 2.3 (спрос) -1000 авт/сут, снижение перепробега – в 14 раз.



Рисунок 4.9 Открытие существующих проездов в городе Тула.

4.3 Оценка социально-экономического эффекта от реализации мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети

В соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.6 слагаемые социально-экономического эффекта формируются в результате оценки следующих основных факторов:

- сокращение затрат времени пассажиров в пути;
- снижение аварийности на дорогах;
- снижение задержек автотранспорта на пересечениях.

Оценка эффективности каждого предлагаемого проекта осуществляется, в зависимости от поставленных задач, на основании следующих критериев:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности (ИД);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- срок окупаемости (СО).

На рисунках 4.10-4.16 представлены результаты расчетов по конкретным возможным мероприятиям, направленным на увеличение связности УДС в городе Москве. В качестве показателя эффективности в этих примерах использовался индекс доходности (ИД).

Расчет этого показателя потребовал учета количества маршрутов общественного транспорта, объема пассажиропотоков, прогноза интенсивностей движения с учетом предлагаемых изменений (в том числе на прилегающих маршрутах), оценки затрат на реализацию мероприятий

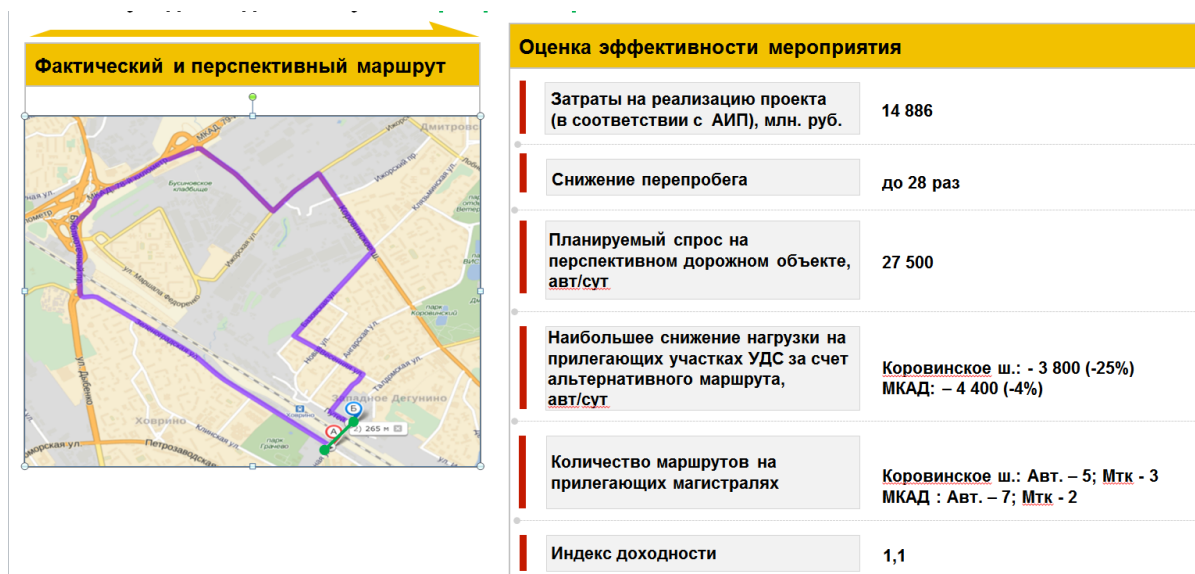


Рисунок 4.10 - Строительство путепровода через пути Ленинградского направления ж/д, от Фестивальной ул. до Талдомской ул.

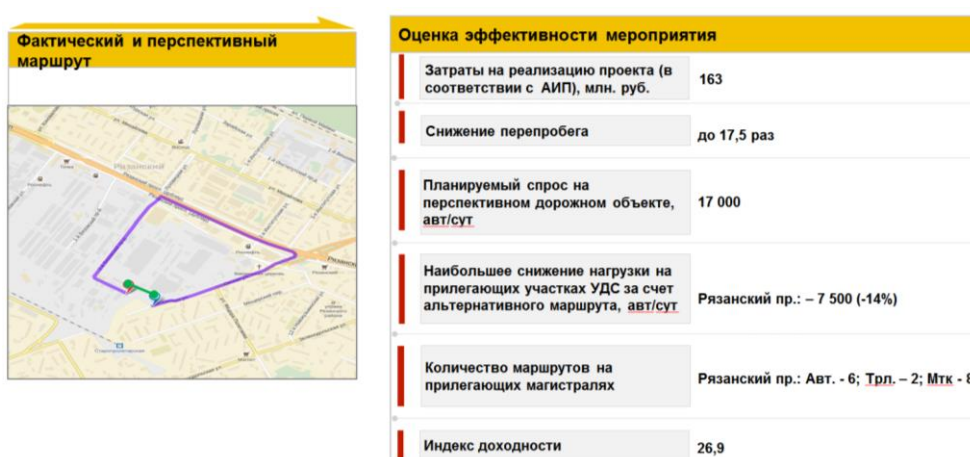


Рисунок 4.11 - Строительство дороги от 2-го Вязовского проезда к ул. Окская

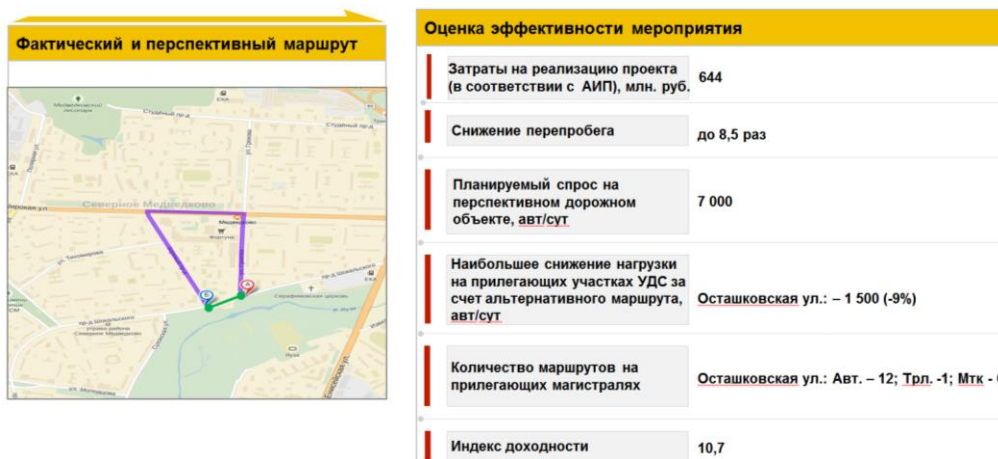


Рисунок 4.12 - Строительство дороги, соединяющей участки проезда Шокальского

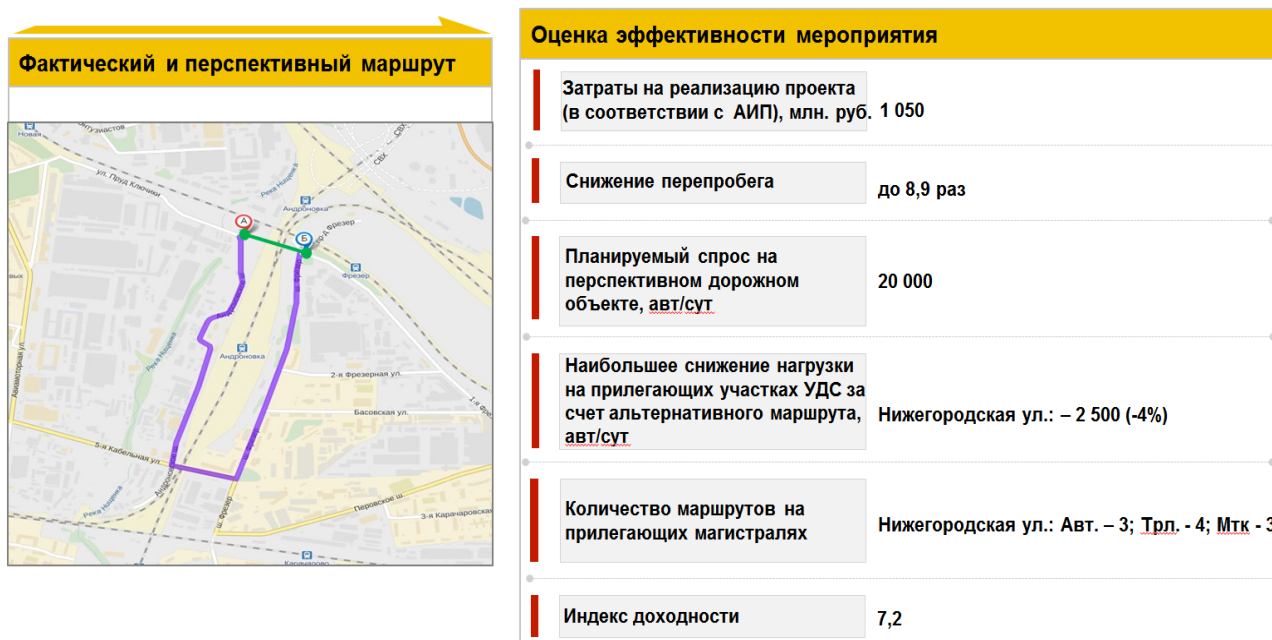
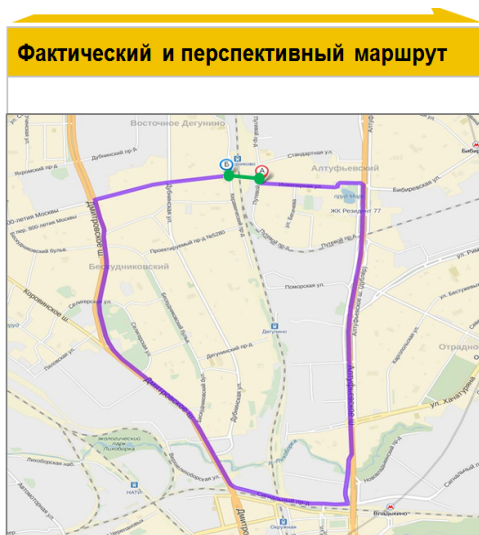


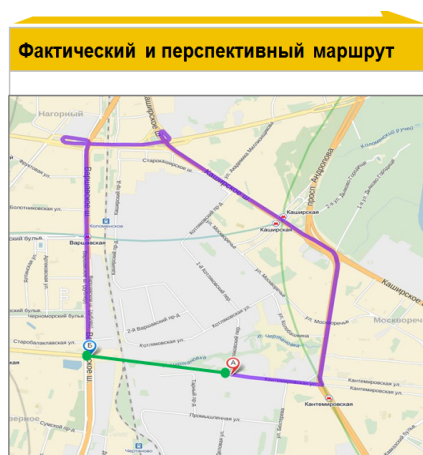
Рисунок 4.13 - Строительство дороги-переезда через пути Казанского направления ж/д, от ул. Пруд Ключики до 1-й Фрезерной ул.



Оценка эффективности мероприятия

Затраты на реализацию проекта (в соответствии с АИП), млн. руб.	2 625
Снижение перепробега	до 40,5 раз
Планируемый спрос на перспективном дорожном объекте, авт/сут	29 000
Наибольшее снижение нагрузки на прилегающих участках УДС за счет альтернативного маршрута, авт/сут	Дмитровское ш.: - 4 900 (-16%) Алтуфьевское ш.: - 4 500 (-15%) МКАД: - 7 000 (-5%)
Количество маршрутов на прилегающих магистралях	Дмитровское ш.: Авт. - 4; Трл. - 1; Мтк - 6 (выделенная полоса) Алтуфьевское ш.: Авт. - 5; Трл. - 1; Мтк - 6 (выделенная полоса) МКАД: Авт. - 3; Мтк - 3
Индекс доходности	4,9

Рисунок 4.14 - Путепровод через пути Савеловского направления ж/д, соединяющий ул. 800-летия Москвы с Инженерной ул.



Оценка эффективности мероприятия

Затраты на реализацию проекта (в соответствии с АИП), млн. руб.	6 736
Снижение перепробега	до 6,2 раз
Планируемый спрос на перспективном дорожном объекте, авт/сут	45 500
Наибольшее снижение нагрузки на прилегающих участках УДС за счет альтернативного маршрута, авт/сут	Варшавское ш.: - 4 000 (-5%)
Количество маршрутов на прилегающих магистралях	Варшавское ш.: Авт. - 9; Трл. - 1 (выделенная полоса)
Индекс доходности	4,6

Рисунок 4.15 - Организация эстакады Варшавское шоссе — Кантемировская ул.

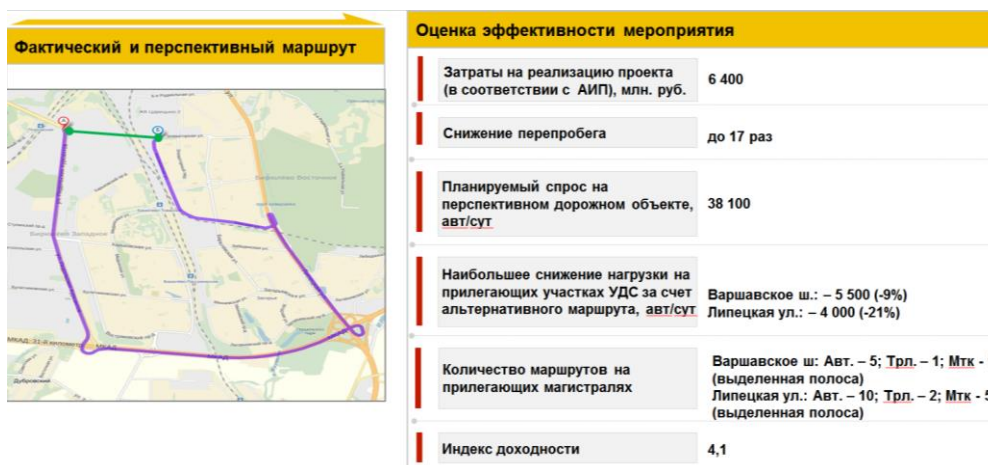


Рисунок 4.16 - Строительство путепровода через пути Павелецкого направления ж/д, от ул. Подольских курс. до ул. Элеваторной

4.4 Приоритизация мероприятий для повышения межрайонной связности в городе Москве

Финансирование мероприятий по повышению межрайонной связности производится в рамках адресных инвестиционных программ. В соответствии с методикой, изложенной в разделе 3.6, подготовке предложений по составу мероприятий в адресно-инвестиционные программы предшествует процедура приоритизации (ранжирования) этих мероприятий.

В таблице 4.1 приведены приоритетные мероприятия, предлагаемые к включению в АИП города Москвы. Приоритизация мероприятий выполнена на основе расчетов, результаты которых приведены выше и они соответствуют методическими указаниями по оценке социально-экономической эффективности инвестиционных проектов в области развития транспортной инфраструктуры.

Таблица 4.1 - Мероприятия, предлагаемые к сохранению и включению в АИП города Москвы

№	Наименование объекта	Снижение перепробега	ИД**	ЧДД**	Сроки окончания ПИР/ СМР	Стоимость ПИР+СМР, млн.руб.
1	Организация эстакады Варшавское шоссе – Кантемировская улица	в 6,2 раз	4,6	23 339	2015/2018	6736

	(в рамках строительства Южной рокады)					
2	Строительство эстакады на Аминьевском шоссе (в рамках строительства Северо-Западной Хорды)	в 3,5 раз	3,4	2 446	2014/2016	4378
3	Дорога: 2-ой Вязовский проезд – ул. Окская	в 17,5 раз	26,9	4 023	2016/2018	163
4	Проезд Шокальского	в 8,5 раз	10,7	584	2016/2018	655
5	Дорога-переезд: ул. Пруд Ключики – 1-ая Фрезерная ул.	в 8,9 раз	7,2	6 214	2017/2018	1050
6	Дорога: ул. Донецкая – ул. Шоссейная	в 7,3 раз	18,0	5 886	2016/2018	600
7	Путепровод (ж/д): ул. 800-летия Москвы – ул. Инженерная	в 40,6 раз	4,9	9 740	2017/2018	2625
8	Дорога: ул. Авиаторов – ул. Родниковая	в 8,3 раз	4,2	969	2016/2018	1500
9	Путепровод (ж/д): проект. пр. 2236 - ул. Хачатуряна	в 9,2 раз	4,1	6 672	2017 (ПИР)	100 (ПИР)
10	Путепровод (ж/д): ул. Менжинского – ул. Дудинка	в 27,3 раз	4,2	3 573	2017 (ПИР)	100 (ПИР)
11	Путепровод (ж/д): ул. Элеваторная - ул. Подольских Курсантов	В 17 раз	7,1	13360		2200

Мероприятия по результатам приоритизации носят рекомендательный характер и требуют согласования со стороны Транспортного комплекса города Москвы и Градостроительного комплекса города Москвы с последующим включением в Адресную инвестиционную программу города Москвы.

Выводы к главе 4.

- Выполненные расчеты подтверждают, что разработанные методики и состав транспортной модели позволяют определить уровни межрайонной связности между любыми парами транспортных районов города и для города в целом с представлением результата в виде количественного показателя.

- Предусмотренные в составе транспортной модели исходные данные с описанием структуры улично-дорожной сети позволяют выработать состав возможных мероприятий по повышению связности с учетом имеющихся особенностей УДС.

- Представленный подход является комплексным решением, позволяющим оценивать межрайонную связность в городе, определять наиболее проблемные с точки зрения связности места, обеспечивать формирование и приоритизацию перечня мероприятий по развитию дорожно-транспортной инфраструктуры.

- В соответствии с разработанным подходом формируется комплекс приоритетных мероприятий, предполагающих как строительство новых дорожных объектов, так и корректировку организации дорожного движения. Предлагаемые объекты ранжируются в соответствии с показателями эффективности для включения в адресную инвестиционную программу.

Заключение

Проведенные разработки позволили решить поставленные задачи, что подтверждается следующими результатами и выводами:

- Анализ ситуации, складывающаяся в крупных и крупнейших городах России и на подходах к ним, показывает, что существующая градостроительная практика и методы организации дорожного движения не обеспечивают решение задачи перегруженности городских улично-дорожных сетей.

- Задача расчета и обеспечения требуемых значений «коэффициента непрямолинейности», нормированных действующим Руководством по проектированию городских улиц и дорог используется редко или не используется совсем, не имеет методического обеспечения и инструментария для расчета. В тоже время взаимосвязь этих показателей с «коэффициентом непрямолинейности» не исследовалась и не определена, что не позволяет планировать и обосновывать мероприятия, необходимые для улучшения связности улично-дорожной сети городов.

- Для крупных городов расчет коэффициента непрямолинейности и планирование мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети могут проводиться только с применением программного обеспечения для ЭВМ с реализацией транспортной модели, что предъявляет специфические требования как к содержанию методики оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети, так и к самому программному обеспечению.

- Предложенная модернизация известного коэффициента непрямолинейности, названного коэффициентом несвязности, позволяет в количественном виде оценивать такие транспортные характеристики, как суммарный перепробег транспортных средств, потери времени при поездках, увеличение экологического загрязнения, рост аварийности и др.

- Для расчета коэффициента несвязности предложены алгоритмы транспортного районирования, основанные на функциональных характеристиках территории города, а также с применением маршрутной сети всех видов общественного транспорта.

- Разработаны требования к транспортной модели, предназначенной для расчета коэффициента несвязности, включающей алгоритм формирования матрицы корреспонденций и подготовку исходных данных. Обоснована возможность применения существующих методов оценки матриц корреспонденции с использованием транспортной модели на основе данных от детекторов транспорта в составе Интеллектуальной транспортной системы (или АСУ ДД).

- Выработана и сформулирована общая методология построения и использования транспортной модели, предназначенной для оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности УДС. Сформулирован перечень требований к доработке программного обеспечения и реализованы на базе аппаратно-программного комплекса PTV Vision® VISUM.

- В форматах, пригодных для программного обеспечения PTV Vision® VISUM, проведена подготовка информационного обеспечения транспортной модели города Москвы, которое включает сведения о более чем 2000 светофорных объектов и видеокамер телеобзора, около 7000 остановок общественного транспорта и детекторов мониторинга условий дорожного движения, 80 тыс. зданий и сооружений, более 45 тыс. торговых объектов, 190 тыс. узлов (развязок и перекрестков), 1,2 млн поворотов по направлениям и т.д.

- Разработан методический инструментарий для оценки влияния коэффициента связности на эффективность работы транспортного комплекса. Выработан алгоритм выбора приоритетных мероприятий для повышения показателя межрайонной связности в городе, включающий изменения в

организации дорожного движения , а также строительство участков улично-дорожной сети.

- Выполненные расчеты подтверждают, что разработанные методики и состав транспортной модели позволяют определить уровни межрайонной связности между любыми парами транспортных районов города и для города в целом с представлением результата в виде количественного показателя. Предусмотренные в составе транспортной модели исходные данные с описанием структуры улично-дорожной сети позволяют выработать состав возможных мероприятий по повышению связности с учетом имеющихся особенностей УДС.

- Представленный подход является комплексным решением, позволяющим оценивать межрайонную связность в городе, определять наиболее проблемные с точки зрения связности места, обеспечивать формирование и приоритизацию перечня мероприятий по развитию дорожно-транспортной инфраструктуры.

- На основе предложенных методов оценки связности УДС выполнены расчеты по оценке ожидаемой эффективности предлагаемых мероприятий, которые применены при разработке и реализации Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы на 2012-2016 гг.», а также при создании и эксплуатации ИТС города Москвы.

- Дальнейшее развитие работ в этом направлении предполагает введение предложенного коэффициента несвязности в нормативно-методические и распорядительные документы, а также применения более широкого класса транспортных моделей, в которых учитываются нелинейные и синергетические особенности транспортных систем, стохастический характер и нечеткая логика исходных данных, динамическое изменений целей и условий функционирования транспортного комплекса.

Литература

1. КОНЦЕПЦИЯ проекта Федерального закона "Об организации дорожного движения и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". «Российская газета», 15 февраля 2012 года
2. Рекомендации по разработке комплексных транспортных схем для крупных городов. – М.: Стройиздат, 1983 – 47 с.
3. Руководство по проектированию городских улиц и дорог – М.: Стройиздат, 1980 – 361 с.
4. Ефремов, И.С. Теория городских пассажирских перевозок / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин./ – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.
5. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах. Утверждено распоряжением Минтранса России от 19.06.2003 г. № ОС-555-р
6. Лагерев Р.Ю. Методика оценки матриц корреспонденций транспортных потоков по данным интенсивности движения. Автореф. дис. ... канд. техн. наук / Роман Юрьевич ЛАГЕРЕВ/. – ИрГТУ., 2006. – 17 с
7. Блинкин, М.Я., <http://www.archnadzor.ru/2007/05/06/slovo-eksperta/>
8. Поляков, А.С., Качественные и количественные характеристики транспортного обслуживания городов. - Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. – № 3. – С. 8–11.
9. Поляков, А.С., Способы увеличения связности улично-дорожной сети с использованием транспортной модели. / А.С. Поляков, В.П. Мартынов /- Наука и техника в дорожной отрасли. – 2016. – № 1. – С. 6–9.

10. Жанказиев, С.В., Научные подходы к формированию концепции построения интеллектуальных транспортных систем в России. - Вестник ГЛОНАСС. – 2012. – № 1. – С. 29.

11. Жанказиев, С.В., Исследование зависимости точности качественных матриц корреспонденции от точности оборудования и его размещения на дорожной сети. / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, Д.Ю. Морозов /- Транспорт Российской Федерации. – 2015. – №5/ – С.44-47

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

13. Ильина Е. А. Оценка влияния развития транспортной сети на экономическое развитие региона. /Е.А. Ильина/- ARS ADMINISTRANDI - 2013 -№2, с. 91-97

14. Михайлов А. Ю. Научные основы проектирования улично-дорожных сетей. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. /Александр Юрьевич Михайлов/ - ИрГТУ, 2004 г. -371 с.,

15. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.,

16. Агасьянц А.А. Основные предпосылки повышения эффективности улично-дорожной сети //Совершенствование транспортных систем городов. Тезисы сообщений Всесоюзного науч.-техню. сем. Суздаль. 9-11 ноября 1989. - М. ЦНИИП градостроительства, 1989. - С. 20 - 23.

17. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт. 1972.-424 с.

18. Капитанов В.Т., Хилажев Е.Б. Управление транспортными потоками в городах. - М.: Транспорт, 1985. - 94 с.
19. Киселева О.Н., Сена С.Л., Федоров В.П. Определение матрицы существующих грузовых корреспонденции на основе обследований на магистральной сети //Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов. Тез.докл. второй обл. эконом, конф. - Свердловск, 1988.-С. 95-98.
20. Левит Б.Ю., Лившиц В.Н. Нелинейные транспортные системы. - М.: Транспорт, 1972. - 144 с.
21. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. - М.: Транспорт, 1990. -240 с.
22. Михайлов А.Ю. Проектирование городских улиц и дорог. Учебное пособие/ - Иркутск: ИрГТУ-ИрДУЦ, 1998. -111с.
23. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. - М.: Транспорт, 1977. - 303 с.
24. Сильянов В.В., Лобанов Е.М., Ситников Ю.М. Сапегин Л.Н. Пропускная способность автомобильных дорог.. - М.: Транспорт, 1972. — 152 с
25. Белый О. В., Кокаев О. Г., Попов С. А. Архитектура и методология транспортных систем. -М.: Издательство Элмор, 2002 - 256 с
26. Блинкин М.Я., Сарычев А.В. Качество институтов и транспортные риски.— М.: НИИТДХ, 2008- 164 с.
27. Блинкин М.Я., Ткаченко Б.А. Системная оценка условий движения на базе модели Хермана-Пригожина. // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния. - Екатеринбург, - 2009 –С. 135-143

28. Буйленко В.Я., Чуклинов Н.Н. и др. Методы обеспечения пассивной безопасности автомобильных дорог. - М.: ВНИИБД МВД СССР, 1980. -39 с.

29. Донченко В.В., Кунин Ю.И., Казьмин Д.М. Комплексная транспортная политика в крупных городах России - путь решения проблемы перегруженности дорог// Транспортная безопасность и технологии - 2010 -№1(21),

30. Еремин В.М., Чуклинов Н.Н., Федоров Н.В., Моргачев К.В. Комбинирование моделей неопределенности и системы поддержки принятия решений в области обеспечения безопасности дорожного движения. // Горный информационно-аналитический бюллетень.–2010 - с. 155-159

31. Зырянов В. В. Критерии оценки условий движения и моделей транспортных потоков. — Кемерово: Кузбасвузиздат, 1993. — 164 с.

32. Кондратьев В. Д. Задача выбора мероприятий программы обеспечения безопасности дорожного движения // Системы управления и информационные технологии. –2008. –№ 1 (31). – С. 41-43.

33. Кочерга В.Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении / В.Г. Кочерга, В.В. Зырянов, В.И. Коноплянко. — Ростов н/Д: Рост. гос. строит, ун-т, 2001. — 112 с.

34. Кирьянов В.Н. Основные направления совершенствования деятельности в области обеспечения безопасности дорожного движения // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: VII Междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2006. – С. 3 – 6.

35. Михайлов А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. –Новосибирск: Наука, 2004. – 267с.

36. Новизенцев В.В., Чуклинов Н.Н. Ограничение скорости и безопасность движения.// Организация движения в сложных дорожных условиях МАДИ, 1976. - с. 145-148

37. Ногова Е.Г.. К вопросу о современном состоянии автоматизации управления дорожным движением // Системы организации и управления безопасностью дорожного движения: СПб гос. архит. - строит. ун-т., 2008 – 136 с..

38. Телематика на автомобильном транспорте / В.М. Власов, С.В. Жанказиев, А.Б. Николаев, В.М. Приходько. — М.: МАДИ(ГТУ),2003. — 173

39. Чуклинов Н.Н. Мартынов В.П. Выработка экономических решений по повышению безопасности дорожного движения в условиях государственно-правового регулирования. Федеральное государственное учреждение «Дирекция по управлению федеральной целевой программой «Повышение безопасности дорожного движения в 2006-2012 годах». - М.: Бюллетень № 10, 2010 – 168 с.

40. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учебное пособие / Издание 2-е, испр. и доп. А.В. Гасников и др. Под ред. А.В. Гасникова. — М.: МЦНМО, 2013. — 215 с.

41. Растригин Л. А. Адаптация сложных систем: Методы и приложения. — Рига: Зинатне, 1981. — 375 с

42. Джей Форрестер, Динамика развития города, М., «Прогресс», 1974 г., с. 118-125.

43. Пригожин И.Р., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М., 1994.

44. Требования к навигационным картам.
<http://gisinfo.ru/products/editroad.htm>

45. Михеева Т.И., Михеев С.В., Богданова И.Г. Модели транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.

46. Амбарова П. А., Дисциплинарные и междисциплинарные подходы к определению понятия нелинейности. // Известия УрФУ. Сер. 1: Проблемы науки, образования и культуры. – 2014. – № 2 (126).
47. Басимов М.М., Нелинейная социология: монография. – Курган: Курганский государственный университет, 2012, - 120 с.
48. Теория принятия решений в сложных социотехнических системах [Текст]: учеб. пособие. - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2005. - 280 с.
49. Кутыркин А.В. Модели и методы разработки крупномасштабных предметных областей управления транспортными системами и производством: Монография. - М.: Изд-во МИИТ, 2004.- 148 с
50. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.
51. Кудрявцев И. К., Лебедев С. А. Синергетика как парадигма нелинейности // Вопросы философии. – 2002. – № 12. – С. 55 – 63.
52. Андрианов И. В. Баранцев Р. Г., Маневич Л. И. Асимптотическая математика и синергетика: путь к целостной простоте. М.: Едиториал УРСС, 2004, 304 с.
53. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления: Монография. – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ "Российский университет кооперации", 2013. – 153 с.: ил.
54. Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие /Под общ. ред. Ю.Д. Шелкова. – М.: НИЦ ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.
55. Шелков Ю.Д., Шештокас В.В. Методический подход к оценке работоспособности городской улично-дорожной сети //Тр. ВНИИБД МВД СССР. – М., 1979. – Вып.4. – С.20 – 23.
56. Поспелов П.И., Пуркин В.И. Защита от шума при проектировании автомобильных дорог. – М.: МАДИ, 1985. – 119 с.

57. ОДМ 218.2.032-2013. Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах.
58. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.
59. СП 42.13330.2011 «СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»
60. Михеева Т.И. Структурно-параметрический синтез систем управления дорожно-транспортной инфраструктурой: диссертация ... доктора технических наук : 05.13.01 / Михеева Татьяна Ивановна; [Место защиты: Уфим. гос. нефтяной техн. ун-т].- Самара, 2007.- 386 с.: ил.
61. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 г. № 1734-р.
62. Антропов В.А., Мишарин А.С. Территориальные транспортные комплексы. - Екатеринбург: М-во транспорта РФ, УрГУПС, 2005. - 241 с.
63. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б. Теория транспортных процессов и систем. - М.: Транспорт, 1998. - 167 с.
64. Евсеев С.В. Эффективность транспортных услуг в современных условиях // Экономические науки. - 2006. - № 3. - С. 46-53.
65. Швецов В.И., 2003, «Математическое моделирование транспортных потоков», Автоматика и Телемеханика, № 11, с. 3-46
66. Algers S., Eliasson J., Mattsson L.-G., 2005, "Is it time to use activity-based urban transport models? A discussion of planning needs and modelling possibilities", Ann Reg Sci 39, p 767-789.
- 67.** Швецов В.И. «Алгоритмы распределения транспортных потоков», Автоматика и Телемеханика, №10, 2009, с. 148-157.
- 68.** Алиев А.С., Стрельников А.И., Швецов В.И., Шершевский Ю.З., 2005, «Моделирование транспортных потоков в крупном городе с

применением к Московской агломерации», Автоматика и Телемеханика, № 11, с. 113-125

69. Евин И. А. «Введение в теорию сложных сетей», Компьютерные исследования и моделирование. – 2010, т. 2, № 2 с. 121–141

70. Visum (PTV) – макро моделирование транспортных потоков. http://ptv-vision.ru/produkty/akademicheskaya_verciya_programm_ptv

71. Донченко В.В. Проблемы обеспечения устойчивости функционирования городских транспортных систем: Монография. –М., 2005.- с. 106

72. Рекомендации по стандартизации Р 50.1.033–2001. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть I. Критерии типа хи-квадрат. Издание официальное. ГОССТАНДАРТ России. Москва – 2002

73. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/Под ред. Д. А. Поспелова.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 312 с.— (Проблемы искусственного интеллекта).

74. Беляев Д.С., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Глухов Т.А. Применение логики нечетких множеств при оценке технического состояния автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-2. – С. 356-360;

75. Закон г. Москвы от 9 декабря 1998 г. № 28 "О градостроительном зонировании территории города Москвы"

76. ВСН 25-86 Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах;

77. Гатаулин, С.Т. Экономическая оценка и пути снижения потерь на железнодорожных переездах: автореф. дис...канд. экон. наук: 08.00.05 / С.Т. Гатаулин; Гос.ун-т. упр-я. – Москва, 2009.– 20 с.

78. Гордяев, А.И. Принятие решений, влияющих на обеспечение безопасности на переездах / А.И. Гордяев // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 11. – С. 30–31.

79. Горев А.Э., Попова О.В., Филимонова А.М. Повышение эффективности использования общественного транспорта за счет выделенных полос / // Автотранспортное предприятие. - 2010. - N 8. - С. 10-12

80. ГОСТ Р 50597-93. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения;

81. ГОСТ Р 51256-99. Разметка дорожная. – М.: Изд-во стандартов, 1999.

82. ГОСТ Р 52289-2004 Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.

83. ГОСТ Р 52290-2004. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2004.

84. Демченко Е.В. Проектирование жизнеспособных пешеходных сетей // Вестник магистратуры. – 2013. – №7. С. 43–44.

85. Донченко, В.В. Транспортное моделирование: методологические основы, программные средства и практические рекомендации / В.В. Донченко и др.]. – М.: Автополис-плюс, 2008. – 112 с.

86. Жанказиев С. В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов. Дис....докора техн.наук. М., 2012

87. Жанказиев С. В., Тур А. А., Халилев Р.Ф. Интеллектуальные дороги – современный взгляд //«Наука и техника в дорожной отрасли», № 2 – 2010, стр. 1-6

88. Задера В. Открытый город // Твоя дорога. – 2013. – №5. С. 18–21.
89. Зайцева, Т.Н. Безопасность движения на железнодорожных переездах зарубежных стран и перспективы ее улучшения / Т.Н.Зайцева // Ж.-д. трансп. в РФ, СНГ и за рубежом: Обзор ЦНИИТЭИ МПС. – 1998. – № 25. – С. 60-68.
90. Зырянов В. В. Применение микромоделирования для прогнозирования развития транспортной инфраструктуры и управления дорожным движением //Дороги России XXI века//М. - №3, 2009. - с. 37- 40
91. Зырянов В. В., Барсело Х., Феофилова А. А. Моделирование динамической маршрутизации транспортных потоков на улично-дорожной сети городов, V Юбилейный Московский международный Конгресс по интеллектуальным транспортным системам, Москва, Россия, 2013. – Режим доступа: <http://pibd.ru/its5-2013-doklady-5> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз.рус.
92. Зырянов В.В., Кочерга В.Г., Поздняков М.Н. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – №1. С. 54–59.
93. Иванова Е. А. Оценка задержек транспортного потока на улично-дорожной сети города : Дис. ... канд. техн. наук : М. МАДИ, 2005 - 132 с.
94. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
95. Калашников И. Транспорт как услуга // Твоя дорога. – 2011. – №5. С. 104.
96. Каменский, В.Б. Опыт повышения безопасности движения через переезды / В.Б. Каменский // Железнодорожный транспорт.– 1996.– № 11.– С. 75-77.

97. Капитанов В.Т. Шауро С.В. Методика расчета светофорного цикла. – М.: Изд-во ВНИИ БД МВД СССР, 1979. – 49 с.
98. Капский, Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении: монография / Д.В. Капский. – Минск: БНТУ, 2008. – 243 с.
99. Карасевич, С.Н. Снижение автотранспортных потерь на железнодорожных переездах техническими средствами организации дорожного движения: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.22.10 / С.Н. Карасевич; БНТУ. – Минск, 2014. – 24 с.
100. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 2001. – 247с.
101. Коноплянко В.И., Гуджоян О.П., Зырянов В.В., Косолапов А.В. Организация и безопасность дорожного движения. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 1998. – 236 с.
102. Коншин Е.П., Репин Я.С., Степанов В.В. Применение технических средств организации дорожного движения на перекрестках: Методические рекомендации. - М.: ВНИЦБД МВД СССР, 1991. - 76 с.
103. Кочерга В.Г., Шаталова Е.Е. Технические средства современных автоматизированных систем управления дорожным движением: учебное пособие. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 74с.
104. Кременец Ю.А. Управление движением по отдельным направлениям. // "Traffic Safety". Tallinn, November 14-15, 1990. Background Papers. Tallinn, 1990. p.137 – 139.
105. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения: учеб. для вузов / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. - М.: Академкнига, 2005. - 279 с.
106. Курлова А.В., Поздняков М.Н. Адаптивное управление светофорной сигнализацией на кольцевых пересечениях автомобильных

дорог//Молодёжь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы II студ. науч.-техн. конф. / Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград, 2008. – С. 19–24.

107. Кухаренок Г.М., Карасевич С.Н., Кузьменко,В.Н., Кабак С.В. Повышение безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах общего пользования путем устройства кольцевых развязок / Г.М. Кухаренок, С.Н. Карасевич, В.Н. Кузьменко, С.В. Кабак // Научн. вест. автомоб. т-та / НИИАТ. – Москва, 2013. – Вып. 7 (июль). – С. 20–29.

108. Лавринович Я.Г. Технические решения для повышения безопасности движения на железнодорожных переездах / Я.Г. Лавринович, В.В. Бурченков // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III Междунар. научн.- практ. конф., Гомель, 27-28 окт. 2005 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 153–154.

109. Ланцберг Ю.С. Городские площади, улицы и дороги. – М.: Стройиздат, 1983. – 216 с.

110. Леонович И.И. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. – Минск: Вышэйш. шк., 1988. – 347 с.

111. Луковецкий, М.А. Об определении эффективности технических решений по повышению пропускной способности и безопасности движения через железнодорожные переезды / М.А. Луковецкий // Трансп.: наука, техника, упр. – 1998. – № 8. – С. 28-31.

112. Луковецкий, М.А. Срок окупаемости затрат / М.А. Луковецкий, В.А. Поздняков // Путь и путевое хоз-во. – 1998. – № 9. – С. 30–32.

113. МГСН 1.01-99 Нормы и Правила проектирования планировки застройки г. Москвы.

114. Методические рекомендации по назначению мероприятий для повышения безопасности дорожного движения на участках концентрации

ДТП: утв. Распоряжением Росавтодора от 30.03.2000г. № 65-р.– М.: Информавтодор, 2000. – 79 с.

115. Метсон Т. Организация движения. – М.: Научно-техническое издательство министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог РСФСР, 1960. – 463с.

116. Михайлов А.Ю. Разработка критерия оценки качества организации движения на регулируемых пересечениях улично-дорожных сетей городов.//Реф. канд. дисс. М.:МИСИ, 1096 . – 18 с.

117. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Робастное оценивание матриц корреспонденций на основе данных интенсивности движения //Вестник стипендиатов DAAD.. DAAD, ИрГТУ, Иркутск, 2001. – С. 31 – 42.

118. Никурадзе Н.Ш. К вопросу о потоках насыщения.// Труды МАДИ, 1979, вып.168, с.121-123

119. Петрович М.Л., Истомина Л.Ю., Сущих А.Ю.. Сравнительный анализ программных комплексов для моделирования потоков в транспортной сети/Материалы XVII Международной (двадцатой Екатеринбургской) научно-практической конференции - Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния - Науч. ред. С.А. Ваксман. – Екатеринбург: Изд-во Урал.гос. экон. ун-та, 2011. – 327 с.

120. Пржибыл, П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек; пер. с чешского О. Бузека, В. Бузковой; под ред. В. В. Сильянова. - М.: МАДИ (ГТУ), 2003.-540 с.

121. Рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений. //М.: ЦНИИП градостроительства Минстроя России, 1994. – 88 с.

122. Рекомендации по разработке комплексных транспортных схем для крупных городов. – М.: Стройиздат, 1982. – 120с.

123. Рунз Э. и др. Справочник по безопасности дорожного движения. – М.: МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с.
124. Сигаев А.В. Проектирование улично-дорожной сети. – М.: Стройиздат, 1978. – 283 с.
125. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. – М.: Академия, 2007. – 352 с.
126. Страментов А.Е., Фишельсон М.С. Городское движение. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 256 с.
127. Тебеньков С. Е., Михайлов А. Ю. Активное управление дорожным движением. Перспективы применения в Российской Федерации//Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов десятой международной конференции/СПбГАСУ.СПб.2012.–С.138 –142.
128. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов. – М.: Высшая школа, 1985. – 239 с.
129. Шештокас, В.В., Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах / В.В. Шештокас, Д.С. Самойлов. – М.: Транспорт, 1987. – 207с.
130. Эльвик, Р. Справочник по безопасности дорожного движения / Рунэ Эльвик, Аннэ Боргер Мюсен, Трулс Ваа. // Пер. с норв. Под редакцией проф. В.В. Сильянова. М.: МАДИ, 2001. – 754 с.

**Приложение. Справка о внедрении результатов диссертационного
исследования**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ГКУ ЦОДД
Правительства Москвы



В.Ю. Юрьев

2016 г

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

**результатов диссертационного исследования А.С Полякова
по теме: «Разработка методики оценки эффективности комплекса
мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети»**

Результаты диссертационного исследования Полякова Александра Сергеевича на тему «Разработка методики оценки эффективности комплекса мероприятий по увеличению связности улично-дорожной сети», использованы в практике деятельности Государственного казенного учреждения города Москвы – Центр организации дорожного движения (сокращенное наименование – ГКУ ЦОДД) в рамках работ по созданию и эксплуатации Интеллектуальной транспортной системы города Москвы, а именно:

- разработан и включен состав транспортной модели города Москвы алгоритм обоснования приоритетных направлений развития транспортной инфраструктуры с учетом коэффициента связности УДС. Предложенные в диссертации методы оценки УДС применены в рамках разработки и реализации Государственной программы города Москвы «Развитие транспортной системы на 2012-2016 гг.», а также при создании и эксплуатации ИТС города Москвы;

- обоснована модель транспортного районирования территории города для

оценки коэффициента связности УДС, отвечающей целям и содержанию проектных работ по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры города;

- разработан и реализован алгоритм расчета коэффициентов связности УДС города в целом и его отдельных территорий для возможных проектных решений по изменениям в организации дорожного движения и по реконструкции улично-дорожной сети;

- разработана и утверждена методика по оценке социально-экономической эффективности инвестиционных проектов в области развития транспортной инфраструктуры на предпроектной и проектной стадиях в области организации дорожного движения, капитального строительства, реконструкции, технического оснащения объектов транспорта и транспортной инфраструктуры;

- выполнены расчеты по оценке ожидаемой эффективности предлагаемых мероприятий адресно-инвестиционной программы города Москвы с учетом увеличения связности УДС.

Заместитель руководителя

ГКУ ЦОДД *Ташков А.С.*

Начальник Управления

ГКУ ЦОДД *Щеняков В.А.*

