

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

На правах рукописи



Юрченко Дмитрий Алексеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ТРАНСПОРТНОГО
ПЛАНИРОВАНИЯ ЗА СЧЕТ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИДОМОВЫХ
ТЕРРИТОРИЙ**

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
д-р техн. наук, доцент Агуреев Игорь Евгеньевич

Тула 2020 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Анализ научно-исследовательских работ по вопросам математического моделирования поведения автомобильных транспортных потоков на городской УДС.....	12
1.1 Предварительные замечания.....	12
1.2 Анализ методов моделирования транспортных потоков.....	14
1.3 Анализ основных систем автоматизированного моделирования.....	19
1.4 Методология расчета загрузки УДС.....	24
1.5 Выводы по главе 1.....	28
2. Экспериментальные исследования придомовых территорий городских жилых районов как источников формирования автомобильных потоков.....	30
2.1 Предварительные замечания.....	30
2.2 Анализ состояния вопроса.....	31
2.3 Методы натурных обследований транспортной загрузки УДС.....	35
2.4 Приборы для натурных обследований транспортной загрузки УДС.....	40
2.5 Цели и задачи эксперимента, выбор метода и оборудования.....	43
2.6 Описание методики проведения натурального обследования.....	44
2.7 Результаты проведенных натурных обследований.....	51
2.8 Выводы по главе 2.....	59
3. Совершенствование методов определения загрузки улично-дорожной сети и разработка основных положений для улучшения транспортной ситуации.....	61
3.1 Теоретические аспекты моделирования транспортных систем на основе макроскопического подхода.....	61
3.2 Методическое, информационное и программное обеспечение для решения задачи по определению загрузки УДС.....	67
3.2.1 Общая методика построения и использования транспортной модели... ..	67
3.2.2 Информационное обеспечение транспортной модели.....	76

3.2.3 Требования к программному обеспечению и их реализация.....	77
3.3 Моделирование транспортной загрузки УДС г. Тулы.....	80
3.3.1 Предварительные замечания.....	80
3.3.2 Постановка задачи и подготовка исходных данных.....	82
3.3.3 Описание алгоритма решения задачи о загрузке УДС.....	87
3.3.4 Калибровка и валидация транспортной модели.....	88
3.3.5 Анализ полученных результатов.....	97
3.3.6 Сравнение результатов расчетов по базовой и предлагаемой методике.....	100
3.3.7 Применение разработанной методики для прогнозирования загрузки УДС Зареченского округа после строительства нового мостового перехода через р. Упа.....	102
3.4 Выводы по главе 3.....	108
Заключение	109
Список сокращений и условных обозначений.....	112
Список литературы.....	113
Приложение А.....	127

ВВЕДЕНИЕ

Транспортное моделирование является одним из эффективных средств для решения задач в области АТС. Поиск эффективных способов управления ТП, принятие оптимальных решений при проектировании УДС и организации дорожного движения на ней невозможно без использования методов моделирования. Ограниченность возможностей экспериментальных исследований больших ТС делает невозможным их проектирование и эксплуатацию без использования методов моделирования, которые позволяют представить процессы функционирования систем в соответствующей форме и описывать протекания этих процессов с помощью математических моделей.

Несмотря на большой объем накопленного научного материала, не существует транспортных моделей, которые достоверно описывали бы все существующие фазы дорожного движения. При процессе формализации ТП возникают определенные трудности из-за дисбаланса между результатами научных исследований и практически наблюдаемыми результатами. Этим и объясняется наличие различных подходов к транспортному моделированию и достаточно большое число программных продуктов, моделирующих ТП.

Задача прогнозирования формирования и развития ТП на дорогах имеет в настоящее время высокую степень актуальности и требует разработки новых моделей автомобильного трафика. Недостаточная точность составляемых прогнозов является одной из проблем транспортного моделирования. Ошибки, возникающие на этапе принятия решений, приводят к существенным бюджетным и финансовым потерям, снижению пропускной способности УДС. Потребители транспортных услуг и участники дорожного движения теряют время и материальные средства. Корректность системы сбора исходной транспортной информации, адекватность выбранных прогнозных показателей задачам исследования позволяют в значительной мере повысить качество и точность прогнозов.

На сегодняшний день эксплуатация ТС различных типов и уровней не представляется возможным использования современных информационных технологий, которые предполагают применение математического описания ТС адекватного процессам, происходящим в реальности. Вопросы загрузки УДС транспортными потоками рассматриваются в качестве микросистемы, где детерминированное поведение описывает каждый отдельный элемент.

Исследования, которые представлены в работах [1, 2], подтверждают не только стохастические характеристики ТП, но и показывают выявление закономерностей, подходящих потоку на одном и том же участке УДС в одни и те же отрезки времени характерных часов суток. Поиск подобных закономерностей является важной составляющей при изучении функционирования транспортных макросистем, частным случаем которой можно считать движение автомобильного транспорта на УДС. При этом стоянки, парковки и др. (источники/стоки транспорта в более широком смысле) представляет собой, с позиции теории макросистем, отдельные аспекты состояний элементов (например, если автомобиль – это элемент системы, а состояние – принадлежность его конкретной транспортной зоне, то парковка – это и есть транспортная зона – источник ТП).

Построение транспортной модели любого города базируется на создании графа УДС с определением точек притяжения труда и отдыха проживающего населения (источники/стоки транспортных средств). Для базовой прогнозной имитационной транспортной модели таковыми источниками – стоками являются промышленные предприятия, торгово-развлекательные центры, банки и офисы, учебные заведения, круглосуточные охраняемые платные автостоянки и пр. Повышение точности прогнозирования загруженности УДС при моделировании требует увеличения количества рассматриваемых транспортных районов; более полной детализации графовой модели за счет увеличения числа узлов и дуг. В этом случае на графе размещаются не только крупные центры притяжения, но и жилые кварталы города с парковками, расположенными на придомовых территориях. Именно они, а не промышленные

предприятия, торговые центры и пр., являются основными источниками транспортных средств на УДС в утренние и вечерние часы.

Таким образом, очевидно, что динамика ТП тесно связана с динамикой источников/стоков транспорта. Отсюда следует необходимость и актуальность более глубокого изучения характера функционирования стоянок и парковок, возникающих на придомовых территориях городских жилых кварталов. Если работа отдельно расположенных стоянок и парковок (центров массового тяготения) изучена подробно [3, 12, 14], то стоянки на придомовых территориях исследованы недостаточно. При их исследовании необходимо решать проблему не только пешеходного движения, но и учитывать транспортную загрузку ими прилежащих магистралей. Анализ теоретических и экспериментальных работ, связанных с исследованиями источников и стоков транспортных средств, показал своевременность проведения настоящего исследования.

Актуальность темы исследования. Транспортные проблемы современных городов России имеют сложный спектр причин и разнообразные проявления, что приводит к необходимости теоретического осмысления и широкомасштабных практических исследований. Эти проблемы тесно примыкают к сферам градостроительства, землепользования, распределения городских функций, экологии и др. В настоящее время для решения транспортных проблем применяют самые разнообразные методы и средства.

Спрос на поездки автотранспортными средствами представляет собой достаточно разнообразное и сложное явление, что обусловлено множеством факторов, а именно: распределением мест труда и проживания, геометрией городских дорог и улиц (ориентированный граф), схемами организации дорожного движения, количеством и качеством транспортных средств, демографическими условиями (плотность населения в различных районах) и пр. Поиск закономерностей, которые необходимо учитывать при решении задачи о загрузке улично-дорожной сети (УДС), является важной составляющей при изучении функционирования транспортных макросистем. При этом погрешность решения задач о загрузке УДС высока (часто не ниже 20%). Для повышения

точности моделирования требуется переход к динамической постановке, а также более детальное изучение характера функционирования источников и стоков транспорта как функций времени (в том числе стоянок и парковок). Повышение точности прогнозирования требует более полной детализации графовой модели УДС за счет увеличения числа узлов и дуг. В этом случае на графе появляются жилые кварталы города с придомовыми территориями, и именно они являются основными источниками транспортных средств в утренние часы, а не промышленные предприятия, торгово-развлекательные центры, банки, офисы, учебные заведения и пр.

Если работа отдельно расположенных стоянок и парковок (центров массового тяготения) изучена подробно, то стоянки автотранспорта на придомовых территориях в жилых городских районах как источники транспорта исследованы недостаточно. Именно они определяют объемы основных потоков транспортных средств в утренние «часы пик».

Все это и обусловило необходимость проведения настоящего исследования и подтверждает актуальность выбранной темы.

Степень разработанности темы исследования. Исследования по применению методов математического моделирования к решению транспортных задач проводили отечественные ученые: Алиев А.С., Гасников А.В., Горев А.Э., Дубелир Г.Д., Зырянов В.В., Кленов С.Л., Корчагин В.А., Ляпин С.А., Нурминский Е.А., Попокв Ю. С., Швецов В.И., а также иностранные ученые – А. Дж. Вильсон, И. Пригожин, Дж. Уизем, Ф. Эндрюс, Р. Херман и др.

Вместе с тем, современные условия требуют повышения уровня адекватности результатов, получаемых математическим моделированием транспортных потоков (ТП), реальному состоянию УДС на любом заданном интервале времени.

Рабочей гипотезой стало предположение о том, что стоянки и парковки индивидуальных транспортных средств как источники генерации автомобилей определяют основную динамику загрузки УДС в любое время суток и описываются функциями времени, требующими определения и классификации.

Цели и задачи. Целью исследования является разработка, обоснование и апробация методики транспортного планирования, предназначенной для решения задач прогнозирования ТП, модернизации УДС, имеющих большое социальное значение в повышении качества жизни населения, и основанной на экспериментальной динамике функционирования стоянок и парковок индивидуальных транспортных средств, каковыми являются придомовые территории.

В настоящем исследовании для достижения сформулированной цели были поставлены и решены следующие задачи.

1. Проведен анализ теоретических и экспериментальных работ, связанных с исследованиями источников и стоков транспортных средств; обоснована актуальность диссертационной работы.

2. Разработана программа экспериментальных исследований динамики функционирования источников-стоков транспорта, основанная на применении ультразвуковых детекторов транспорта и визуальных наблюдений; проведения экспериментальных работ в соответствии с программой.

3. Обработка экспериментальных данных наблюдений и получение зависимостей для моделирования потоков в источниках-стоках транспорта.

4. Разработка модели УДС с уточненной динамикой источников-стоков транспорта, а также калибровка и валидация модели.

5. Решены задачи определения интенсивности транспортных потоков на УДС с использованием построенной модели с целью повышения точности получаемых решений.

6. Показаны возможности применения усовершенствованной методики при решении задач транспортного планирования.

7. Обосновать и апробировать усовершенствованную методику транспортного моделирования.

Объектом исследования является автотранспортная система (АТС) города, содержащая УДС, а также совокупность источников/стоков индивидуального транспорта.

Научная новизна состоит в научно обоснованной совокупности теоретико-методических положений, научных и практических методов, математических моделей, алгоритмов и методики транспортного планирования городских УДС:

- разработана и обоснована усовершенствованная имитационная модель загрузки городской транспортной сети, которая отличается от существующих тем, что модель УДС включает детализированное представление стоков/источников транспорта (стоянок автомобилей и придомовых территорий) на примере г. Тулы;
- предложен экспериментальный метод изучения функционирования стоков/источников транспортной сети на придомовой территории;
- предложены и обоснованы методика и алгоритм решения задачи загрузки УДС в квазидинамической постановке, учитывающие временные свойства разработанной модели УДС;
- установлены закономерности изменения загрузки УДС в зависимости от динамики функционирования стоков/источников.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные в работе результаты имеют теоретическое значение, которое заключается в уточнении методики транспортного планирования, основанном на детализации динамики источников/стоков транспортных средств и квазидинамическом характере решаемых задач.

Результаты исследований имеют прикладной характер и могут быть использованы при совершенствовании эффективности работы АТС, улично-дорожных сетей крупных городов, схем организации дорожного движения, а также при разработке систем управления транспортом.

Предмет исследования: закономерности функционирования источников/стоков индивидуального транспорта в составе задачи о загрузке УДС.

Методология и методы исследования. Теоретической основой исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов

в области прогнозного и имитационного моделирования АТС, методов решения задачи загрузки УДС, теории макросистем, математического анализа, а также методов экспериментальных исследований транспортных систем и анализа данных (обработки результатов эксперимента методами математической статистики и теории вероятностей).

Положения, выносимые на защиту:

1. Усовершенствованная имитационная модель загрузки УДС, включающая детализированное представление стоков/источников транспорта, какими являются стоянки автомобилей на придомовых территориях жилых кварталов г. Тулы.

2. Метод экспериментального изучения динамики функционирования стоков/источников исследуемой транспортной сети, основанный на применении ультразвуковых детекторов транспорта и визуальных наблюдениях, обеспечивающий получение по результатам обработки экспериментальных данных зависимостей параметров ТП для их моделирования как характеристик стоков/источников автотранспорта.

3. Методика решения задачи загрузки УДС в квазидинамической постановке, включающая в себя: разработку модели УДС с уточненной динамикой стоков/источников транспорта, а также верификацию, калибровку и валидацию модели.

4. Результаты анализа влияния свойств и динамики стоков/источников автотранспорта, расположенных на придомовых территориях жилых кварталов, на закономерности изменения загрузки УДС, определение повышения точности получаемых решений.

Степень достоверности и апробацию результатов. Достоверность результатов обеспечивается выбранными методиками исследования, включающими в себя современные научные методы: корреляционно-регрессионный анализ, имитационное моделирование, а также апробацией при обсуждении результатов на научно-практических конференциях. Это позволило

обеспечить доказательность и обоснованность разработанных подходов и полученных результатов.

Основные теоретические положения и научные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на Международных, Всероссийских конференциях и семинарах: «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта» (Тула, 2019 г.); «Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее» - сборник статей XIX международной научно-практической конференции» (Пенза, 2019 г.); «Организация и безопасность дорожного движения» (Тюмень, 2020); «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства» (Тюмень 2020), «Автомобили, транспортные системы и процессы: настоящее, прошлое и будущее» (Курс, 2020 г.) и др.

Результаты исследования реализованы при поддержке гранта РФФИ 19-48 – 710015\19 для создания транспортной системы моделирования транспортных потоков в г. Туле с помощью системы программно-аналитического комплекса «TransNet» ver.1.1, а также используются в учебном процессе в ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Полученные в работе результаты имеют теоретическое значение, которое заключается в уточнении методики транспортного планирования, основанном на детализации динамики источников/стоков транспортных средств и квазидинамическом характере решаемых задач. Результаты исследований имеют также и прикладной характер, могут быть использованы при совершенствовании УДС крупных городов, схем ОДД, при разработке систем управления транспортом.

Выбранные методики исследования обеспечивают достоверность итогов. Здесь отмечаем современные научные исследований анализ корреляционно-регрессионного характера, экспериментальное планирование, имитационное моделирование, а также апробацией при обсуждении результатов на научно-практических конференциях. В результате этого разработанные

подходы обеспечивают доказательную и обоснованную базу в получении результатов.

1 АНАЛИЗ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО ВОПРОСАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ГОРОДСКОЙ УДС

1.1 Предварительные замечания

Транспортная инфраструктура выступает в качестве важнейшей инфраструктуры, которая обеспечивает жизнедеятельность городов и регионов. За последние десятилетия экстенсивное развитие транспортных сетей практически исчерпано. Риски инвестиций значительно увеличиваются с каждым годом, что связано с отсутствием строгого учета, когда загружается конкретный элемент транспортной сети. Игнорирование закономерностей подобного характера повышает риск перегрузки или недогрузки отдельного участка транспортной сети, что в последствие формирует заторы. Появляются территории, где недоступно транспортное обслуживание, существенно увеличивается вероятность аварийных ситуаций. Окружающая среда получает негативное воздействие от веществ, выбрасываемых транспортными средствами. Население заинтересовано в том, чтобы увеличились показатели транспортного обслуживания; повысилась безопасность, надежность и качество перевозок.

Если одни и те же параметры процесса передвижения повторяются со временем суток, то это показывает стохастический характер ТП, также как и максимальная частота транспортных средств за определенный промежуток времени, т.е. вероятностное распределение характеристик ТП в определенное время (часы суток). Результаты натурных обследований подтверждают не только стохастические характеристики ТП, но и позволяют выявлять закономерности, присущие потоку на одном и том же участке УДС в одни и те же отрезки времени характерных часов суток [1,2].

Поиск подобных закономерностей является важной составляющей при изучении функционирования транспортных макросистем, частным случаем которой можно считать движение автомобильного транспорта на УДС. При этом стоянки, парковки и др. (источники/стоки транспорта в более широком

смысле) представляет собой, с позиции теории макросистем, отдельные аспекты состояний элементов (например, если автомобиль – это элемент системы, а состояние – принадлежность его конкретной транспортной зоне, то парковка – это и есть транспортная зона – источник ТП).

Очевидно, что динамика ТП тесно связана с динамикой стоков/источников транспорта. Отсюда следует необходимость и актуальность более глубокого изучения динамики стоянок и парковок. В качестве чрезмерно сложного и трудоемкого мероприятия выступает именно исследование дорожной ситуации, поскольку в состав транспортной системы входит многие факторы в соответствии с социальными нюансами, и далеко не каждый из них учитывается легко, когда сложившаяся ситуация описывается адекватно. В результате этого, важно оптимально спланировать транспортные сети - улучшить организацию передвижения транспортных средств. Задачи данной области решаются способами транспортного моделирования, что является базовым инструментом для их решения [3]. Нет моделей, которые достоверно описывали бы все существующие фазы ТП. Задача прогнозирования формирования и развития ТП на дорогах имеет в настоящее время высокую степень актуальности и требует разработки новых моделей автомобильного трафика.

На сегодняшний день сформирован большой опыт в практике описания ТС. Тем не менее, ограничение общего уровня обследований и практического использования этих обследований связано с нестабильностью и многообразием видов ТП, сложностями, чтобы получить всеобъемлющие и объективные сведения о состоянии потока; неточностью в том, как исполняются решения управления дорожным движением, непредсказуемы дорожные условия вследствие действия внешних и внутренних аспектов [4, 13, 22,113].

Для анализа ТП применяются математические модели, многообразные по типу решаемых задач, используемому математическому аппарату и исходным данным; степени детализации описания процесса дорожного движения. Транспортное моделирование предназначено для в решения крупных городах следующих задач [4]:

- внесение изменений в функционирование городской ТС в случае изменения внешних транспортных связей;
- изменение работы ТС с введением в эксплуатацию новых элементов дорожной сети;
- сохранение транспортных условий в ТС города при строительстве нового жилого района или изменения расположения центра тяготения с большой емкостью;
- изменение распределения ТП при временном закрытии или ликвидации какого-то элемента ТС;
- как отражается на работе ТС введение различных ограничений на передвижение по городской УДС;
- каков эффект от совершенствования элемента УДС (перепланировка транспортных узлов, расширение проезжей части городских улицы и т.п.);
- как влияют изменения в организации дорожного движения на пропускную способность улиц (например, введение ограничений на направления движения автомобилей, оптимизация работы светофорных узлов и т.п.).

1.2 Анализ методов моделирования транспортных потоков

Транспортное моделирование преследует главную цель, которая заключается в том, чтобы спрогнозировать транспортную ситуацию в связи с изменением социально-экономической, демографической природно-климатической обстановки; выполнить анализ и подготовить рекомендации для инвестиционных проектов в области инфраструктуры.

Существуют два основных подхода к моделированию дорожного движения - детерминистический и вероятностный (стохастический). Общая классификация моделей, наиболее часто используемых в транспортном моделировании, рассмотрена в работе [24] и приведена на рис.1.1.

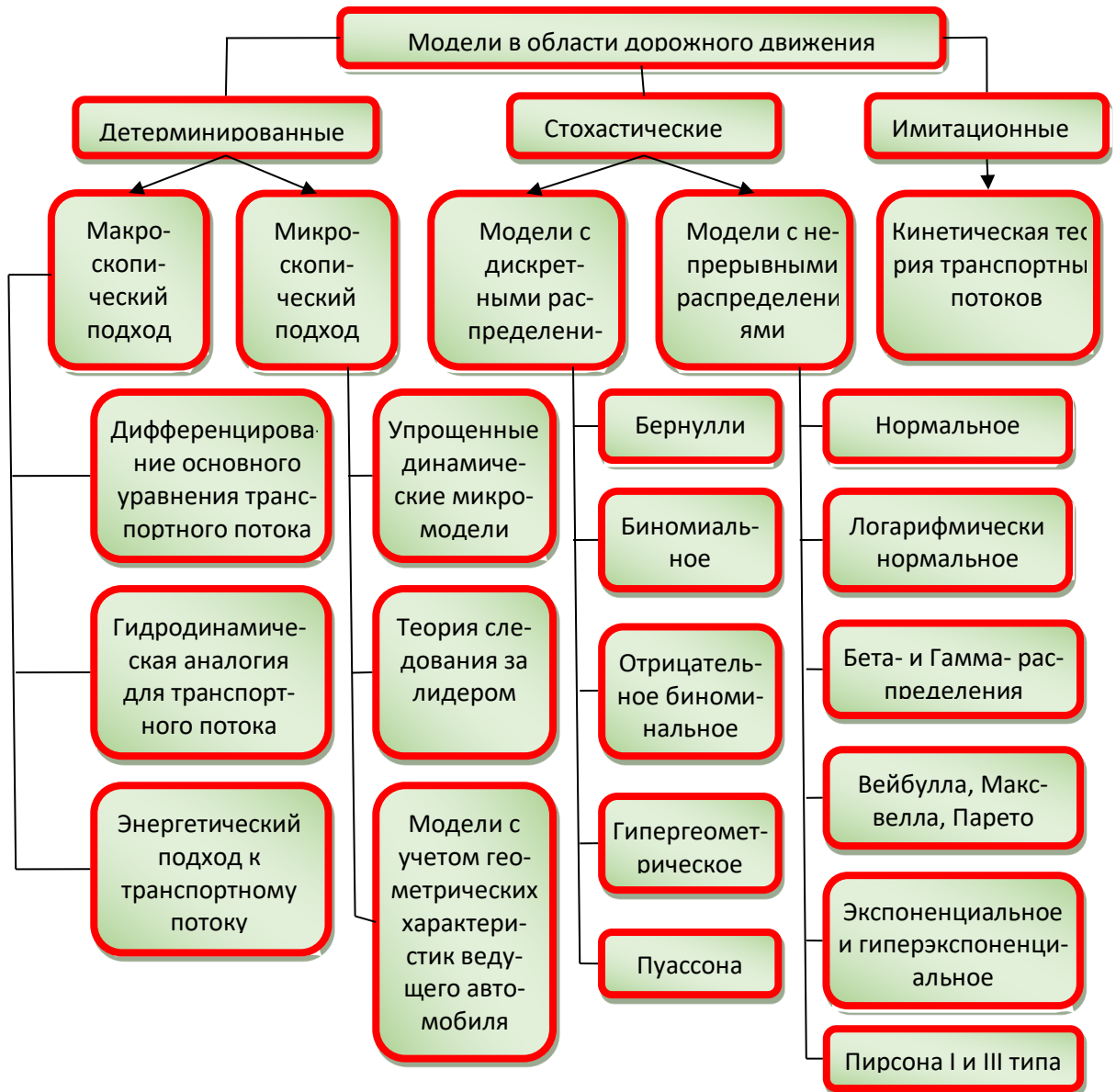


Рисунок 1.1 – Классификация моделей транспортного моделирования

Ниже приводится краткий исторический обзор развития моделирования движения АТС и описываются некоторые типы модели [4, 8].

Модели ТП, использующие детерминированный подход, можно разбить на два уровня: макроскопические, основанные на применении моделей аналогов и модели микроскопические, построенные на теории следования за лидером (устанавливается зависимость между перемещением ведущего и ведомого автомобиля).

Для макро моделирования характерно выполнение функции описания передвижения транспортных средств в качестве физического потока на

высочайшем уровне агрегирования (изучаются характеристики потока - плотность, средняя скорость, интенсивность) без учета его составных частей.

Первоначально макроскопическая модель, основанная на гидродинамической теории, появилась в 50-е годы прошлого века - модель Лайтхилла – Уизема – Ричардса, (LWR) [75,76]. ТП в ней уподобляется потоку «мотивированной», сжимаемой жидкости и описывается законом сохранения количества (погонной плотности) автомобилей. При этом в модели отображается зависимость показателя потока автомобильного транспорта от плотности движения – скорость зависит от плотности. Такая зависимость выступает в качестве фундаментальной диаграммы. Такая модель имеет основополагающее понятие – обобщенное решение начальной задачи Коши для закона сохранения, описывающего ТП.

В модели LWR подразумевается, что:

а) скорость $v(t, x)$ однозначно зависит от погонной плотности потока $\rho(t, x)$, так называемое уравнение состояния

$$V(\rho(t, x)) = v(t, x)$$

б) выполняется закон сохранения количества АТС.

В зависимости от подходов к решению уравнения состояния ТП существуют следующие модели.

Модель Танака - изложена в 1963г. Простота и доступность этой модели обеспечила ей важную роль в современных исследованиях ТП. Решение уравнения состояния $V(\rho)$ в модели Танака описано в работах [26, 77].

Модель Уизема упомянута еще в 1955г., а окончательно предложена в 1974г. Дж.Уиземом [57]. В модели учитывается «дальнозоркость водителей», т.е. когда плотность потока возрастает, водитель уменьшает скорость своего передвижения, если поток АТС уменьшается, то скорость водитель, естественно, увеличивает.

Модель Пейна (1971 г.) [57, 78] выступает в качестве закона сохранения, где уже отмечается зависимость скорости от загруженности потока транспортной сети, т. е. уже не предполагается, что желаемая скорость устанавливается мгновенно.

В работе [79] приведен обзор более 100 моделей, в частности модели Хельбинга-Эйлера-Навье-Стокса (1995 г.) [80], где производится добавление третьего уравнения к системе Пейна - «закон сохранения энергии» для вариации (дисперсии) скорости, которая показывает то, как «разбрасываются скорости» в соответствии со средним значением.

Необходимо отметить вклад российских ученых, в исследованиях которых обобщается подход Пейна. Описание ТП осуществляется при использовании нелинейной системы гиперболических уравнений (для плотности и скорости потока) с диффузией: работы Н. Н. Смирнова, А. Б. Киселева [54, 55]; А. С. Холодова и др. [29, 59].

Несмотря на простоту, применение модели LWR напрямую связано с прикладными расчетами, и она хорошо подходит и для управления ТП [81]. Так происходит, потому что отмечается нехватка сведений, чтобы применять модели более высокого уровня.

Описанные выше макроскопические модели сформулированы на основе аналогий с уравнениями классической гидродинамики. Описание процесса взаимодействия автомобилей на микроуровне с использованием кинетического уравнения предложено И. Пригожиным. В 1960 г. И. Пригожин при участии Ф. Эндрюса и Р. Хермана предложил описывать ТП, применяя уравнения кинетического типа Больцмана с «интегралом взаимодействия АТС» вместо «интеграла столкновения частиц газа» [82, 83].

Все перечисленные выше макроскопические модели разработаны на основе подобия с уравнениями классической гидродинамики. В основе макроскопических (имитационных) моделей лежит предположение о желании водителей автомобилей придерживаться при движении безопасной дистанции до впереди идущего транспортного средства. Микромоделирование подробно, детализировано описывает то, как ведет себя и взаимодействует транспортное средство в ТП в соответствии со скоростью передвижения, параметрами, динамикой формирования затора автомобилей. Основная область их применения – оперативное управление ОДД, оценка принятых инженерных решений в

разработанных локальных проектах, оптимизация ТП в отдельных узлах транспортной сети и прочее.

В 1961 г. выдвинута микроскопическая модель Ньюэлла [57, 84], в которой постулируется, что каждый водитель имеет свою «безопасную» скорость передвижения, определяемой дистанцией до впереди движущегося транспортного средства.

В 1959 г. сотрудники концерна «Дженерал Моторс» Д. Газис, Р. Херман, Р. Потс [85, 86] выдвинули предложение нетривиальной микроскопической модели следования за впереди движущимся транспортным средством для однополосного ТП, с помощью чего формируется фундаментальная диаграмма.

В 50-е годы XX века была предложена Дж. фон Нейманом модель клеточных автоматов (СА-модель) [58, 89], но активное использование этой концепции началось только после работы К. Нагеля и М. Шрекенберга [90]. Здесь производится разбиение проезжей части в соответствии с клетками, в которой находится не более одного автотранспортного средства. В результате этого осуществляется формирование разностных аналогов рассматриваемых ранее макроскопических уравнений.

Другой тип клеточных моделей это СТМ-модели [12, 44]. Они являются разностными аналогами уравнений СА-моделей, относительно просты и выступают в качестве наиболее востребованных моделей.

На сегодняшний день отсутствует общепринятый подход, чтобы описывать поведения водителя АТС в соответствии с синхронизированным потоком. Для разных коллективов характерны разные модели, например: Лайтхилла-Уизема (А. А. Куржанский и др. [81, 91]); модели, в которых для каждого водителя характерны свои вариационные принципы (И. А. Лубашевский и др. [37, 92]).

В математической теории моделирования ТП промежуточное место между макроскопическими и микроскопическими моделями занимают еще один вид моделей - мезоскопические. Мезоскопические модели основаны на гипотезе о статистическом распределении прибытий транспортных средств к рассматриваемому участку УДС. Как и в макроскопических моделях при этом

уровне моделирования можно получить различные характеристики ТП - скорость, плотность, время движения по маршрутам сети и т.п., но результат получается более точным, т.к. рассматриваются единичные транспортные средства, которые описываются на высоком уровне детализации (как в микромоделировании).

В работах [46, 47] приводится разработка мезоскопической математической модели распределения ТП по сети TIMeR_Mod (Transportation Intelligent Mesoscopic Real-time Model). В качестве гипотезы о распределении интервалов по времени в каждом из потоков принята гипотеза обобщенного закона Эрланга. Такая модель позволяет рассчитывать задержки транспортных средств при различной схеме ОДД на подходах к перекрестку, определять целесообразность введения и оптимальные параметры светофорного регулирования.

Кроме приведенных литературных источников и Интернет-ресурсов следует отметить, что большой вклад был внесен академическими изданиями Physical Review, Mathematical Computer Simulation Transportation Research, которые проводят регулярную публикацию современных отчетов, статей и разноплановых обзоров.

1.3 Анализ основных систем автоматизированного моделирования

Мощным инструментом для оценки эффективности использования АТС является создание моделей функционирования их объектов с использованием современного программного обеспечения. Для прогнозирования поведения ТП, изучения схем оптимального управления и схем организации дорожного движения в настоящее время существуют и продолжают развиваться различные программные продукты моделирования автомобильного трафика. Так для решения градостроительных задач имеются следующие разработки российских ученых [6, 7]: программно-аналитический комплекс (ПАК) TransNet (Институт системного анализа РАН, Москва); программное обеспечение, выполненное НИПИ территориального развития и транспортной инфраструктуры (Санкт-Петербург); ПКМ МАДИ (Москва); программный комплекс по

технико-экономическим обоснованиям решений на федеральной сети автомобильных дорог (ГипродорНИИ, Москва); автоматизированная методика расчета пассажиропотоков в генпланах городов и КТС (ЦНИИП градостроительства, Москва) и др.

TransNet - наиболее востребованная российская программа, представляет собой современное графическое Windows-приложение, программа формирует прогнозирование того, насколько интенсивно движение автотранспорта и пассажирского потока в транспортной сети [109].

Первоначальными сведениями являются: описание транспортной сети; размещение объектов, являющимися источниками и стоками транспорта и др. Моделирование в TransNet позволяет спрогнозировать следующие параметры работы транспортной сети: общие объемы корреспонденций между различными транспортными районами города; ТП на всех элементах транспортной сети; средние скорости и затраты времени на передвижения и др.

Остальные перечисленные выше программы отечественного производства, как правило, не имеют «товарного» вида.

Наиболее распространенными программными продуктами, предназначенными для того, чтобы моделировать транспортные потоки в соответствии с макроуровнем, являются [94-96]: Trans Cad® (Caliper Corp., USA); EMM/2TM (Montreal University); TRIPS (MVAUK); CUBE; SATURN; VISUM (компонент пакета PTV VISION VISUM).

Расчетный модуль транспортной модели PTV VISION VISUM - мощнейший инструмент комплексного транспортного планирования и прогнозирования для городов и регионов [101]. VISUM - программное обеспечение для макро моделирования (проведения транспортного анализа и прогнозирования, управления данными на базе ГИС в сфере транспорта и перевозок). Обе программы вместе образуют систему PTV VISION. Программа позволяет управлять основными данными систем транспортной информации и обрабатывать их в сетевом редакторе.

Для моделирования ТП на микроуровне применяются пакеты: AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Nonurban Networks) [97, 98]; DRACULA (Dynamic Route Assignment Combining User Learning and Micro-simulation) [99]; PARAMICS (Parallel Microscopic Simulation, Quandstone Ltd.) [100]; SISTM (Simulation of Strategies for Traffic on Motorways) [4]; VISSIM [101].

Самая распространенная в России система микроскопического моделирования транспортного движения VISSIM входящая в программный комплекс PTV VISION VISSIM - многоцелевой пакет, служащий для создания, исследования и нахождения оптимальных вариантов моделей различных объектов. Программа предоставляет пользователю графический интерфейс, с помощью которого исследователь создает модель ТС из виртуальных элементов самого разнообразного диапазона сложности, при этом нет необходимости в описании ТС дифференциальными уравнениями и их решении, программа это делает сама по заложенному ей алгоритму и необходимому набору параметров элементов рассматриваемой системы.

Программа VISSIM позволяет:

- оценить влияние на пропускную способность дорог различных видов их пересечений;
- проектировать, тестировать и оценивать режимы работы светофора;
- оценивать эффективность предложенных организационных мероприятий на транспортную ситуацию;
- проводить анализ способов управления дорожным движением на автомагистралях и городской УДС;
- имитировать способы перемещения каждого участника движения.

Сравнение функциональных возможностей некоторых пакетов приводится в работе [4], для чего введены критерии, необходимые, чтобы проанализировать транспортную ситуацию. Чтобы обозначить объекты и явления, введены соответствующие обозначения : 1 – условия погоды; 2 - парковочные места; 3 – автомобили на парковке; 4 – модель двигателя; 5 - коммерческие

автомобили; 6 – наличие велосипедов и мотоциклов; 7 - пешеходы; 8 -ДТП; 9 – транспорт общественного назначения; 10 – стабилизация потоков; 11 - рас-сасывание заторов; 12 - переплетение потоков; 13 – не прямолинейность.

Где и какое программное обеспечение применяется, отмечено симво-лом X в табл. 1.1.

Таблица 1.1 - Возможности описания объектов

Пакет	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AIMSUN	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	X
DRACULA	X	-	-	-	X	-	-	X	X	-	X	X	X
PARAMICS	X	X	-	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X
SISTM	X	-	-	-	X	-	-	X	-	-	X	X	-
VISSIM	-	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X

Из приведенной таблицы следует, что наибольшими возможностями об-ладает программа микромоделирования VISSIM.

Сравнение точности воспроизведения реальных режимов движения раз-личными программами моделирования проведено в работах [23,102] (исследо-вания группы Bosch (Германия). Эксперимент проводился на городских ули-цах г. Штутгарт. При наблюдениях записывались параметры: скорость, уско-рение лидирующего и ведомого автомобилей, дистанция между ними. Гра-фики зависимостей параметров движения, полученные в этом эксперименте, приведены на рис. 1.2.

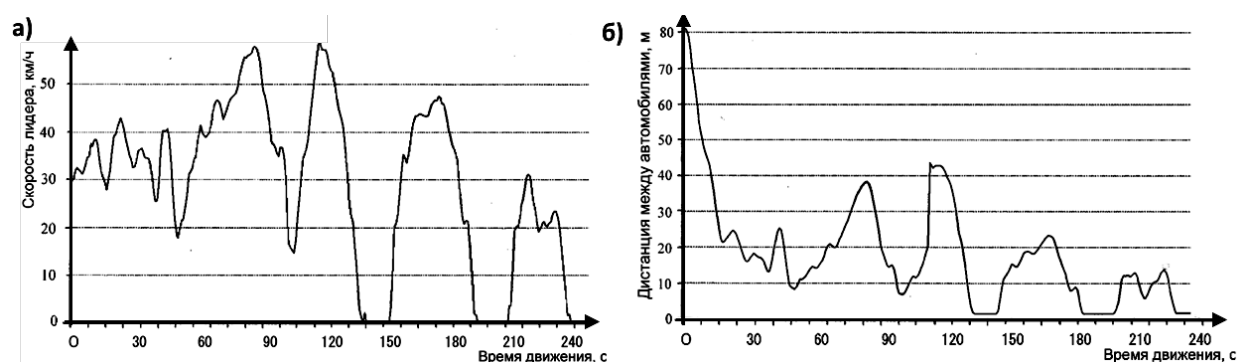


Рисунок - 1.1 Графики параметров движения

а) изменение скорости движения лидера; б) изменение дистанции между ав-томобилями

Для оценки результатов этого эксперимента использовался статистический критерий - среднеквадратическая ошибка RMSE, которая рассчитывается по формуле:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{n=1}^N \left(\frac{d_s}{d_f}\right)^2}$$

где d_f - дистанция между ведущим и ведомым автомобилем, полученная по результатам эксперимента; d_s - дистанция между ведущим и ведомым автомобилем, полученная расчетом.

Сравнение отклонений результатов моделирования от экспериментальных данных для оценки пакетов моделирования, которые основаны на моделях следования за лидером, а это программы AIMSUN, VISSIM и PARAMICS, приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 - Точность моделирования некоторых программ

Критерий	Наименование программы моделирования		
	AIMSUN	VISSIM	PARAMICS
RMSE	4,99	5,72	10,43

Из сравнения можно сделать вывод, что наименьшей точностью обладает программа PARAMICS.

На основании вышеизложенного, можно сделать заключение:

- существуют две группы пакетов транспортного моделирования: - чтобы решать задачи в соответствии с макроуровнем (прогнозировать корреспонденцию и потоки); вторая – чтобы решать задачи в соответствии с микроуровнем (анализировать параметры передвижения, пропускные способности транспортной сети и пр.);
- не существует программ, реализующих взаимодействие локальных и глобальных моделей.

1.4 Методология расчета загрузки УДС

Формирование МК является основной задачей, решаемой при создании транспортной модели любой городской ТС [102]. Для создания МК могут использоваться различные модели: конкурирующих центров, энтропийные, гравитационные. Наибольшее распространение получила гравитационная модель, которая и применяется в алгоритмах ПАК TransNet. Она была разработана более 100 лет назад венским инженером фон Лилль [25] как первая математическая модель корреспонденций между двумя транспортными районами.

В работе А. Дж. Вильсона [16] для формулирования гравитационной модели на основе закона Ньютона рассматривается задача оценки числа поездок между каждой парой центров притяжения. Рассматриваемая территория разбита на районы и центр каждого района является центром притяжения. Гравитационная модель базируется в соответствии со следующим предположением: корреспонденции T_{ij} из района i в район j пропорциональны общему объему отправок Q_i из центра притяжения i , общему объему прибытий D_j в центр притяжения j и обратно пропорциональна функции тяготения c_{ij} , зависящей от удельных расходов на передвижение из источника i в сток j .

Уравнение для закона Ньютона имеет вид:

$$F_{ij} = \gamma \frac{m_i m_j}{d_{ij}^2}, \quad (1.1)$$

где F_{ij} - сила притяжения; γ - некоторая константа; m_i и m_j – массы двух тел; d_{ij} - расстояние между ними.

Выражение для транспортной гравитационной модели аналогично (1.1):

$$T_{ij} = k \frac{Q_i D_j}{c_{ij}^2}, \quad (1.2)$$

где k – константа; c_{ij} - затраты на передвижение, выступают в качестве «расстояния».

Величины T_{ij} всегда должны удовлетворять следующим требованиям: при известных объемах отправок/прибытий необходимо соблюдать условия баланса:

$$\sum_j T_{ij} = Q_i, \quad (1.3)$$

$$\sum_j T_{ij} = D_j, \quad (1.4)$$

Названное условие можно соблюсти, если ввести константы A_i и B_j , связанные с центрами отправления/прибытия соответственно, их называют балансирующими коэффициентами. Тогда уравнение для модифицированной гравитационной модели будет имеет следующий вид:

$$T_{ij} = A_i B_j Q_i D_j f(c_{ij}), \quad (1.5)$$

где

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j f(c_{ij}) \right]^{-1}, \quad (1.6)$$

и

$$B_j = \left[\sum_i A_i Q_i f(c_{ij}) \right]^{-1}. \quad (1.7)$$

Для решений уравнений A_i и B_j применяются итерационные методы, в результате чего подтверждаем удовлетворение величин T_{ij} ограничениям (1.3) и (1.4) по уравнению (1.5). Такие коэффициенты рассчитываются в соответствии с процедурой балансировки матрицы – матрица изменяется в соответствии с минимальными значениями таким образом, что он удовлетворяет условиям баланса по каждому району.

Для величин c_{ij} характерна общая мера сопротивления передвижению от i к j . В качестве такой меры выступает расстояние, время передвижения, показатели затрат на передвижение или эти факторы в совокупности – «обобщенные затраты» или цены.

Обобщенные затраты выступают в качестве суммы слагаемых, которые выражают, как влияют факторы разной природы на то, чтобы оценить путь. Обобщенная цена состоит из следующих слагаемых [60]: время передвижения; другие задержки, которые не относятся к передвижению; финансовые расходы; штрафное добавление времени условно, что влияет на то, чтобы оценить привлекательность определенной части сети для передвижения.

На основе экспериментальных исследований определяем, что время на передвижение выступает в качестве основного аспекта, который определяет стоимость пути. Количественное выражение других факторов осуществляется условно в минутах, производится добавление ко времени.

Обобщенные затраты выступают в качестве математического аспекта, чтобы моделировать то, как ведут себя пользователи транспортной сети. Базируясь на этом, пользователь производит оценку альтернативного пути и методов движения.

Цена увеличивается – путь становится менее привлекательным. В обобщенных затратах цена элемента сети имеет зависимость от того, насколько загружен этот элемент. По мере того, как увеличивается загрузка, скорость передвижения снижается, увеличивается цена, передвижение становится некомфортным. Благодаря такой зависимости прогноз транспортных потоков формирует обратную связь в решении этих задач. Разумеется, чтобы определить путь передвижения, необходимо иметь представление о цене, что подразумевает знание нагрузки элементов сети. Однако формирование этой нагрузки производится в соответствии с выбором пути. В результате этого цены дуг не могут выступать в качестве входных данных, чтобы спрогнозировать загрузку. С другой стороны, входные параметры – значения ценовых функций, которые определяют то, как влияет загрузка (общий поток) на цену этой дуги. В качестве входных данных модели выступает фактическая цена дуг и потоки на них.

То, как суммарный поток и другие параметры влияют на формирование цены, отображается на ценовой функции дуги УДС. В частности, в качестве ценовой функции дуги УДС выступает время передвижения, которое задается

в качестве функции от суммарного потока. Рассчитываемый показатель применяется в качестве цены, которая выражается в минутах.

Работа А. Дж. Вильсона рассматривает то, как формируется гравитационная модель максимизацией энтропии, вследствие чего необходимо дополнительно ввести ограничение на T_{ij} к (1.3) и (1.4). Представление этого ограничения выглядит следующим образом:

$$\sum_i \sum_j T_{ij} c_{ij} = C \quad (1.8)$$

Тогда в качестве наиболее вероятного распределения выступает матрица $\{T_{ij}\}$, все состояния системы будут соответствовать формуле

$$\ln W(\{T_{ij}\}) = \ln T! - \sum_i \sum_j \ln T_{ij}!, \quad (1.9)$$

где T – общее количество поездок (1.3), (1.4), (1.8).

$$\omega = \sum W(\{T_{ij}\}), \quad (1.10)$$

Суммирование проводится по всем T_{ij} , удовлетворяющим (1.3), (1.4) и (1.8). Максимальное значение $W(\{T_{ij}\})$ настолько преобладает над всеми остальными членами суммы, что распределению $\{T_{ij}\}$, соответствующее максимуму энтропии, является наиболее вероятным распределением.

$$A_i = \frac{\exp(-\lambda_i^{(1)})}{Q_i}, \quad (1.11)$$

$$B_j = \frac{\exp(-\lambda_j^{(2)})}{D_j}. \quad (1.12)$$

Отсюда

$$T_{ij} = A_i B_j Q_i D_j \exp(-\beta c_{ij}), \quad (1.13)$$

где в соответствии с расчетами получаем:

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}, \quad (1.14)$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i D_i \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}. \quad (1.15)$$

Рассмотренная ранее гравитационная модель, определяемая в соответствии с уравнениями (1.5) - (1.7), характеризуется точно таким же распределением поездок. При этом произведена подмена функции f на экспоненту с отрицательным показателем степени. Это новая теоретическая база формирования гравитационной модели. Определение параметра β производится с применением обычных способов калибровки.

Традиционная гравитационная модель имеет преимущества – исходная информация отличается доступностью, а расчеты выполняются достаточно просто. В качестве недостатка отмечаем, что производится изолированное рассмотрение центров прибытия ТП от возможных альтернативных центров. Классификация поездок в соответствии с типами поездки и типами передвижения с учетом расположения МК с использованием модели, описанной выше, предоставит по итогу хорошие результаты.

1.5. Выводы по главе 1

1.Выполненный анализ теоретических и экспериментальных работ, связанных с исследованиями источников и стоков транспортных средств, показал актуальность выбранной темы диссертационной работы.

2.Описание и управление реальными ТП сопровождается проблемами в результате того, что действуют определенные факторы – отсутствие точной характеристики транспортного средства, поскольку присутствует большое количество параметров, которые трудны в учете, (не стационарность ТП и их зависимость в соответствии с временными аспектами: сезонность, дни недели, время суток и прочее).

3. Внедрение информационной технологии позволяет существенно упростить процесс моделирования динамики ТП, их изучения и контроля с возможностью предоставить наглядное представление движения каждого

отдельного транспортного средств. При этом возможна оценка эффективности принятых, которые направлены на то, чтобы улучшить ООД.

4. Не существует программ, реализующих взаимодействие локальных и глобальных моделей.

2.ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИДОМОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДСКИХ ЖИЛЫХ РАЙОНОВ КАК ИСТОЧНИКОВ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПОТОКОВ

2.1 Предварительные замечания

В настоящем разделе решаются задачи:

- проведение в соответствии с разработанной программой экспериментальных исследований динамики функционирования источников - стоков транспорта, основанных на применении ультразвуковых детекторов транспорта и визуальных наблюдениях;
- обработка экспериментальных данных наблюдений и получение зависимостей для моделирования потоков в источниках - стоках транспорта.

Основными способами изучения дорожного движения являются [30]: документальные, экспериментальные и теоретические. По этим данным составляются характеристики движения транспорта в различные интервалы времени суток, месяца, года, без непосредственных наблюдений. Часто материалы собирают путем анкетного обследования, средством для такого обследования является анкета с перечнем необходимых вопросов, предназначенная для обработки на ЭВМ. Обычно, документальные исследования служат начальным этапом для проведения экспериментальных исследований, заключающихся в получении действительных характеристик дорожного движения в заданном месте и в течение определённого интервала времени.

Экспериментальные исследования на автотранспорте имеют большое значение. Из-за специфики транспортной науки, целей и задач исследований, многообразия и стохастического характера свойств ее объектов, изучение ТП без выполнения экспериментов обычно не проводят [43]. Различают следующие общие методы экспериментальных научных исследований: натурные обследования, измерения, автоматическая регистрация процесса, испытания,

наблюдения, статистические исследования, анкетирование, мысленный эксперимент, мониторинг.

Ниже проанализированы возможности применения, в рамках настоящего исследования, тех или иных методов для определения параметров ТП.

2.2 Анализ состояния вопроса

Автомобилизация привела к тому, что в каждом городе, в каждом значимом населенном пункте ежегодно и неоднократно проводятся экспериментальные исследования на автотранспорте. Эти исследования выполняются с целью ликвидации пробок и заторов, уменьшения аварийности на дорогах, оптимизации транспортных корреспонденций, уменьшения экологического загрязнения окружающей среды и пр. Абсолютное большинство экспериментальных исследований объектов дорожного движения посвящено определению параметров уже сформировавшихся ТП. Имеются много тысяч отчетов, публикаций и нормативно-правовых документов, в которых приводятся методики определения основных параметров ТП: скорости, интенсивности, плотности и т.д.

Проведем анализ некоторых публикаций с точки зрения изучения методов, используемых для экспериментального исследования ТП.

Так в работе [10] показана методика натурного обследования интенсивности дорожного движения, выполненного сотрудниками кафедры «Автомобильные перевозки» КузГТУ. Данные фиксировались визуальным способом несколькими бригадами наблюдателей, состоящими из четырех человек каждая, на стационарных постах учета. Посты наблюдения располагались в характерных узлах распределения потоков: на въездах и выездах из города, на пересечениях дорог. Результаты исследования выявили наиболее загруженные участки магистралей Кемеровской области и рекомендовать изменения в организации дорожного движения.

В работе [11] показано применение видеодетектора транспорта для изучения вопросов по организации контроля дорожного движения и ТП. Запись

аналогового сигнала на постах видео мониторинга поступала от видеокамеры до блока оцифровки изображения – видеокарты. Видеокарта осуществляет преобразование сигнала аналогового характера. Как результат – формируется информационный кадр, в котором указывается время, точка наблюдения и параметры оценки. Информационный кадр поступает в модем, после чего он передается в центр управления.

Авторы работы [63] для совершенствования транспортной инфраструктуры г. Харьков использовали аэрокосмическую фотосъемку при определении плотности городского автотранспорта. Работы выполнялись в программных средствах ArcGIS, Geostatistical Analyst. Анализ зон плотности автотранспорта, которые были построены для 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 машин на км² показал, что четверть транспортного парка города сосредоточена днем на 4% территории города. Проведенный анализ материалов аэрофотосъемки позволил получить пространственные характеристики ТС города: распределение транспортных средств; параметры ТП; парковки и их наполняемость; конфликтные места; зоны гаражной застройки; объекты притяжения транспорта.

Результаты проведения натурных обследований точности параметров ТП и контроля скоростей пассажирских транспортных средств приведены в работе [27]. Результаты получены на основе обработки навигационных данных, поступающих в автоматизированную радионавигационную диспетчерскую систему от контролируемых транспортных средств городского пассажирского транспорта, оборудованных блоками спутниковой навигации (ГЛОНАСС/GPS) и мобильной связи. За основу исследований была взята методика определения параметров ТП на участках магистральных дорог, предложенная Сильяновым В.В. Натурные обследования проводились на прямолинейных участках многополосных дорог УДС г. Москвы и городов Московской области. Применялись методы прямого замера времени (по секундомеру) движения транспортных средств на выбранных участках. Все эксперименты проводились на участках дорог в условиях, которые оставались неизменными в период измерения.

В работе [103] сообщается о проведении комплексного обследования условий движения на УДС г. Перми с целью получения достоверных данных о дорожно-транспортной ситуации в городе, а также для разработки методики системы мониторинга основных характеристик ТП. В ходе обследования решались следующие задачи: получение данных по интенсивности ТП в течение суток, изменения параметров движения на всех элементах УДС города в течение недели. Параметры ТП регистрировались одновременно на 236 перекрестках города с 7.00 до 20.00 ч. Сбор данных производился методом визуального наблюдения. Интенсивность ТП измерялась оператором на перекрестках (на крупных перекрестках двумя операторами) по всем направлениям въезда с интервалом 30 мин. Результаты измерений заносились в контрольные карты. Собранная информация с контрольных карт переносилась в базы данных, которая хранилась в форме MS Access. Результаты наблюдений обрабатывались с использованием программных средств ГИС "Вега". В результате получена информация об общем числе транспортных средств и изменении структурного состава ТП как для города, так и для отдельных участков УДС.

В работе [34,35] показано, как была определена интенсивность передвижения автотранспорта на трассе Пермь – Березники. Последующая обработка результатов проводилась в соответствии с методикой ОДМ 218.4.005–2010. Чтобы собрать информацию с каждого учетного пункта, применялся способ видеофиксации. Установка границ изменения интенсивности и определение места, где разместить постоянные учетные пункты, проводилось в соответствии с анализом характерных участков. Были организованы круглогодичные полевые наблюдения, чтобы определить закон распределения интенсивности передвижения на протяжении суток, недели, месяцев и года. Таким образом, была увеличена достоверность итогов до того момента, пока это не позволило решать инженерные задачи.

Вопросы функционирования стоянок для автомобилей рассмотрены в работе [42], где проанализированы существующие методики проведения обследования стоянок и выбран наиболее простой и не требующий больших

капиталовложений - натурный метод. Объектами исследования являлись, расположенные у объектов массового тяготения, стоянки г. Иркутска, Предлагаемая методика натурных обследований позволила получить следующие характеристики стоянок: анализ общего состояния мест паркования; режим работы стоянок и количества автомобилей в течение определенной интервала времени; интенсивность прибытия автомобилей на стоянку; продолжительность паркования автомобилей. По результатам обследования предложена следующая классификация стоянок по продолжительности паркования: краткосрочное - паркование до 1 ч.; среднесрочное - от 1 до 4 ч.; долгосрочное - более 4 ч. Даны рекомендации по сумме платы за пользование.

Исследование, приведенное в работе [17], посвящено изучению изменения свойств ТП с помощью разработанного авторским коллективом комплекса ультразвуковых измерительных приборов (УЗИП). Комплекс имеет определенные ограничения, вызванные физическим принципом работы данных приборов. Ограничения накладывает скорость распространения звука в воздухе и необходимость фиксации отражённого сигнала. Исходя из полученных данных, установка прибора должна осуществляться на расстоянии не более 0,5 м от обочины, при этом имеется возможность получать информацию только о ближайшей к прибору полосе. Оптимальное время проведения эксперимента должно составлять не менее 15 минут. Для сбора полученных данных применяется универсальное счетно-запоминающее устройство (УСЗУ).

Для понимания формирования транспортной сети г. Тулы, распределения ТП и загруженности УДС в работе [31] описывается изучение наполнения парковок, расположенных у торговых центров. При проведении исследования использовалась видеокамера, расположенная в автомобиле, находящемся непосредственно на въезде/выезде парковки. Камера фиксировала количество заезжающих и выезжающих транспортных средств на территорию торгового центра по времени. Этот метод позволил исследователю при минимальных финансовых затратах на оборудование, затратах на аналитические услуги получить достаточное количество информации: определить популярность объекта;

оценить эффективность использования торговой площади; выявить лидеров и аутсайдеров торговых зон в ТЦ во временном периоде (по сезону, дням недели); оценить эффективность проводимых рекламных кампаний;

Приведенный обзор литературных и электронных научных источников подтверждает тот факт, что исследований посвященных формированию ТП, истокам образования и их стокам – ограниченное количество. Проводимое экспериментальное изучение придомовых территорий в жилых городских районах позволит ликвидировать этот пробел, даст основание для более полного понимания природы и сущности возникновения автомобильных потоков, выявить роль придомовых территорий в образовании ТП на городской УДС. В этом заключаются задачи предстоящего исследования.

2.3 Методы натуральных обследований транспортной загрузки УДС

Натурные обследования объектов АТС, являясь одним из способов экспериментальных исследований, дают материалы для теоретических построений, выработки гипотез исследования объектов, определения характеристик этих объектов. В практике отечественных и зарубежных натуральных обследований применяются как простейшие методы, которые выполняются одним человеком, а специальное оснащение для этого не требуется, поскольку, так и сложные и трудоемкие, где требуется инновационная электронная аппаратура и передвижные лаборатории. Большое количество поставленных задач, постоянное усовершенствование аппаратуры, которая применяется, чтобы получить первоначальные сведения и методы их обработки, требует многообразия способов.

Получение исходных данных проводят таким образом, что устанавливают детекторы в соответствии с определенными участками дороги, которые соединены с компьютерами, а также имеют связь с центральной электронной вычислительной машиной.

Различают региональные, зональные и локальные натурные обследования. Чтобы получить суммарные значения входящих и выходящих ТП в

районе, городе, области, регионе проводят региональные натурные обследования. Они служат для оценки грузо- и пассажиро напряжённости отдельных районов города, крупных мест тяготения и т.д.

Чтобы сформировать пространственные и временные характеристики ТП, куда входят интенсивность, скорость, состав потока, осуществляют проведение зональных натурных обследований. Это выборочные исследования, которые проводятся длительно. В результате этого отмечаем фиксацию изменений параметров ТП и прогнозирование долгосрочной тенденции их изменения.

Чтобы получить фактические сведения об основных параметрах ТП на каждом отдельном участке дорог, улиц, пересечений, осуществляется проведение натурных исследований локального характера. Наблюдения могут проводиться несколько часов или несколько дней. Для определения методики обработки полученных данных и перечня извлекаемой информации, рассматривается цель исследования. Здесь определяется картограмма интенсивности передвижений, диаграмма изменения интенсивности передвижений в соответствии с разным интервалом времени: время суток, дни недели, распределяется транспортная нагрузка в соответствии с направлениями передвижений; распределение скорости передвижения; насколько задерживаются АТС на регулируемых пересечениях, как изменяется состав потока АТС с выявлением следующих параметров ТП [14]:

- состав и интенсивность движения автотранспорта на УДС города;
- скорости движения;
- заторы на перекрестках и в отдельных сечениях УДС;
- условия работы стоянок автотранспорта;
- выявление доли транзитного движения;
- определение корреспонденции транспорта между районами города;
- условия движения в точках притяжения.

Способ учета обследования:

- визуальный;
- приборный (измерения проводятся переносной или стационарной аппаратурой, где базовый элемент - детектор, временная или стационарная установка на проезжей части дорожного полотна);
- визуально-приборный (запись передвижения транспорта на видео – применяется учетчик или стационарно установленные камеры).

Периодичность (как регулярно проводится):

- эпизодическое (проведение по мере того, когда необходимо обследование).
- систематическое (регулярное проведение обследование в соответствии с определенными промежутками времени, чтобы сопоставить результаты в проведении обследований длительно применяется одна и та же методика).

По охвату обследованиями элементов УДС:

- простое (обследуется один или несколько узлов на загрузку);
- сложное (обследуется часть или все узлы УДС на загрузку).

В зависимости от того, с какой целью применяются материалы обследования:

- вся магистральная сеть или городские улицы и дороги;
- перегон или узел, несколько узлов;
- часть магистральных улиц или транспортный район.

Как отбираются объекты для изучения:

- сплошные (охват каждого изучаемого объекта);
- выборочно (часть или совокупность группы).

Проведение сплошных обследований осуществляется в один момент или по мозаике. В первом случае одновременно обследуются все объекты. Мозаичное обследование подразумевает изучение районных объектов в разные дни. Объекты имеют сходство в соответствии с параметрами передвижения.

По продолжительности проведения подразделяются на:

- долгосрочные (продолжительность обследования не ограничена);
- краткосрочные (продолжительность непрерывных наблюдений не более 24 ч.).

Методика сбора данных должна отвечать следующим требованиям:

- получаемые материалы должны быть достоверными;
- быстрое, в короткий срок, получение требуемых сведений;
- отсутствуют сложные организационные процессы при подготовке обследований, привлекается большое количество учетчиков;
- обследование не должно сопровождаться существенными помехами для уличного передвижения и изменениями в том, как распределяется ТП по УДС;
- пригодность заранее разрабатываемого бланка учета, чтобы получить требуемые сведения, а также его удобство, чтобы обрабатывать информацию, не проводя дополнительные подготовительные работы;
- экономичное обследование.

По охвату видов транспорта обследования подразделяются на:

- комплексные, когда проводится обследование всех видов транспорта;
- индивидуальные, когда проводится обследование единицы определенно вида транспорта.

Изложенная выше классификация методов натуральных обследований ТП схематично приведена на рис.2.1.

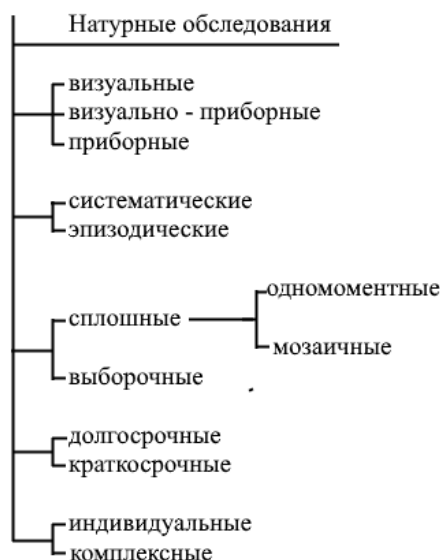


Рисунок 2.1 - Методы натуральных обследований транспортной загрузки УДС

С точки зрения метода получения информации натурные обследования дорожного движения подразделяют на две группы: изучение на стационарных постах и изучение с помощью подвижных средств.

Обследования второй группы проводят при помощи автомобиля-лаборатории, беспилотных летательных аппаратов, аэрофотосъемки.

Натурные обследования дорожного движения могут осуществляются пассивными или активными методами. При пассивном методе фиксируются лишь фактически сложившиеся условия движения, а наблюдатель не вмешивается в процесс движения, т. е. получает "снимок" существующего положения. При активном методе не ограничиваются фиксацией существующего положения, а проводят мероприятия, обеспечивающие проверку эффективности различных вариантов ОДД.

Возможности применения разнообразных методов и средств натурального обследования при проведении экспериментального изучения дорожного движения показаны в приведенном выше обзоре литературы. Достоинства и недостатки различных технологий измерения параметров ТП [56] приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика некоторых средств измерения

Технология	Преимущества	Недостатки
Пассивная/активная инфракрасная	Простота установки Надежность Устойчивость к воздействию окружающей среды	Покрывает 1 - 2 полосы движения Ограничения по погодным условиям для пассивных и активных инфракрасных датчиков
Радар	Прямое измерение скорости Одновременное обслуживание несколько полос движения	Ограничения при работе на перекрестках для подсчета объема ТП
Ультразвуковая	Простота установки и обслуживания	Не стабильная работа при больших колебаниях температуры и турбулентности воздушных потоков
Пассивная акустическая	Пассивное детектирование Одновременно обслуживает несколько полос движения Нечувствительность к осадкам	Не стабильная работа при низких температурах Не стабильная работа в условиях посторонних звуковых помех
Видео	Одновременно обслуживает несколько полос движения Простота установки и перенастройки детектируемых зон Возможность сбора больших массивов данных. Широкая зона детектирования	Влияние на работу камер тяжелых климатических условий, обледенения, смены дня и ночи, сильного ветра Большие объекты наблюдения могут загромождать маленькие

Применение того или иного метода и средств для проведения натурного обследования дорожного движения определяются задачами, решаемыми в ходе исследования, средствами обработки результатов, климатическими условиями, материальными затратами и пр. Для обследования, проводимого в настоящей работе, наиболее приемлемым является визуальный метод с автоматической видео фиксацией. Метод обеспечивает простоту проведения эксперимента, регистрации и обработки данных, анализа результатов.

2.4 Приборы для натуральных обследований транспортной загрузки УДС

Современные исследования АТС требуют фиксирования характеристик ТП в режиме реального времени, для чего используются различные измерительные технологии [56,39]. При выборе детекторов для контроля параметров ТП необходимо соблюдать следующие требования: возможность их работы при любых погодных условиях, сбор информации в течении всех суток, малое энергопотребление, обеспечение работы с беспроводной связью GSM/GPRS, высокая точность измерений, способность контролировать все полосы движения на проезжей части дорожного полотна, способность определять тип

автомобиля, направление и скорость его движения, расположение на полосе дорожного полотна.

Детектор транспорта - техническое устройство, регистрирующее прохождение транспортного средства через участок дорожного полотна. В состав детектора входят следующие узлы: чувствительный элемент, вырабатывающий первичный сигнал; усилительно-преобразовательный блок; выходной элемент. Характеристики основных типов детекторов приведена в табл. 2.2.

Массивы измеряемых параметров ТП, которые формируются перечисленными детекторами, имеют самые разнообразные виды и содержание, Их объемы, содержание и определяют способы дальнейшей обработки результатов эксперимента.

Принимая во внимание информацию, приведенную в обзоре, и учитывая имеющуюся материальную базу, выбираем для проведения экспериментов оптический и ультразвуковой детекторы, которые позволят решить все поставленные задачи.

Таблица 2.2 - Характеристики детекторов

Название		Характеристики и области применения	
Проходные детекторы		Детекторы фиксируют факт появления автомобиля, выдают нормированные по длительности сигналы при его появлении в контролируемой зоне. Параметры сигнала не зависят от времени нахождения транспортного средства в этой зоне.	
		Электро-механический.	Состоит из двух стальных полос, герметически завулканизированных резиной. При наезде колес автомобиля на чувствительный элемент контакты замыкаются и формируется электрический импульс.
Детекторы присутствия	Чувствительные элементы контактного типа	Пневмо-электрический	Представляет собой резиновую трубку, заключенную в стальной лоток. При наезде автомобиля на трубку давление воздуха в ней повышается, действуя на мембрану пневмо реле и замыкая его электрические контакты.
		Пьезо-электрический	Представляет собой полимерную пленку, обладающую способностью поляризовать на поверхности электрический заряд при механической деформации.
	Чувствительные элементы бесконтактного типа	Фото-электрический.	Включает в себя источник светового луча и приемник с фотоэлементом. При прерывании луча транспортным средством изменяется освещенность фотоэлемента, что вызывает изменение его электрических параметров. Недостатком является большое влияние на их работу пыли, грязи, дождя, снега.
		Радарный	Представляет собой направленную антенну, устанавливаемую над проезжей частью. Излучение направляется вдоль дороги и, отражаясь от движущегося автомобиля, принимается антенной.
		Ультразвуковой.	Представляет собой приемо излучатель импульсного направленного луча, генерирующим ультразвуковые импульсы на частоте 40 – 50 кГц. Выполнен в виде параболического рефлектора с помещенным внутри пьезоэлектрическим преобразователем. Недостатками являются: появление «паразитных» эхосигналов из-за криволинейных или наклонных поверхностей по отношению к направлению излучения сигнала, при высокой влажности; неправильные измерения объектов из звукопоглощающих, изоляционных материалов; необходимость жесткой фиксации.
		Оптический	Снимает визуальную информацию с потока на цифровую видеокамеру.
		Поляризационный	Представляет собой установку СВЧ-излучения, устанавливаемую над проезжей частью. Работа основана на принципе измерения поляризации излученной волны.
		Ферромагнитный	Состоит из катушки с магнитным сердечником, помещенным в трубу. Закладывают под дорожное покрытие на глубину 15–30 см. Автомобиль регистрируется из-за искажения магнитного поля в момент прохождения.
		Индуктивный.	Чувствительный элемент выполнен в виде одно - или многovitковой рамки, изолированной и защищенной от механических воздействий. Закладывается в верхний слой покрытия на глубину 2–4 см.

2.5 Цели и задачи эксперимента, выбор метода и оборудования

Целью эксперимента являлось изучение динамики стоянок и парковок, расположенных на придомовых территориях, получение данных об основных параметрах ТП в утренние часы.

Задачами эксперимента являются:

- разработка программы экспериментальных исследований динамики функционирования источников-стоков транспорта, основанной на применении ультразвуковых детекторов транспорта и визуальных наблюдений;
- проведение экспериментальных работ в соответствии с программой;
- обработка экспериментальных данных наблюдений.

Эти данные о качественном и количественном составе ТП послужат основанием для корректировки исходных данных при создании математической модели городской ТС.

Для достижения названной цели в рамках настоящего исследования были проделаны следующие мероприятия:

- проведен подробный анализ жилых районов в Пролетарском, Зареченском, Советском и Центральном административных округах г. Тулы с позиций определения территорий с наибольшей жилой застройкой и высокой плотностью населения;
- выявлены производственные, торговые предприятия, учебные учреждения, объекты культурно-бытового назначения и др., служащие центрами притяжения ТП (стоки), определено их расстояние до предполагаемых источников;
- определено месторасположение и границы объектов обследования в каждом районе;
- дана характеристика каждой придомовой территории: количество домов, подъездов, квартир, парковочных мест, въездов/выездов, емкость и наполнение стоянок в вечернее и ночное время суток;

- определена транспортная загрузка окружающих улиц при выезде/въезде из обследуемых объектов в утренние часы суток.

Руководствуясь материалом, изложенным в пунктах 2.1.1 и 2.1.2, учитывая поставленные цели и задачи, выбираем для подсчета количества припаркованных/выезжающих автомобилей на каждой стоянке в каждом дворе следующие измерительные технологии: автоматическая видеофиксация и ультразвуковое зондирование (этот способ применялся на придомовых территориях с большим числом автомобилей).

2.6 Описание методики проведения натурного обследования

Организация натуральных обследований является важным этапом в проведении экспериментального исследования, от того насколько корректно и точно проведена подготовка зависит судьба всего исследования [68.106]. В рассматриваемом случае натурные обследования начинаются с подготовки исходных карт, схем, позволяющих выделить изучаемые объекты, определить точки их «сопряжения» с расположенной рядом территорией. Для каждого объекта изучены: структура и особенности использования его территории, транспортные связи с другими объектами. Работы по проведению натуральных обследований придомовых территорий выполняемые в рамках настоящего исследования, можно представить в виде последовательности этапов (рис.2.2.).

Из приведенной последовательности выделим четыре основных этапа:

1. разработка программы, в которой формируют цели и задачи, определяют место, время и объем наблюдений, оборудование и аппаратура и пр.
2. подготовительные работы;
3. проведение обследования;
4. обработка результатов, составление отчетов и рекомендаций.

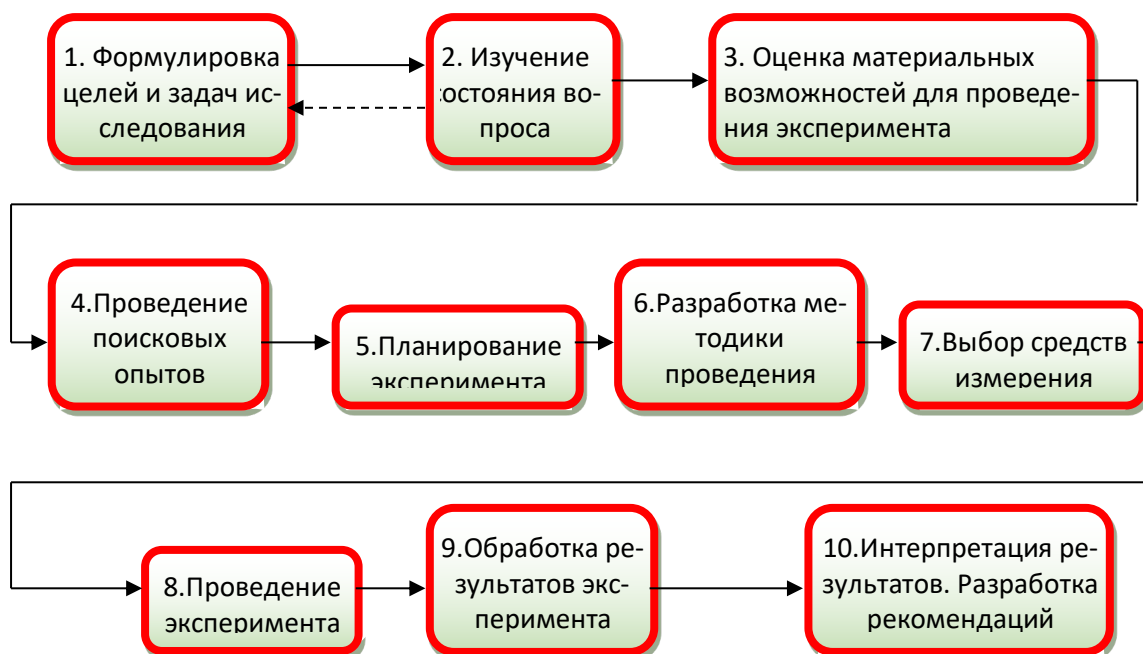


Рисунок 2.2 –Последовательность проведения экспериментального исследования

1. Цели и задачи настоящего исследования, применяемое оборудование указаны выше в п. 2.5.

2. Подготовка к обследованию придомовых территорий включала в себя работы по определению площади каждого объекта, которая определялась с помощью геологических информационных источников («2GIS», Google Earth, Googlemaps) [107, 108]. Этот программный продукт широко распространен на территории РФ и насчитывает свыше 60 городов. Точность определения площади в программе «2GIS» оценивается весьма высоко. погрешность в измерениях не превышает 5%.

Мероприятия, выполняемые на подготовительном этапе обследования, включают в себя:

- изучение объекта;
- уточняются цели и задачи обследования, перечень и объем получаемых сведений;
- подготавливается общая информация о том, каковы характеристики транспортного;

- устанавливаются способы и сроки, в которые необходимо провести обследование, определяются объемы проведения работ;
- собираются требуемые справочные сведения в соответствии с объектами обследования;
- тиражируется учетная документация и инструкции;
- подготавливается ПО, чтобы обеспечить достоверные результаты обработки;
- техническое обеспечение проведения исследования;

Формирование программы обследований осуществляется в соответствии с подготовительными работами с указанием состава, способов обследования и времени проведения, количества операторов.

Процесс обследований сопровождался выполнением операторами следующих функций:

- доставляли, устанавливали, настраивали, калибровали оборудование;
- оперативно восстанавливали работоспособность оборудования при возникновении внештатных ситуаций;
- контролировали функционирование оборудования;
- оперативно переключали оборудование в соответствии с требуемыми режимами;
- своевременное сохранение информации.

3. Обследования проводились пассивным методом на стационарных постах, расположенных на жилых придомовых территориях, в марте - апреле месяце по вторникам - четвергам на каждом из 20 выбранных объектов поочередно. На первом этапе выявлялось визуальным подсчетом наполнение стоянок с 21:00 ч. до 22:00 ч. (время возврата практически всех жителей домой). На втором этапе определялась транспортная загрузка прилегающих улиц с 6:00 ч. до 11:00 ч при выезде автомобилей из дворовой зоны.

На обследуемых придомовых территориях наблюдается нехватка мест для парковки автомобилей, на одну квартиру в среднем приходится 0,3

машинно-места, что не соответствует требованиям [67]. Это приводит к тому, что жители прилежащих домов паркуются вдоль проезжей части, внутри дворовых проездов и создают неудобства как для въезда/выезда из двора, так и для пешеходов.

Фиксация выезжающих со стоянок автомобилей осуществлялась для каждого объекта одним из двух способов - видеофиксация или ультразвуковое зондирование. Выбор способа определялся климатической обстановкой, количеством выездов с объекта, удобством размещения оборудования и пр.

Видео фиксация производилась с помощью цифровой видеокамеры модели Sho-Me A7-GPS/Glonass (рис.2.3) [104].



Рисунок 2.3 – Видеокамера Sho-Me A7-GPS/Glonass

Видеокамера имеет следующие технические характеристики:

- Диагональ экрана: 2.7 дюймов
- Датчик удара – в наличии
- Угол захвата – 140 градусов
- Процессор – Ambarella A7LA50
- Матрица – OV4689
- Формат записи – MP4
- Температурный режим работы – -20 + 70°C
- Разрешение матрицы – 5 Мегапикселей
- Макс. разрешение видеозаписи – 2304×1296 пикселей
- Питание - литий-ионная аккумуляторная батарея ёмкостью 180 мАч

Видеосъемка, производимая этой камерой, позволяет фиксировать и анализировать различные показатели участников движения, например, различать количество, типы и модели автомобилей, их поведение на проезжей части, техническое состояние автомобилей. Камера обеспечивает возможность делать записи с разрешением 2304×1296 точек. Встроенную память можно дополнительно расширить за счёт карт памяти Micro SDHC. Наличие функции WDR позволяет локально регулировать экспозицию кадра и убирать затемнения и засветку кадра, просмотреть в любой момент сделанные записи на экране. В видеокамере предусмотрен режим стоянки для этого используется датчик движения - стоит в камеру попасть перемещающемуся объекту, как камера автоматически начнёт запись.

Видеокамера устанавливалась на Г – образной опоре высотой 2,5 м над проезжей частью. Запись с видеокамеры велась на карту флеш-памяти с индикацией времени. Отснятые материалы обеспечили длительную сохранность результатов наблюдений и возможность их многократного использования для анализа и демонстрации. Результаты обрабатывались оператором при просмотре отснятого материала в замедленном режиме [15,38].

Ультразвуковое зондирование осуществлялось комплексом ультразвуковых измерительных приборов (УЗИП), разработанным на кафедре «Автомобили и автомобильное хозяйство» ТулГУ совместно с сотрудниками «КБ Приборостроения» г. Тула [17,18,41].

Комплекс УЗИП состоит из нескольких детекторов, синхронизатора, универсального счетно-запоминающего устройства (УСЗУ), включающего в себя: регистрирующий блок, накопитель информации и блок передачи данных. Комплекс обеспечивает:

- хранит записанную информацию о том, каков потом прохождения транспортных средств через контролируемый участок дороги;
- сжимает передаваемые сведения и команды, чтобы оптимизировать время на передачу и обработку данных.

Технические характеристики прибора приведены в табл.2.3.

Таблица 2.3 - Технические характеристики комплекса УЗИП

Наименование показателя:	Значение
Напряжение питания номинальное	24 В
Частота ультразвукового детектора	50 кГц
Форма излучения	импульс 500 мкс
Звуковое давление	135 дБ
Угол излучения горизонталь/вертикаль	35/25 град
Температура окружающей среды	от - 40 до +70 °С
Относительная влажность воздуха	до 95%
Диапазон атмосферного давления	630-800 мм рт. ст.

Для проведения наблюдений использовался один детектор из комплекса УЗИП (рис.2.4 а), Детектор устанавливается на штативе высотой 0,8м на обочине исследуемого участка проезжей части так, чтобы датчик излучал ультразвуковой поток перпендикулярно направлению движения транспортного средства. При отклонении на угол свыше 10^0 часть данных теряется, а при отклонении на угол свыше 30^0 объект не определяется вовсе (рис.2.4 б).

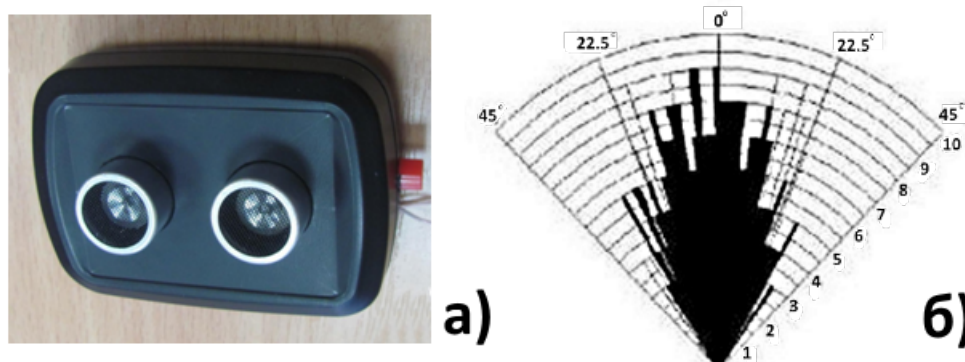


Рисунок 2.4 – а) датчик; б) диаграмма направленности сигнала

Пьезоэлектрический элемент одной из головок датчика генерирует узконаправленные акустические волны высокой частоты, а принимает их отраженными от поверхности проезжающих автомобилей другая головка (рис.2.5). Принимая скорость распространения звуковых волн в воздухе 330 м/с и учитывая дальности действия – 3,5 м, выбираем длительность импульсов – 500 мкс, частота – 0,05с.

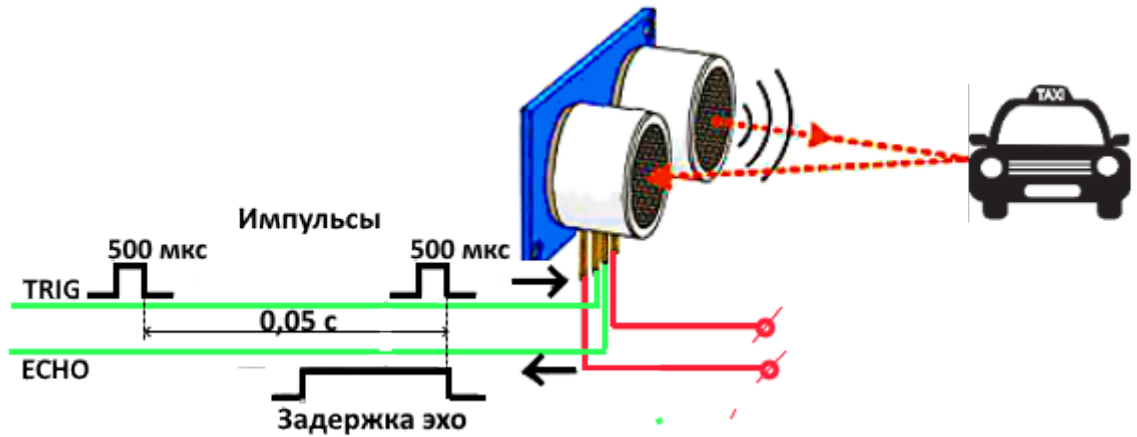


Рисунок 2.5 – Принцип действия детектора

Таким образом, по отраженному сигналу фиксируется расстояния до объекта, если в «поле зрения» прибора объект отсутствуют, то расстояние принимается равным нулю. Данные, получаемые с УСЗУ, заносятся в виде таблицы на внешний носитель. Фрагмент записи таблицы, сделанной 04.04.2017г. на объекте, расположенном по адресу ул. Гармонная, д.28, приведен на рис. 2.6 а. Таблица состоит из двух столбцов: в левом столбце фиксируется время в сотых долях секунды, а во правом расстояние от прибора до обнаруженного объекта в см. При отсутствии объекта в таблицу пишется нулевое значение. После обработки информация представляется в виде диаграммы (рис. 2.6 б), где по горизонтальной оси откладывается время, а по вертикальной оси – расстояние. На рисунке показано перемещения четырех автомобилей и начало движения пятого. Интервалы между начальными и конечными вершинами каждого импульса определяют время прохождения автомобилем зоны фиксации (зависит от скорости и габарита). По диаграмме видно: в какой момент времени объект был обнаружен; какое время он находился в области видимости прибора; когда прибор перестал его фиксировать.

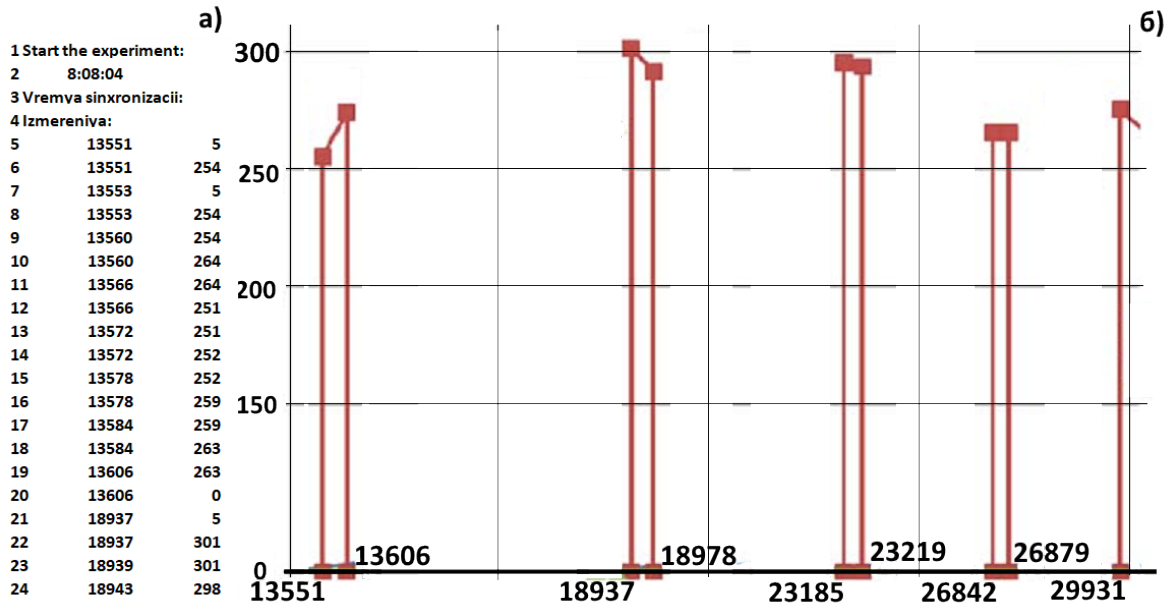


Рисунок 2.6 –Результаты наблюдений а) таблица данных УСЗУ
б) диаграмма сигналов датчика

По факту проведения обследований результаты формировались в банк данных, после чего передавались для обработки.

2.7 Результаты проведенных натурных обследований

Анализ жилых районов в Пролетарском, Зареченском, Советском и Центральном округах г. Тулы позволил определить территории, являющиеся предполагаемыми истоками образования наиболее интенсивных ТП (рис.2.7), адреса этих объектов обследования приведены в табл. 2.4.



Рисунок 2.7 – Карта расположения объектов обследования

Таблица 2.4 - Адреса обследуемых объектов

№	Адрес	Тип жилой застройки	№	Адрес	Тип жилой застройки
1	ул. Максимовского д. 21	многоэтажная	11	ул. Руднева д. 53	средней этажности
2	ул. Галкина д. 39	средней этажности	12	ул. Буденного д. 94	многоэтажная
3	ул. Пузакова д. 1	повышенной этажности	13	ул. Мориса Тореза д. 14	средней этажности
4	ул. Пузакова д. 66	многоэтажная	14	ул. Пр. Ленина д. 147 к. 1	средней этажности
5	ул. Пузакова д. 76	многоэтажная	15	ул. Перекопская д. 1а	высотная
6	ул. Гастелло д. 49	средней этажности	16	ул. Революции д. 35	многоэтажная
7	ул. Metallургов д. 35	средней этажности	17	ул. Льва Толстого д. 115	средней этажности
8	ул. Волкова д. 1 к. 3	многоэтажная	18	ул. Софьи Первской д. 39	многоэтажная
9	ул. Калинина д. 5 к.1	средней этажности	19	ул. Сойфера д. 27	средней этажности
10	ул. Гармонная д. 28	повышенной этажности	20	ул. Демонстрации д. 206	высотная

Характеристики каждой придомовой территории, расстояние от центра и их емкость приведены в табл. 2.5. Результаты определения пикового время выезда из дворов в утреннее время приведены табл. 2.6.

Таблица 2.5 - Характеристики придомовых территорий

№п/п	Расстояние от центра, км	Характеристика точки притяжения	Емкость, авт.
1	2,8	-	15
2	2,8	-	31
3	2,9	Административные здания, магазины	118
4	3	-	20
5	3,1	Детский сад	103
6	4,4	Парикмахерская	28
7	5,2	Магазины, школа, больница	31
8	5	-	44
9	2,2	Налоговая инспекция	35
10	2	Школа, магазины	209
11	3,8	Школа, магазины	43
12	2,2	-	50
13	1,8	Административные здания	26
14	5,3	Детский сад, магазины	136
15	3,3	-	118
16	1,5	Школа, магазины	22
17	1,5	-	112
18	1,4	-	11
19	1,7	-	36
20	1,1	Административные здания, магазины	56

Таблица 2.6 - Время массового выезда из дворов в утренние часы.

№ объекта	Пик выезда	Первый пик
1	8:00	7:00
2	8:00	-
3	8:20	7:40
4	8:00	7:00
5	8:00	6:20
6	8:20	6:40
7	8:20	6:20
8	8:20	6:40
9	7:40	7:00
10	8:20	6:40
11	8:20	7:00
12	8:40	7:40
13	8:00	6:20
14	8:20	6:40
15	8:00	6:20
16	8:20	7:00
17	7:40	6:50
18	8:20	-
19	8:00	6:20
20	8:20	6:20

Представим табл. 2.6 в ином виде

№ п/п	№ объекта	Пик выезда			
		7:40 ч.	8:00 ч.	8:20 ч.	8:40 ч.
1	9				
2	17				
3	1				
4	2				
5	4				
6	5				
7	13				
8	15				
9	19				
10	3				
11	6				
12	7				
13	8				
14	10				
15	11				
16	14				
17	16				
18	18				
19	20				
20	12				

В этой табл. 2.6 в зависимости от времени массового выезда автомобилей с придомовых стоянок, четко выделяются 4 группы объектов: 1-я группа - пик выезда 7.40 ч.; 2-я группа – пик выезда 8.00 ч.; 3-я группа – пик выезда 8.20 ч.; 4-я объект - пик выезда 8.40 ч.

Ниже приводится протокол обследования одной из придомовых территорий Пролетарского округа г. Тулы: ул. Гармонная, д.28 (рис.2.8, см. приложение А).

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №8**

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Зареченский округ, ул. Максимовского, д. 21

Дата обследования – 18.03.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Характеристика объекта:

количество домов – 1;

количество подъездов – 2;

количество квартир – 72;

количество парковочных мест – 15;

количество въездов – 1;

количество автомобилей во дворе на момент измерения – 20;

коэффициент оснащения парковочными местами – 0,2 (количество парковочных мест / количество квартир).

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха +3...+8 С°, скорость ветра 4...7 м/с (порывы до 10 м/с), влажность 83%...90%.

Приборы фиксации: пост 1 – видеочамера, пост 2 - нет, пост 3 - нет

Ведомость результатов фиксации

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	2
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	1
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	0
7:00 - 7:20	2	9:40 - 10:00	0
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	0
7:40 - 8:00	0	10:20 - 10:40	0
8:00 - 8:20	3	10:40 - 11:00	0
8:20 - 8:40	1	Итого: 11	

Оператор

Д.А.Юрченко

Рисунок 2.8 – Протокол обследования

По результатам обследования построены следующие зависимости:

- диаграмма распределение автомобилей по местам стоянок и парковок (рис.2.9);
- диаграммы распределения автомобилей на временных интервалах (рис.2.10);
- графики распределения выезда автомобилей с придомовых стоянок в утренние часы суток (рис.2.11):

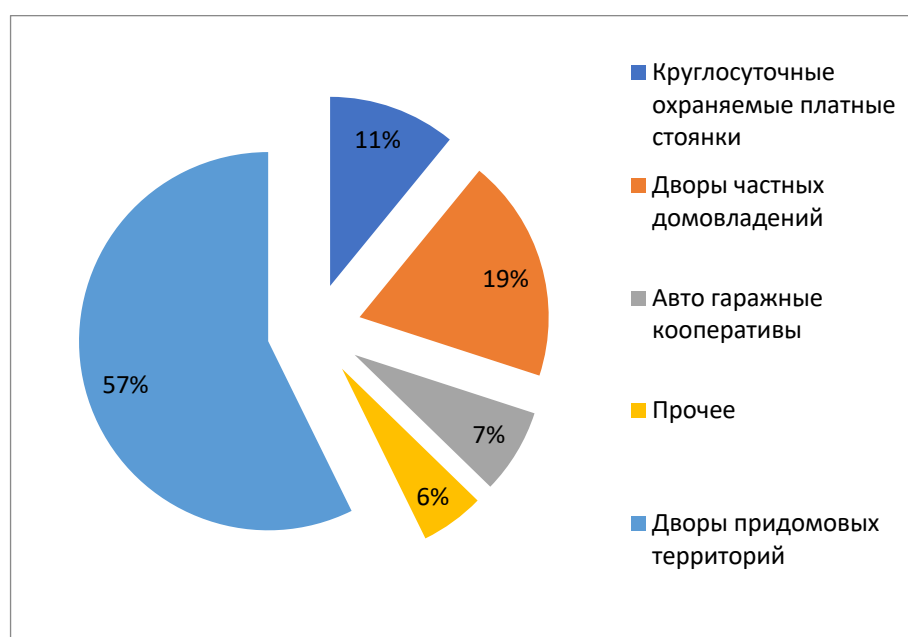


Рисунок 2.9 - Распределение автомобилей по местам стоянок и парковок в вечернее и ночное время суток г. Тулы

Приведенная диаграмма свидетельствует о том, что больше половины автомобильного трафика в утренние часы на УДС г. Тулы составляют транспортные средства, выехавшие со стоянок, расположенных на придомовых территориях жилых кварталов.

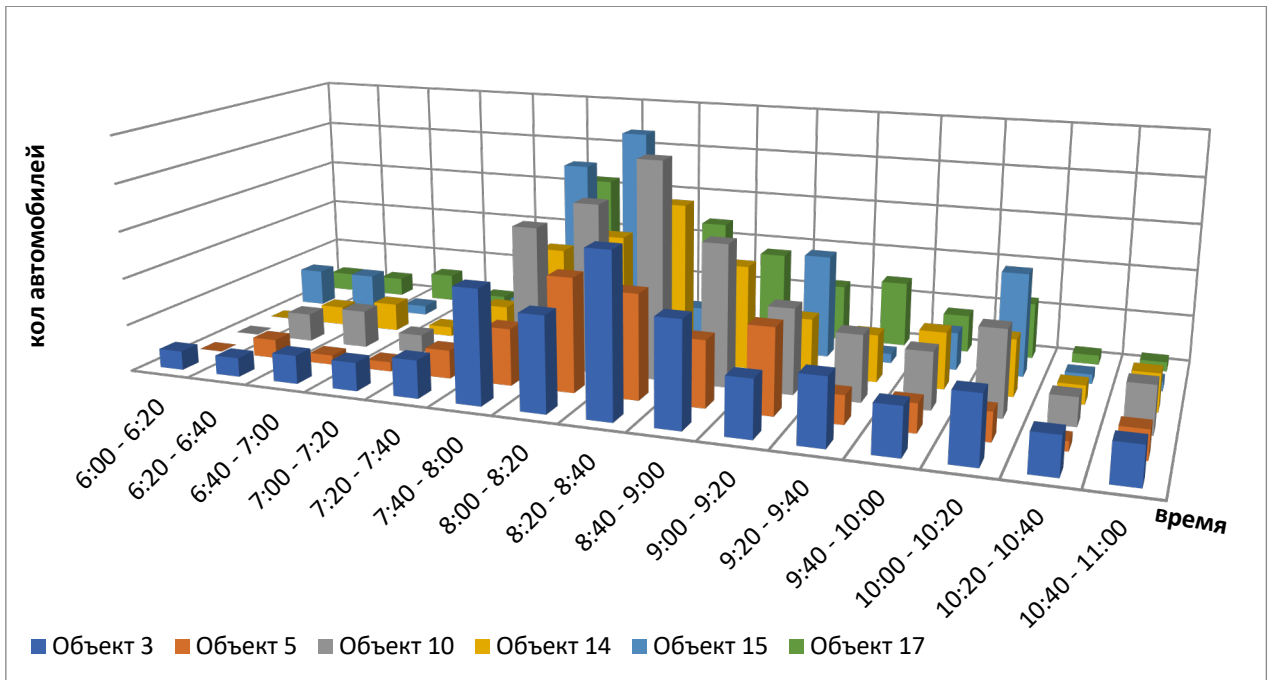


Рисунок 2.10 – Распределение количества автомобилей для разных центров генерации

Рис. 2.10 наглядно показывает, что «пик» выезда автомобилей происходит в период времени с 8.00 ч. до 9.00 ч.

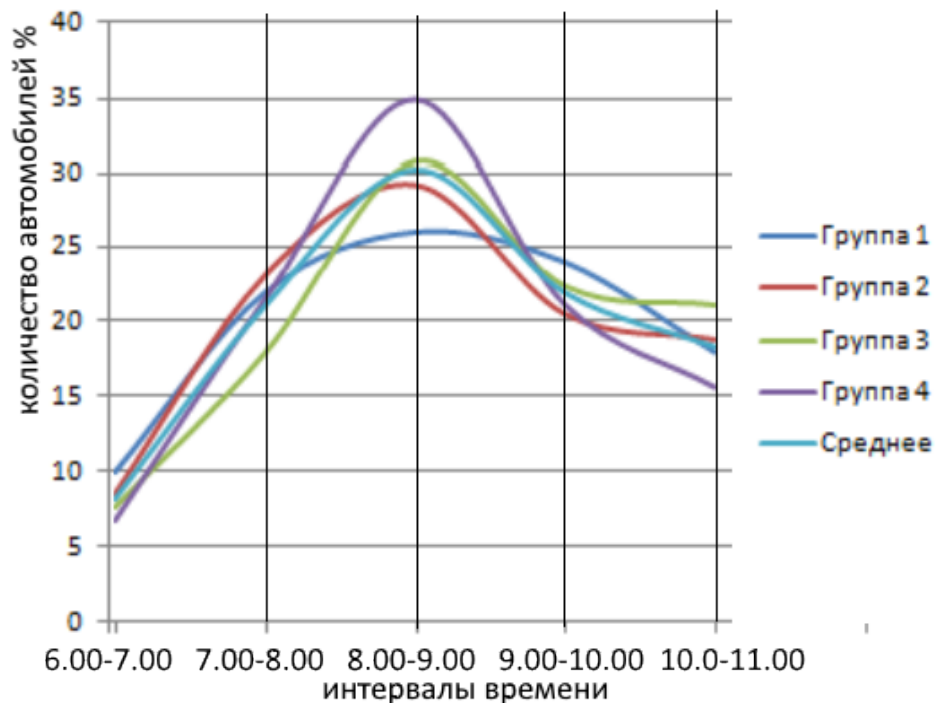


Рисунок 2.11 – Графики распределения выезда автомобилей с придомовых стоянок в утренние часы суток

На рис.2.11 графики распределения выезда автомобилей с придомовых стоянок составлены для групп автомобилей указанных в табл. 2.6. Для среднего значения выездов автомобилей составлена табл. 2.7.

Таблица 2.7 - Распределение выезда автомобилей в утренние часы

№ п/п	Интервал времени	Кол-во автомобилей %	Коэффициент $k_{\Delta t_i}$
1	6.00 ч. до 7.00 ч.	8,3%	0,083
2	7.00 ч. до 8.00 ч.	21,1%	0,211
3	8.00 ч. до 9.00 ч	30,2%	0,302
4	9.00 ч. до 10.00 ч	22,0%	0,22
5	10.00 ч. до 11.00 ч	18,4%	0,184

Введенный в табл.2.7 коэффициент $k_{\Delta t_i}$ позволит в дальнейшем учитывать в дальнейшем распределение суточных объемов отправок/прибытий автомобилей в рассматриваемых районах по интервалам времени.

Учитывая, что на придомовых стоянках располагаются в вечернее и ночное время суток больше половины (57%) всех зарегистрированных легковых автомобилей, находящихся в личной собственности, можно сделать предположение, что интенсивность ТП в утренние часы суток на УДС города будет пропорционально количеству автомобилей покинувших придомовые стоянки, т.е. распределяться по зависимости, которая приведена на рис.2.12 для среднего значения выездов автомобилей.

Применение этой предлагаемой зависимости распределения интенсивности ТП в утренние часы (рис.2.12) позволит в дальнейшем при моделировании ТС оперативно, в экспресс-режиме, без проведения полномасштабных трудоемких работ по подготовке исходных данных проводить прогнозирование изменения условий дорожного движения и обоснование предлагаемых мероприятий по ОДД.

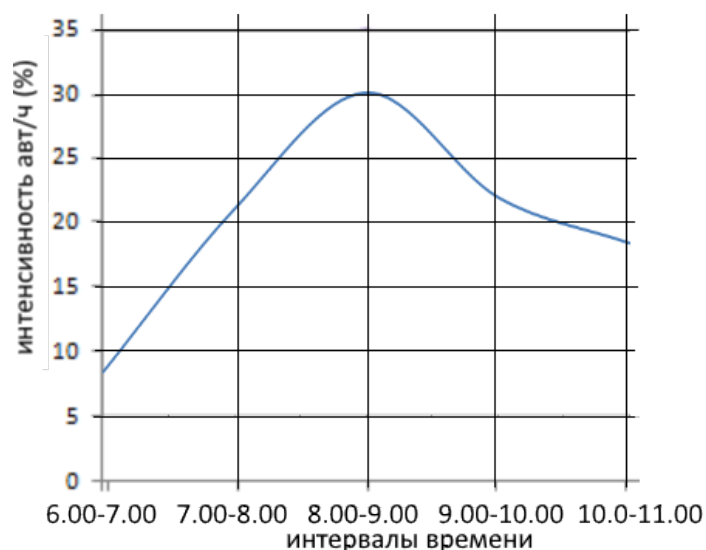


Рисунок 2.12 – Предлагаемая зависимость распределения интенсивности ДТП в утренние часы на УДС г. Тулы

2.8 Выводы по главе 2

1. Разработанная программа экспериментальных исследований динамики функционирования источников-стоков транспорта, основанная на применении ультразвуковых детекторов транспорта и визуальных наблюдений, позволила получить информацию о характеристиках придомовых стоянок и парковок автомобилей.

2. По результатам проведенных обследований и обработки экспериментальных данных наблюдений:

- определены центры генерации ДТП и их расстояния до обследуемых дворовых территорий;
- установлено, что до 57% от общего числа легковых автомобилей на УДС г. Тулы в утренний «час пик» выезжают с «ночных» парковок, расположенных на придомовых территориях;
- определено пиковое время выезда из дворов в утреннее время - они наблюдаются с 7:00 ч до 7:20 ч. и с 8:00 ч до 8:20 ч;
- установлено что, суммарный выезд с 7:00ч до 9.00ч составляет примерно 50% - 55% от числа припаркованных автомобилей;

- установлено, что выезд автомобилей из придомовых стоянок по интервалам времени суток, составляет с 6.00 ч. до 7.00 ч. – 8,3%; с 7.00 ч. до 8.00 ч. – 21,1%; с 8.00 ч. до 9.00 ч. – 30,2%; с 9.00 ч. до 10.00 ч. – 22,0%; с 10.00 ч. до 11.00 ч. – 18,4% от общего числа припаркованных автомобилей;
- предложена зависимость распределения интенсивности ТП в утренние часы на УДС г. Тулы для моделирования потоков в источниках-стоках транспорта;

3. Примененные измерительные технологии обеспечили:

- высокую точность получения результатов (погрешность не превышала 3,8%);
- низкую стоимость материальных затрат на приобретение, монтаж и обслуживание измерительного оборудования;
- простоту и доступность использования измерительного оборудования;
- возможность сбора большого количества данных;
- простоту обработки полученных результатов.

4. Полученная информация будет использована для различных целей - от простого анализа до построения математических моделей обоснования конструктивных и иных изменений на рассматриваемых участках дорожной сети.

3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАГРУЗКИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ И РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИТУАЦИИ

3.1 Теоретические аспекты моделирования транспортных систем на основе макроскопического подхода

Моделирование АТС городов представляет собой важный раздел градостроительного планирования. В качестве инструментов обычно используют имеющиеся в наличии пакеты прикладных программ, которые могут решать прогнозные задачи, направленные изучение возможного спроса на перевозки. Объектом исследования в этих задачах является городская транспортная система, которая относится к макроскопической системе, поскольку большое число хаотически действующих транспортных средств приводят к относительно детерминированному поведению, в частности, равновесному состоянию. Однако, в реальной ситуации такое положение вещей не всегда достижимо, и очень часто следует говорить о динамическом подходе и неравновесном состоянии транспортных систем. Примером неравновесного состояния могут быть очереди (заторы), которые наблюдаются на пересечениях УДС, а также различные фазы транспортного потока. Динамическое поведение транспортной системы следует из непрерывно меняющейся динамики центров генерации и прибытия транспортных средств.

Научные основы моделирования транспортных макроскопических систем, включая ТП и другие объекты исследований, представлены в работах [6, 16, 19, 61]. Общим в этих работах является то, что в этих системах имеется огромное число однородных по свойствам элементов, функционирующих, как правило, случайным образом. Подобное коллективное поведение может приводить к проявлению детерминированных свойств системы в целом, однако большинство постановок задач в цитируемой литературе относятся к поиску состояний равновесия, без отсылки к конкретным моментам времени, в

которые это равновесие рассматривается. Выбор момента времени является одной из задач расчетчика. Современные подходы к управлению системами транспорта должны четко привязываться к состояниям транспортной системы, поэтому фактор времени имеет решающее значение, даже в задачах прогноза, так как необходимо увидеть заранее, как транспортные проблемы возникают и развиваются в течение дня.

В настоящем исследовании решается задача определения общего вида математической модели, который применяется при анализе загрузки УДС с учетом функционирования источников и стоков транспорта. Такая модель позволяет считать задачу в квазидинамической постановке. Это означает, что интервалы времени, соответствующие каждому шагу расчета, выбраны так, что систему можно рассматривать как достигшую некоторого промежуточного равновесия. Динамика системы в таком случае – это последовательность равновесных состояний. Таким образом, это утверждение является основным допущением работы.

Предположим, что АТС, заданная на графе УДС, определяется в виде источников и стоков транспортных средств с соответствующими емкостями. Такое описание обеспечивает увязку характеристик функционирования стоков и источников транспорта и характер изменения транспортных потоков при решении задач о загрузке УДС, тогда АТС можно представить как совокупность элементов [105], обеспечивающих:

- логическую и пространственную связь между источниками и стоками транспорта (в более широком описании – ресурса некоторого вида);
- временные характеристики связей (время начала и продолжительности действия каждой связи);
- соответствующие провозные (пропускные) способности;
- план транспортного процесса;
- критерии эффективности функционирования систем (или наличие цели).

В соответствии с таким подходом обобщенная схема модели произвольной АТС должна включать в себя выражения, определяющие:

- граф дорожной сети;
- матрицу связей, как логических (булевых) функций времени;
- провозные возможности системы (в качестве альтернативного описания здесь могут быть заданы уравнения для пропускных возможностей УДС или уравнения для интенсивностей потоков);
- степень выполнения транспортного задания (уравнения транспортных процессов);
- критерии эффективности или условия равновесия.

Тогда обобщенную схему модели АТС можно записать в виде, который использовался в работе [105] для построения моделей различных систем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Gamma = \Gamma(t); \\ \rho = \rho(t); \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \Delta\tau, \\ \Delta\tau = \sum_{k=1}^n \Delta\tau_k; \\ \Delta\tau_k \in \{\Delta\tau_1; \Delta\tau_2; \dots; \Delta\tau_n\}; \\ q_{ij} = q_{ij}(t); \\ \pi_m = \pi_m(t); \\ k = 1, \dots, n. \end{array} \right. \quad (3.1)$$

где t – время, которое в модели является непрерывным с дискретными (выделенными) моментами, выбранными для расчета или определения состояния системы; τ_0 – время начала наблюдения системы; $\Delta\tau$ – продолжительность работы транспортной системы (продолжительность существования, моделирования и т.п.); $\Delta\tau_k$ – интервалы между точками расчета (рассмотрения) системы; k – индекс интервала времени; q_{ij} – интенсивность или провозная возможность АТС, пропускная способность элемента сети; i, j – индексы узлов УДС, между которыми измеряется величина q_{ij} ; $\pi_m(t)$ – доля (степень) завершения задания поездки (перевозки); t – индекс транспортного средства. Уравнения $\pi_m = \pi_m(t)$ представляют собой модель транспортного процесса,

которая задается для каждого транспортного средства, входящего в систему на данном интервале решения задачи. Количество транспортных средств и число маршрутов входят в выражение (3.1) как параметры.

Модель (3.1) для каждого конкретного случая должна приобретать заверченный вид, позволяющий производить вычисления. Поэтому для выбранной системы эти уравнения дополняются вспомогательными условиями (функции распределения; уравнения баланса; вариационные равенства и т.п.).

В работе [61] отмечаются следующие особенности применения динамических моделей при описании распределения потоков:

- усложнение задачи за счет увеличения размерности;
- трудности определения понятий «равновесие» и «ценовая функция»;
- необходимость детального описания движения транспортных средств внутри дуг;
- возрастание потребностей в вычислительных ресурсах.

Однако принятие следующих допущений и предположений позволяет избежать эти трудности:

- можно сформулировать допущения, при которых возможен компромисс между точностью и сложностью задачи;
- возможен квазидинамический подход, при котором система в каждый момент времени находится в состоянии равновесия;
- динамику системы можно рассматривать на различных временных интервалах.

С практической точки зрения вытекает необходимость включения в модель уравнения транспортного процесса зависимости от времени доли выполненной поездки (или числа выполненных рейсов, ездов, оборотов) для каждого транспортного средства и для всего их множества в целом. Необходимость такого уравнения заключается в потребности рассчитать вероятности нахождения элементов на конкретных дугах маршрутов.

Рассмотрим, как уравнение транспортного процесса можно привести к виду, который позволит использовать данные о функционировании источников транспорта, а также учитывать, какое количество транспортных средств находится в УДС в рассматриваемом интервале времени.

Опишем некоторые возможности предложенной модели. Система (3.1) позволяет подробно исследовать процесс формирования ТП и загрузки городской УДС с учетом влияния на них стоянок и парковок, расположенных на придомовых территориях. Характеристики этих поездок можно считать стационарными, а поведение водителей соответствует первому принципу Вардропа. Основой для создания транспортной модели исследуемой АТС является схема соответствующей физической транспортной сети, описанная на языке теории графов. Графовая модель транспортной сети будет представлять собой ориентированный совмещенный граф $\Gamma(t)$ УДС транспортных районов.

Множество транспортных районов представляет всю транспортную сеть города. Связь между отдельным транспортным районом и УДС осуществляется посредством примыкания. Примыкание – направленное ребро графа, одной вершиной которого является центр транспортного района, другой – узел УДС. Множество вершин V совмещенного графа состоит из множества узлов УДС и множества центров транспортных районов. Множество ребер E графа состоит из множества отрезков сети и множества примыканий. В предлагаемом, динамическом подходе, подходе в качестве указанных вершин может выступать множество отдельных центров генерации и поглощения транспортных средств. От этого может увеличиться размерность МК, однако, как показывают расчеты, от этого существенно возрастает точность моделирования.

Ограничения на общий объем потока в графе формализуются МК – ρ_w . С учетом ограничений в виде – ρ_w и структуры самого графа Γ , необходимо получить равновесное распределение потоков по графу, т.е. такое распределение потоков, при котором ни один из участников движения не может изменить свой путь следования, не увеличив при этом затраты на передвижение. Задачу поиска равновесных потоков в транспортной сети можно разделить на 2 этапа:

на первом этапе оцениваются МК на основе исходной информации; на втором – полученные МК перераспределяются на транспортную сеть. Каждой потокообразующей паре (i, j) соответствует определенный спрос на поездки. Этот спрос порождает МК, элементом которой является поток (количество пользователей сети) из i -й вершины графа Γ (источника ТП), в j -ю (сток ТП). Если ρ_w – общий объем поездок, которые должны начаться в вершине i и должны закончиться в вершине j , то любая $\rho_{ij} > 0$ называется корреспонденцией. Прямоугольная матрица, образованная декартовым произведением множеств $Q \times D$ и состоящая из элементов ρ_{ij} , и представляет собой определение МК.

Сложность определения корреспонденций ρ_{ij} заключается в том, что их приходится находить опосредованно, т.к. они в явном виде не наблюдаемы. Информация о корреспонденциях скрыта в большом объеме исходных данных: результатах опросов о перемещениях населения; социально-экономической информации о потокообразующих факторах и др. Для определения корреспонденций используются различные методы, зависящие от исходной информации. Наиболее часто используемыми являются гравитационные и энтропийные модели [19,16,61]. Недостатком этих моделей является то, что в них корреспонденции описываются функциями, параметры которых находятся на основе неявной информации о перемещениях населения, данных о подвижности пользователей сети. Главные величины массива исходных данных – ёмкости узлов отправления Q_j и прибытия D_i вычисляются на основе социально-экономической информации (число жителей, рабочие места, количество автомобилей, поведение пользователей и др.). Эта априорная информация, необходимая для применения вышеуказанных моделей, является грубым допущением, т.к. достоверность исходных данных практически невозможно проверить. Альтернативным подходом к формированию МК является метод, заключающийся в оценке корреспонденций по наблюдениям за ТП, т.е. за некоторый интервал времени Δt_k , имеются измерения величины ТП в вершинах и на ребрах графа Γ . На основе этих данных и создается МК.

В предлагаемой модели объем отправок $Q_i(t)$ из района i корреспонденций определяют по формуле, которая используется во многих работах, посвященных описанию динамического подхода к моделированию АТС [70-74]:

$$Q_{ij}(t) = Q_{\Delta\tau_k} + Q_{\Delta\tau_{k-1}} - K_{\Delta\tau_k} \quad (3.2)$$

где $Q_{\Delta\tau_k}$ – автомобили, выехавшие из источника транспорта рассматриваемого района в интервал времени $\Delta\tau_k$, количество определяется в результате натурного обследования по методике, изложенной в гл.2;

$Q_{\Delta\tau_{k-1}}$ – автомобили, находящиеся в транспортном районе на момент начала временного интервала, т.е. оставшиеся от предыдущего шага;

$K_{\Delta\tau_k}$ – автомобили, совершающие прибытия в стоки рассматриваемого транспортного района, т. е. покинувшие УДС в интервале времени $\Delta\tau_i$;

k – номер шага по времени;

Таким образом, разработанная модель представляет собой совокупность выражений (3.1) и (3.2), последнее из которых является условием баланса ТС, которое реализуется на каждом шаге $\Delta\tau_k$. На наш взгляд, этот метод решения задач прогноза спроса на поездки (перевозки) по наблюдениям за работой источников и стоков ТС в сети позволит обеспечить максимальное правдоподобие и точность прогнозирования с помощью транспортных моделей.

3.2 Методическое, информационное и программное обеспечение для задачи по определению загрузки УДС

3.2.1 Общая методика построения и использования транспортной модели

С увеличением автомобилизации населения возникли проблемы устойчивости и безопасности городских ТС. Применение математического моделирования является одним из способов решения этих проблем при составлении рекомендаций и проектных решений, разработке планов перспективного

развития и т.д. Инструменты, которые используются для этого, должны позволять выполнять моделирование ТС на различных уровнях описания и определение всех элементов транспортной сети

В соответствии с приказом министерства Транспорта РФ от 13 ноября 2018 г. № 406 «Об утверждении классификации работ по организации дорожного движения и о внесении изменений в классификацию работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог, утвержденную приказом Минтранса России от 16 ноября 2012 г. №402» работы по созданию модели ТС содержат следующие этапы:

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

На этапе предварительного анализа следует четко обозначить цели и задачи разрабатываемой модели, провести анализ имеющейся информации по следующим направлениям:

- анализ динамики изменения показателей функционирования объекта;
- выявление наиболее проблемных участков, узлов, перегонов, с точки зрения влияния на устойчивое функционирование сети в целом;
- ранжирование проблемных элементов сети в зависимости от уровней обслуживания, задержек.

Ключевым фактором объективности транспортной модели является сбор и подготовка исходных данных, от точности, объема и состава которых зависят все последующие результаты. Основными типами исходных (входных) данных, необходимых для построения модели являются.

1. Транспортные: объемы отправлений/прибытий из/в источников/стоков автотранспорта; интенсивность ТП по перегонам и направлениям движения; значения фактической пропускной способности; скорость движения на контрольных участках; время движения между контрольными точками.
2. Инфраструктурные: геометрические параметры УДС (число и ширина полос, длина перегонов; характеристики ОДД; параметры регулирования (знаки, светофорные объекты, пешеходные переходы); размещение центров притяжения.

Главным пунктом исходных данных является определение объемов отправлений/прибытий из/в источников/стоков автотранспорта.

Базовая методика, общепринятая для определения загрузки УДС, основана на гравитационном методе формирования МК. Она предполагает следующую последовательность определения объемов отправлений и прибытий из/в районов трудовых или деловых корреспонденций [47]:

- определение численности населения в каждом транспортном районе;
- определение численности занятого населения в каждом районе;
- определение количества мест приложения труда в каждом районе;
- определение количества рабочих мест;
- вычисление уровня автомобилизации населения;
- определение средних затрат времени на передвижения между всеми парами районов.

Суточный объем отправлений Q_i из района i трудовых корреспонденций определяют по формуле:

$$Q_i = M \cdot a \cdot k_T(a) \cdot Z_i / \sum Z_i, \quad (3.3)$$

где M - число городского населения, тыс. жит.;

a - уровень автомобилизации населения, авт./тыс. жит.;

i – индекс района;

Z_i - число занятого населения в районе, тыс. жит.;

$k_T(a)$ - коэффициент пропорциональности (рис.3.1).

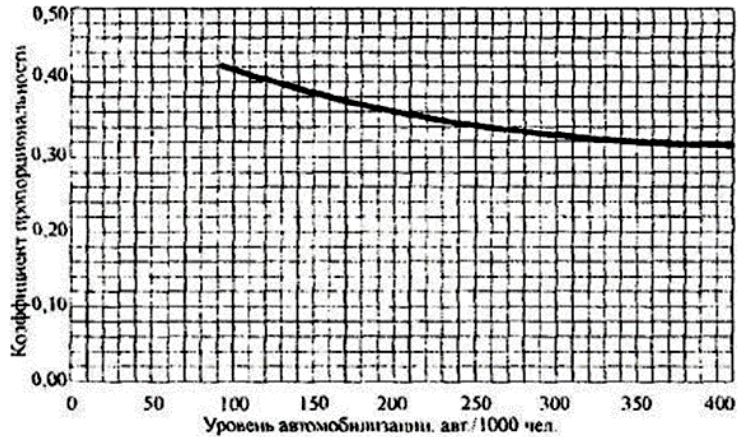


Рисунок - 3.1. Коэффициент пропорциональности $k_T(a)$ для расчета трудовых корреспонденций [112]

Суточный объем прибытий D_i в район i трудовых корреспонденций:

$$D_i = M \cdot a \cdot k_T(a) \cdot R_i / \sum R_i, \quad (3.4)$$

где R_i - число мест приложения труда в районе i .

Объем отправок Q_i из района i определяют по формуле:

$$Q_i = 0,5 \cdot C \cdot V_i / \sum V_i, \quad (3.5)$$

где C – суммарный суточный объем корреспонденций на легковом транспорте, определяемый по формуле:

$$C = 1,5 \cdot Z \cdot a \cdot k_D(a), \quad (3.6)$$

где Z - число занятого населения, тыс. жит.;

$k_D(a)$ - коэффициент пропорциональности;

V_i - вес района i , определяемый по формуле:

$$V_i = \sum_{k=1}^{\delta} z_i^k \cdot s^k \quad (3.7)$$

Z_i - количество рабочих мест в районе i ;

S - вес рабочего места, определяемый по табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Вес рабочего места

№ п/п	Тип рабочего места	Значение веса рабочих мест на период		
		Существующее положение	Перспектива 10 лет	Перспектива 20 лет
1.	Промышленность, строительство, транспорт	150	257	307
2.	Торговля, общественное питание	330	432	500
3.	Жилищно-коммунальное хозяйство, здравоохранение, образование, наука, культура	118	194	275
4.	Управление, финансы	493	555	704
5.	Учебные места учащихся вузов и техникумов	36	57	12
6.	Прочие	476	500	690

Полученные значения объемов отправок/прибытий подлежат уточнению по результатам калибровки - в сторону уменьшения при высокой доле населения в районе, работающего в промышленности, строительстве, транспорте, а также при высокой доле в структуре экономики района крупных организаций образования, науки, здравоохранения.

Определение объемов отправок $Q_i(t)$ из района i трудовых корреспонденций в предлагаемой уточненной методике см п. 3.1.

Объем прибытий $D_i(t)$ в район i трудовых корреспонденций в предлагаемой методике определяется по формуле:

$$D_i(t) = M \cdot a \cdot k_T(a) \cdot k_{\Delta\tau_i} R_i / \sum R_i, \quad (3.8)$$

где $k_{\Delta\tau_i}$ - коэффициент, учитывающий распределение суточных объемов прибытий автомобилей по интервалам времени (табл. 2.7).

Найденные для каждого района объемы отправок и прибытий служат основой формирования МК. В настоящей работе используется динамический, зависящий от времени метод оценивания МК, в нем внимание акцентируется на времени наблюдения и зависимости корреспонденции от времени. ТП наблюдается за короткий интервал времени, например, за $\Delta\tau_i = 20 - 60$ мин., тогда как для базовой модели минимальные интервалы времени составляют сутки или 5 - 6 часов (утренние, дневные, вечерние часы), Таким образом, дробление суточных объемов отправок и прибытий на более мелкие

интервалы времени позволит получить картину дорожно-транспортной ситуации в городе адекватную реальной обстановке.

Приведенные способы определения объемов отправок/прибытий, а также числа поездок между районами, проиллюстрированы на рис.3.2.

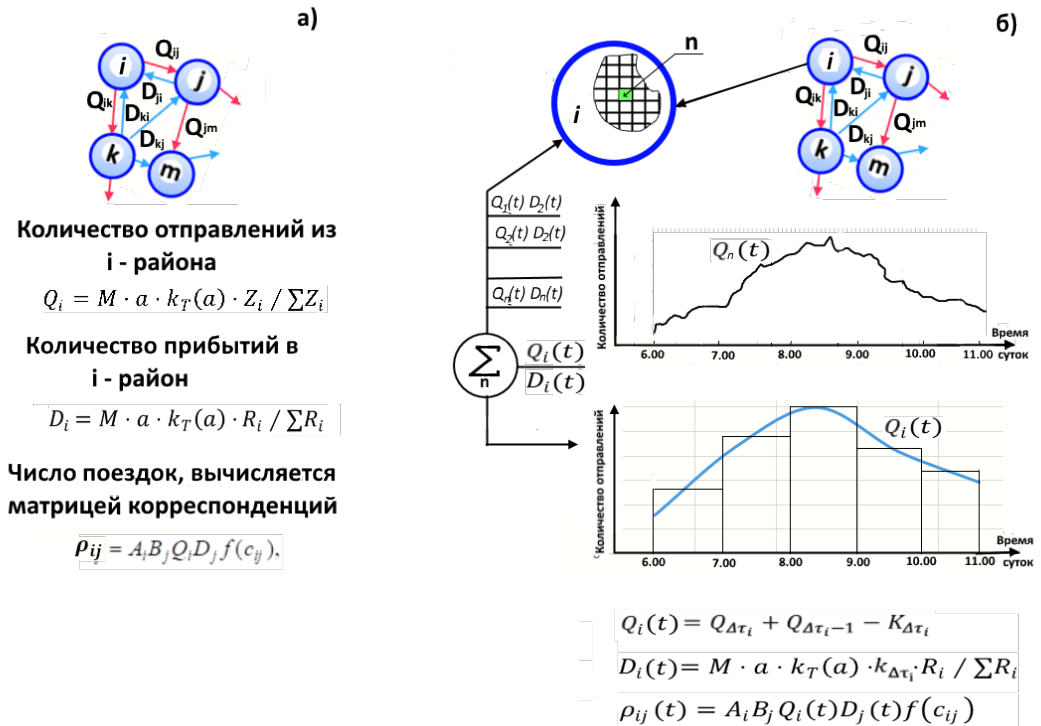


Рисунок 3.2 – Способы определения объемов отправок/прибытий и количества поездок: а) базовая методика б) предлагаемая методика

После ввода исходных данных необходимо выполнить верификацию, т.е. провести проверку правильности введенной информации и работы модели по следующим показателям: отсутствие ошибок, которые могут возникнуть непосредственно при вводе численных значений; правильность настроек и соотношений основных элементов создаваемой модели; учет специфических условий ТС. Рекомендуется для выявления ошибок ввода запускать модель с небольшой загрузкой (менее 50 % от максимальной). Образование заторов в транспортной сети при невысокой нагрузке свидетельствует о вероятности наличия ошибок ввода, следует также проверить какой процент спроса входит в сеть и выходит. После этапа верификации модель должна гарантировать отсутствие ошибок ввода и правильность настройки основных элементов.

Калибровка – один из важнейших этапов построения транспортной модели [40]. Целью этого этапа является подборка параметров модели таким образом, чтобы выходные расчетные данные максимально соответствовали фактически наблюдаемым значениям интенсивности движения.

До начала выполнения этапа калибровки необходимо тщательно проверить (верифицировать) модель, что бы в ней отсутствовали ошибки ввода и были выбраны обоснованные начальные настройки и параметры. Задачей этапа калибровки является определение сочетания значений параметров элементов модели, при котором достигается нужная степень ее соответствия по заданным выходным значениям. Значения начальных параметров рекомендуется выбирать, воспользовавшись имеющимися данными натурных обследований придорожных территорий. Параметры, подлежащие настройке, следует разделить на те, которые оказывают непосредственное влияние на пропускную способность (например, временная дистанция), и те, которые оказывают влияние на количественное распределение ТП (например, параметры выбора маршрута). Параметры, оказывающие влияние на пропускную способность, калибруются первыми при неизменных параметрах спроса. Внутри этих групп параметры делятся на глобальные, которые оказывают влияние на всю модель, и локальные, влияющие на поведение на отдельных отрезках и узлах.

Последовательность действий на этапе калибровки модели можно сформулировать следующим образом:

1. Провести проверку правильности ввода исходных данных, выбрать перечень и значения параметров, не подлежащих калибровке. Нельзя допустить, чтобы процесс калибровки заключался в компенсации ошибок ввода.

2. Выполнить начальный процесс калибровки с настройкой параметров, влияющих на пропускную способность и добиться удовлетворительного соответствия с наблюдаемыми в реальности значениями. В первую очередь калибруются глобальные параметры, затем локальные. На данном этапе параметры, влияющие на спрос, не меняются, но допускается искусственно увеличивать нагрузку, чтобы оценить пропускную способность.

3. Выполнить второй этап калибровки с фиксированными значениями параметров, полученных на предыдущем шаге. Изменяются только параметры, влияющие на распределение потоков. В первую очередь калибруются глобальные параметры, затем локальные.

4. Оценить общие показатели модели на предмет соответствия реальным значениям (время движения, длины очередей и др.). Допускается при необходимости минимальная настройка локальных параметров.

В ходе калибровки при каждой итерации расчета изменяют только один параметр и проверяется его влияние на результаты расчета. В случае оказания влияния нескольких параметров на один и тот же объект, необходимо провести несколько испытаний и выбрать оптимальный набор значений параметров.

На последней стадии калибровки оцениваются основные показатели работы модели в целом и сравниваются с зафиксированными результатами натурных обследований. В случае существенных расхождений допускается небольшая подстройка параметров модели в пределах 10-15 %. Необходимость в более существенных корректировках говорит о некачественно выполненных предыдущих шагах калибровки.

Валидация модели заключается в определении того факта, что модель пригодна для проведения экспериментального анализа объекта исследования, основывается на сравнительном анализе наблюдаемых выходных характеристик реальной системы и итоговых данных, получаемых в результате выполнения имитационных экспериментов над компьютерной моделью. Входными данными для этапа валидации является откалиброванные модели и набор независимых данных той же номенклатуры, что и для проведения калибровки.

Сравнение показателей работы модели и реальных данных следует выполнять с помощью следующих статистических критериев [109]:

1. GEN статистика (критерий Хейверса) – это эмпирически полученная формула, представляет собой частный случай хи-квадрат теста:

$$GEN = \sqrt{\frac{(Z-U)^2}{(Z+U)/2}}, \quad (3.9)$$

где Z – расчетные смоделированные значения; U – фактические измеренные значения.

Значение GEN статистики менее чем 5 для 85 % случаев считается приемлемым в практике транспортного моделирования.

2. Средняя относительная ошибка в %:

$$(\delta_p) = \frac{\sum abs(Z_i - U_i)}{\sum Z_i} \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

где Z – наблюдаемое фактическое значение; U – расчетное значение, полученное из модели;

К настоящему времени еще не приняты четкие значения указанных критериев, при которых модель считается достоверной. Значения критериев зависят от задачи применения моделирования, используемого метода и типа проекта. Ориентировочно можно принимать следующие значения: по моделируемой в целом сети - средняя относительная ошибка не более 10%; для локальных участков сети - не более 5%. Рекомендованное значение (δ_p) не должно быть в целом по моделируемой сети более 10%.

Цель этапа выполнения экспериментов, интерпретации и анализа результатов заключается в оценке предлагаемых проектных решений, полученных на основе моделирования, а также выработка предложений по их корректировке. Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- внесение изменений в модель;
- проведение достаточного количества экспериментов;
- обработка полученные результаты и сравнение с базовым сценарием;
- разработка предложений по корректировке.

По результатам проведения моделирования составляется отчет, в котором приводятся: матрицы передвижений между всеми районами; картограммы загрузки УДС, картограммы распределения мест проживания и приложения труда, распределение передвижений по конкретным путям в транспортной сети, суммарные потоки на участках сети, скорости и время передвижений по каждой дуге и д. т.

Отчетные материалы формируются в виде таблиц, картограмм, схем, графиков и пр. Для наглядного представления результатов моделирования могут быть созданы видеоролики.

3.2.2 Информационное обеспечение транспортной модели

Информационное обеспечение создаваемой модели должно быть создано в виде пригодном для работы с программой ПАК TransNet, которая используется в качестве инструмента моделирования. Перечень основных загружаемых данных приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Перечень загружаемых данных

Содержание данных	Характеристика
1. Территориальное планирование	
Картографическая подоснова	Масштабов 1:25000 и 1:0000.
Административное деление	Административные районы
Задания, включая объекты городской и внешней логистики	Адрес, тип по классам БТИ
Транспортные районы	С детализацией на 3-х уровнях
2. Общественные и социальные объекты	
ВУЗы	Учебные места, студенты
Общежития	Тип, общая/жилая площадь, число комнат
Среднеобразовательные учреждения	Учебные места, студенты по формам обучения
Школы, детские сады	Количество детей/учащихся и учителей, мест
Торговые центры	Общая эффективная площадь, этажность
Оптовые продовольственные комплексы	Площадь земельных участков, строений, грузооборот, количество грузового транспорта
Учреждения здравоохранения	Численность мест, врачей по специальностям
Спортивные учреждения	Стадионы, физкультурно-оздоровительные комплексы и прочие объекты
Культурно-развлекательные объекты	Театры, кинозалы, клубы, музеи, парки, аквапарки, зоопарки и пр.
Промышленные объекты	Тип, адрес
3. Элементы улично-дорожной сети и ОДД	
Граф дорог	Содержит дуги и узлы
Узлы	Перекрестки, развязки и т.д.
Отрезки	Участки автомобильных дорог, улицы, мосты
Повороты	Повороты
Примыкания	Места входа/выходы участников транспортного движения из/в районы
Выделение полосы для ОТ	Место прохождения, протяженность в км
Характеристика транспортных потоков	Интенсивность, скорость

Данные об ОДД должны содержать информацию о характеристиках УДС, дорожной инфраструктуре и средствах ОДД: тип дороги, количество полос движения, ограничения скорости, ограничения движения грузового транспорта, пропускная способность полос движения, проходящие виды транспорта, наличие одностороннего движения, расположение пешеходных переходов, наличие обозначенных парковок, наличие светофорных объектов, ограничения на передвижения по направлениям на перекрестках. Адресная база объектов центров притяжения вводится с привязкой к графу сети.

При необходимости составления прогноза загрузки УДС объекта в утренние часы рекомендуется вводимые исходные данные по наполнению точек притяжения (прибытия/отправления) откорректировать, воспользовавшись предложенной зависимостью (рис. 2.12). Это позволит оперативно, в экспресс-режиме, получить загрузку УДС и спрогнозировать изменение условий дорожного движения, обосновать предлагаемые мероприятий по ОДД.

3.2.3 Требования к программному обеспечению и их реализация.

В TransNet УДС задается в виде ориентированного графа, позволяющего прокладывать межрайонные маршруты для различных видов транспорта. Граф УДС это векторная карта из связанных дуг и узлов, которых передают маршруты и организацию движения наземного транспорта, строится по имеющимся цифровым или растровые картам в формате ГИС, которые используются в качестве подложки для отрисовки УДС средствами программного обеспечения.

Основными элементами графа УДС являются дуги (отрезки) и узлы (перекрестки, развязки и т.п.). В общем случае узлами выступают любые пересечения транспортных потоков. Основными характеристиками узлов являются: порядковый номер, тип, имя, пропускная способность, тип регулирования, координаты, а также сведения о числе полос движения, разметке, светофорных фазах, разрешенных направлениях поворотов.

Дуги представляют участки автомобильных дорог, улиц, мостов и т.п. Дугам присваиваются атрибуты: номер и номера связанных узлов, тип, имя, пропускная способность, длина, количество полос движения, разрешенная скорость движения, ограничения по использованию полос движения, наличие парковки, транспортно-эксплуатационное состояние.

Исследуемая территория делится на определенное число транспортных районов источников и стоков автотранспорта. Каждый транспортный район включается в граф как узел, соединенный с обычными узлами специальными дугами-связями. Связи - условные линии, не являющиеся физическими объектами. Движение по связям соответствует выезду из дворов и мелких улиц до попадания в узлы транспортной сети, к которым проведены связи. Районы кроме транспортных характеристик описываются экономическими показателями: число рабочих мест, объемы производимой продукции и завозимого сырья, наличие парковок и т.п.

Перечисленные элементы графа УДС позволяют формировать маршруты между любыми заданными точками, для построения которых задают начальную и конечную точки, а также длину маршрута или время его прохождения. Главным критерием моделирования является обобщенная цена пути, основным фактором которой служит время движения.

Оценка межрайонных корреспонденций производится созданием матрицы корреспонденций, элементами которой являются объемы передвижений между каждой парой условных центров прибытия/отправления. При составлении матрицы транспортных корреспонденций необходимо выполнить ряд условий:

1. Транспортная система не является замкнутой, следует учитывать транзитные потоки, без которых описание функционирования ТС будет не корректным, так как значительное число корреспонденций совершается из других районов.

2. Модель строится для решения задач загрузки УДС транспортными потоками.

3. Формирование базы исходных данных происходит за счет информации, полученной из органов статистики и интернет источников: общая численность населения, количество трудоспособного населения, количество высших и средних учебных заведений, количество общеобразовательных школ, детских дошкольных учреждений и др.

4. Для формирования базы данных матрицы корреспонденций принимаются допущения:

- при расчете часовых корреспонденций данные берутся за определенный период времени;
- ТС функционирует без сбоев, т.е. все параметры являются стабильными (исключены дорожно-транспортные происшествия, климатические воздействия и др.);
- для анализа концентрации мест приложения труда взяты наиболее крупные субъекты занятости населения;
- известны следующие характеристики транспортных районов: площадь; неоднородность застройки (зона жилой застройки, рекреационная, промышленная зона и т.п.); расположение объектов притяжения (единый центр притяжения имеет входные и выходные связи для насыщения улично-дорожной сети).

В соответствии с заложенным в TransNet алгоритмом, для расчета МК необходимо выполнить следующие операции: рассчитать матрицы межрайонных расстояний; рассчитать матрицы межрайонных дальностей (обобщенных цен); выполнить балансировку матриц по заданным объемам прибытия/отправлений в транспортных районах.

Матрицы выступают в качестве таблиц, количество транспортных районов соответствует количеству ячеек в текущей таблице. Для каждой ячейки характерно: объем корреспонденций; время, затраченное на передвижения; длина поездки и прочее.

Модель, полученная после выполнения этапов верификации, калибровки и валидации, считается пригодной как для оценки оперативной

транспортной ситуации, так и для составления прогнозов на перспективу. Так как любой транспортный прогноз предполагает некоторые допущения, следует проводить моделирование в несколько этапов - для нагрузки на 10-15 % больше и меньше спрогнозированной.

3.3 Моделирование транспортной загрузки УДС г. Тулы

3.3.1 Предварительные замечания

Рост загруженности УДС г. Тулы автомобильным транспортом привел к появлению широкого спектра проблем как исключительно транспортного характера, так и градостроительного, социального, экологического и др., поэтому город нуждается в современной, профессионально разработанной транспортной стратегии, направленной не на локальное, а на комплексное решение проблем. В соответствии с Градостроительным кодексом РФ, постановлением Правительства РФ от 25.12.2015 № 1440 «Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов» Администрация г. Тулы 15марта 2019 г приняла постановление №800 «Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры муниципального образования город Тула до 2035 года». Принятая программа предусматривает строительство 55 новых и реконструкцию старых дорожных объектов. Однако строительство новых и модернизация старых автомобильных дорог не позволяет решить указанные выше проблемы, необходимы теоретические осмысления и широкомасштабные практические исследования в этой области.

Для этого должны использоваться инструменты, позволяющие выполнять моделирование ТС на различных уровнях описания. Так сотрудниками кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» ТулГУ Агуреевым И.Е., Пышным В.А. и др., с участием ведущего специалиста Института системного анализа РАН Москва В.И. Швецова разработана базовая транспортная модель загрузки УДС г. Тулы [1 - 4, 48,49]. Следующим шагом в совершенствовании

методов определения загрузки УДС города является дальнейшая детализация и уточнение исходных данных для алгоритмов расчетов созданной модели [1]. С этой целью на графе УДС базовой модели выбран транспортный район, ограниченный р. Упа и линиями Московско-Курской, Вяземской железных дорог. Эта территория (рис.3.1) является ядром Зареченского административного округа, протяженность дорожной сети составляет около 80 км., число зарегистрированных легковых автомобилей - около 38 000 шт. В указанном районе в рамках настоящего диссертационного исследования проведены натурные обследования стоянок и парковок, расположенных на придомовых территориях с целью выявления их влияния на формирование ТП. Результаты обследований позволили провести актуализацию и калибровку базовой транспортной модели загрузки УДС г. Тулы.

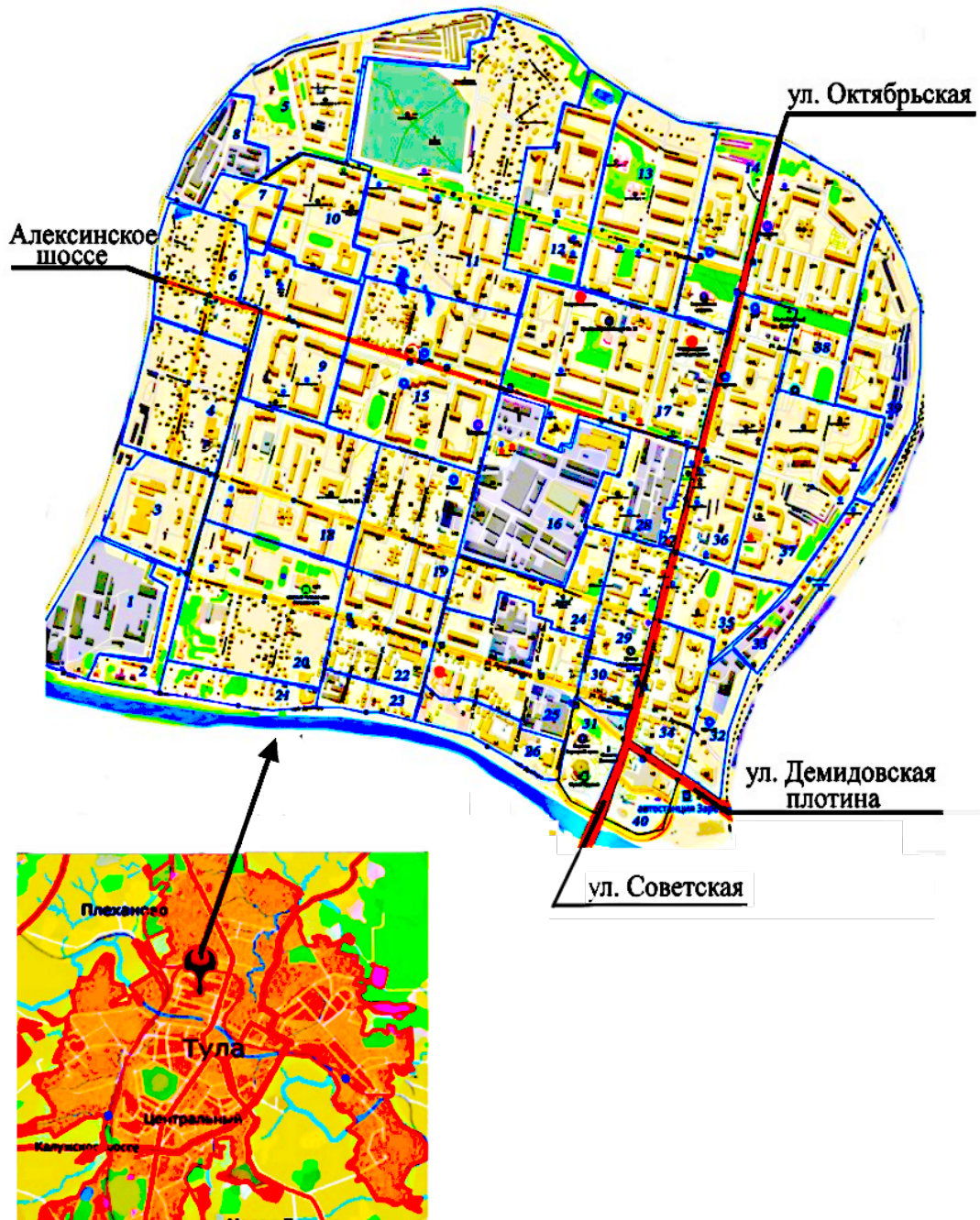


Рис.3.1- Исследуемая территория г. Тулы

3.3.2 Постановка задачи и подготовка исходных данных

Целью данного исследования, которое проводится для условий текущего состояния УДС города и распределения мест работы - проживания населения, является изучение динамики стоянок и парковок, каковыми являются придомовые территории; получение данных об основных параметрах ТП,

которые формируются при поездках жителей районов на работу, учебу и другим культурно-бытовым целям в утренние часы.

Одна из задач заключается в разработке модели УДС с уточненной динамикой источников/стоков транспорта и ее калибровка и валидация. Другая задача состоит определении загрузки УДС с использованием построенной модели и определение повышения точности получаемых решений.

Поставленные задачи решаются на следующих этапах:

- создание графовой модели УДС города, нахождение ее основных параметров и характеристик;
- определение в графовой модели центров отправок (источников) и прибытий (стоков) для ТП;
- построение МК и вычисление ее элементов;
- решение задачи по определению корреспонденций итерационными методами;
- калибровка полученных данных, определение равновесных потоков;
- проведение анализа результатов моделирования и составление рекомендаций и предложений.

Задача решалась с применением ПАК TransNet [6,40,52], алгоритма которого основан на предположении равновесного распределения корреспонденций по транспортной сети. Этот алгоритм описан в работах Дж. Вильсона [16] и В.И. Швецова [60]. Формирование МК производится помощью гравитационной модели.

Выбор TransNet из всего множества комплексов автоматизированного проектирования отечественной и зарубежной разработки, объясняется тем, что существует решение Тульской городской думы от 23 декабря 2016 г. N 33/838 «Об утверждении Генерального плана муниципального образования город Тула (с изменениями на 26 декабря 2018 года)», в котором рекомендуется использовать при обосновании развития транспортной инфраструктуры расчетный именно комплекс TransNet.

Моделирование производится в соответствии со следующими исходными данными [4,21,28]:

- 1.Реальная геометрия УДС.
- 2.Объёмы интенсивности ТП.
- 3.Объёмы интенсивности пассажиропотоков.
- 4.Существующая ОДД, которая включает разметку, знаки, светофорные объекты, парковки и пешеходные переходы и др.;
5. Маршруты движения общественного транспорта с остановочными пунктами.

Для определения объемов отправлений и прибытий исследуемая территория была поделена на 40 районов. Информация о застройке каждого района была получена из карты города, что позволило выявить источники/стоки легкового автотранспорта и построить матрицу отправлений/прибытий для трудовых корреспонденций. Описание застройки и объектов притяжения в транспортных районах приведено в табл. 3.3.

Таблица 3.3 - Описание транспортных районов

№	Центры притяжения	Плотность жилой застройки, %	№	Центры притяжения	Плотность жилой застройки, %
1	Сахарный завод	0	21	Спортивная школа	49
2	Жилая застройка	90	22	Суд, магазины, техникум	68
3	Троллейбусное депо, магазин	47	23	Жилая застройка	69
4	Автосалон	76	24	Кадастровая палата, административные здания, дворец культура, детский сад, прокуратура	85
5	Магазины, детский сад, гаражи	82	25	Производство, административные здания, поликлиника, производственное здание	46
6	Жилая застройка	87	26	Больница, административные здания, банк	62
7	Жилая застройка	82	27	Торговый центр, кафе, магазины	84
8	Производство мебели	0	28	Спорт школа, храм, административные здания, производство	15
9	Магазины, храм	92	29	Магазины, техникум, Административные	85

				здания, экзотариум, торговый центр, школа	
10	Школа, детский сад, магазины	94	30	Административные здания, магазины	77
11	Кладбище, АЗС	61	31	Музей оружия	0
12	Магазины, торговый центр, почта	78	32	Магазины, административные здания	25
13	Детский сад, магазины	82	33	Вокзал, административные здания, мойка, магазины	18
14	Гаражи, административное здание, магазины, сквер, храм, кафе	69	34	Детский центр, магазины, детский сад, административные здания	81
15	Торговый центр, магазины, детский сад, банк, отделение полиции	72	35	Школа, магазины	70
16	Торговый центр, административные здания, завод	0	36	Магазины, детский сад, административные здания	79
17	Школа, больница, детский сад, магазины, полиция, поликлиника, административные здания	78	37	Школа, детский сад, магазины	59
18	Полиция, магазины, детский сад, школа, административные здания	82	38	Школа, детский сад, магазины, АЗС, административные здания	72
19	Административные здания, торговый центр, детский сад, магазины	70	39	Магазины, гаражи	51
20	Магазины, теннисный центр, футбольная секция	82	40	Автостанция, АЗС, административные здания	0
Среднее значение плотности жилой застройки					60,5

Введение дополнительных транспортных районов 41- 44 осуществляется для того, чтобы произвести анализ проезда через город транзитного транспорта. Это въезжающий и выезжающий поток на основе въездов и выездов в соответствии с исследуемой областью. В качестве точек притяжения для данных районов выступают начальные узлы въездов в город.

При создании графовой модели УДС проведено обследование исследуемой территории, заключающееся в определении категорий шоссе, характеристик магистральных и внутрирайонных улиц. Обследование проводилось в сопровождении с видеосъемкой проезжей части улиц и шоссе, анализом пересечений (светофорные элементы с режимом их работы, выявлялись

приоритетные направления передвижений, правила проезда перекрестков и прочее). Категории дорог определялись по существующим нормативным актам [65]. При построении графа УДС были выбраны:

- один основной выезд из города (шоссе), критериями отбора явились: связь с автомобильными дорогами федерального значения, наличие асфальтового покрытия, интенсивность ТП;
- три магистральные улицы - критериями отбора являлись: интенсивность движения, ширина проезжей части, количество полос движения, наличие межрайонных связей;
- 18 улиц внутрирайонного значения, отобранных по следующим параметрам: интенсивность движения, свободная скорость, количество полос движения, наличие точек притяжения и возможности осуществления перемещений к социально-значимым объектам.

В результате выполненных мероприятий, транспортная сеть исследуемой территории г. Тулы представлена в виде графа (рис. 3.2).

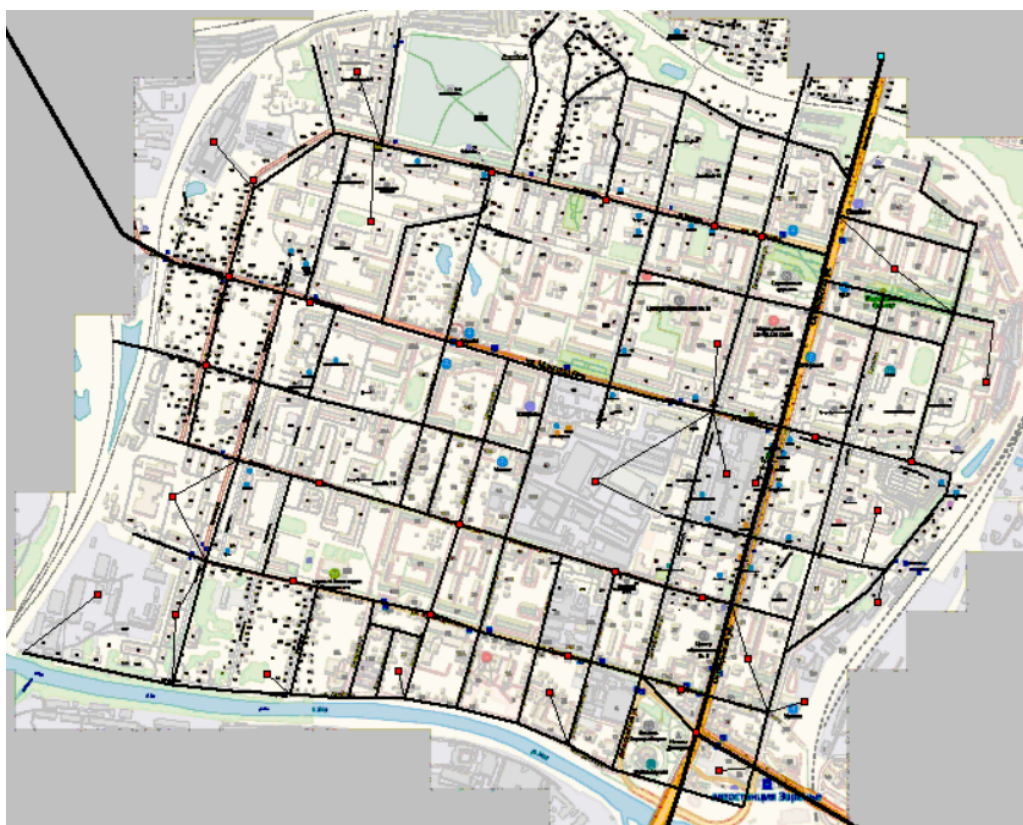


Рисунок 3.2 – Граф транспортной сети исследуемого района

Построение графовой модели производилось по детализированной карте г. Тулы в соответствии с геометрией УДС и масштабом 1:1. Граф УДС разделен на условные транспортные районы, для каждого из них определены центры притяжения (обозначены красными кругами) и связи (показаны тонкими линиями).

3.3.3 Описание алгоритма решения задачи о загрузке УДС

Построение математической модели при проектировании или оптимизации управления ТС любого города предполагает количественную оценку перемещений по транспортной сети, совершаемых участниками движения с различными целями. Способом этой оценки является МК. Кроме этой матрицы необходимо также определить матрицу межрайонных дальностей, для этого используется выражение ценовой функции дуги в виде многочлена 4-й степени следующего вида [1]:

$$c_{ij} = \frac{L}{1000V_0} \cdot 60 \cdot \left(1 + \frac{F}{NF_0}\right)^4 \quad (3.11)$$

где F - поток автотранспорта; L - длина дуги в метрах; V_0 - свободная скорость, км/ч; F_0 - пропускная способность полосы; N - число полос в одном направлении.

Пропускная способность полосы рассчитывается:

$$F_0 = \frac{1000 \cdot V_0}{L_d} \quad (3.12)$$

где L_d - параметр, определяющий расстояние между машинами при различной скорости движения:

$$L_d = l_a + V_0 + 0.03V_0^2 + 1, \quad (3.13)$$

l_a - средняя длина машины, принимается равной 4,5 м; V_0 , (м/с) - свободная скорость, назначается для каждой категории улиц.

Для построения МК использовалась модифицированная гравитационная модель, представляющая ее в следующем виде:

$$\rho_{ij}(t) = A_i B_j Q_i(t) D_j(t) f(c_{ij}), \quad (3.14)$$

где $\rho_{ij}(t)$ - число корреспонденций из зоны i в зону j в утренние часы для отдельного интервала времени; $Q_i(t)$ - полное число отправок из зоны i в утренние часы для отдельного интервала времени; $D_j(t)$ - полное число прибытий в зону j в утренние часы для отдельного интервала времени; C_{ij} - удельные затраты на передвижение из зоны i в зону j . В качестве удельных затрат принимается время, необходимое для того, чтобы добраться по кратчайшему пути; A_i, B_j – балансирующие коэффициенты, находятся из решения системы уравнений:

$$\begin{aligned} A_i &= \left[\sum_{j \in D} B_j D_j f(c_{ij}) \right]^{-1}, \\ B_j &= \left[\sum_{i \in S} A_i Q_i f(c_{ij}) \right]^{-1} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Функция тяготения $f(c_{ij})$ характеризует предпочтение индивидов по перемещению из пункта i в пункт j , для используемого метода распределения потоков имеет вид

$$f(c_{ij}) = \exp\{-\beta c_{ij}\} \quad (3.16)$$

На практике рекомендуется принимается $\beta=0,065$.

Алгоритм вычисления МК с использованием гравитационной модели описан в работе [62].

3.3.4 Калибровка и валидация транспортной модели

Процесс калибровки состоял из настройки общих калибровочных параметров таких как подвижность и функции тяготения, локальной коррекции характеристик элементов транспортной сети, данных о наполнении районов. В ходе калибровки при каждой итерации расчета загрузки УДС изменялся только один параметр и проверялось его влияние на результаты расчета.

Основные характеристики, которые используются для оценки качества модели это зафиксированные натурными обследованиями величины интенсивности ТП в отдельных сечениях УДС. При этом необходимо стремиться

добиться совпадения результатов на сечениях с высокой интенсивностью ТП. Ниже приведены расчеты, выполненные по базовой и предлагаемой методике.

Картограмма загрузки УДС исследуемого района, рассчитанная по базовой методике (используется в работах [1, 9, 97] для построения транспортных моделей других городов) показана на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Картограмма загрузки УДС с 8.00ч. – 9.00ч. полученная по базовой методике

На рис.3.4 показана картограмма загрузки УДС того же района, выполненная по предлагаемой методике с учетом калибровки модели. Калибровка проводилась по результатам натурных обследований для наиболее значимых участков, выполненных сотрудниками ООО «Новые технологии «Тульского государственного университета» [69]. Приведенная на рис.3.4 картограмма имеет следующие характеристики: общее число транспортных средств составляет - 6658 авт.; общая работа, совершаемая всеми участниками движения - 14667 авт.*км; общая длина сети - 79.92 км.



Рисунок 3.4 – Картограмма загрузки УДС района в утренний час «пик» с 8.00 ч. – 9.00 ч, полученная по предлагаемой методике.

На картограмме четко выделяются участки, где отмечалась наибольшая интенсивность передвижения в соответствии с базовыми транспортными проблемами: перекресток ул. Октябрьская - Зареченский мост - ул. Демидовская плотина; ул. Октябрьская; ул. Горького.

Валидация модели путем сравнения результатов натурных обследований, приведенных в работе [69] и выполненных одновременно с разработкой модели, с полученными расчетными по предлагаемой методике значениями интенсивности ТП для некоторых наиболее важных сечений магистральных улиц и улиц межрайонного значения, приведена в табл.3.4 и на рис. 3.5, 3.6.

Таблица 3.4 – Сравнение расчетных (по предлагаемой методике) и наблюдаемых потоков 8.00 ч.-9.00 ч.

№ сече-	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт./ч.		Расхождение		Критерий ГЕН
		от улицы	к улице	факт.	расчет	Δ	%	
1	Пузакова	Демидов-	Октябрьская	662	661	1	0,15	0,04
2	Пузакова	Октябрьская	Демидов-	369	377	-8	2,1	0,41

3	М.Горького	Демидов-	Октябрьская	301	337	-36	12,3	2,01
4	М.Горького	Октябрьская	Демидов-	397	404	-7	1,8	0,35
5	Луначарского	Демидов-	Октябрьская	208	269	-61	29,3	3,72
6	Луначарского	Октябрьская	Демидов-	126	150	-24	19,0	2,04
7	Курковая	Литейная	Луначар-	368	334	34	9,7	1,8
8	Курковая	Луначар-	Литейная	244	268	-24	9,8	1,5
9	Луначарского	Курковая	Ствольная	173	150	23	13,3	1,8
10	Луначарского	Ствольная	Курковая	167	163	4	2,4	0,31

Из табл. 3.2 видно, что максимальное значение GEN равно 5,65 лишь для одного сечения № 5. В практике моделирования считают приемлемым значение GEN статистики менее чем 5 для 85 % случаев.

По результатам расчетов средняя относительная ошибка – $(\delta_p) = 3,73\%$. Рекомендованное значение (δ_p) не должно быть в целом по моделируемой сети более 10%.

Таким образом, можно сделать вывод: модель удовлетворяет требованиям основных статистических критериев.

На рис. 3.5 представлена диаграмма, отображающая рассчитанные и наблюдаемые потоки для каждого из 10 выбранных сечений улиц района. Правый столбец характеризует рассчитанные ТП, левый столбец характеризует наблюдаемые потоки на улицах района.

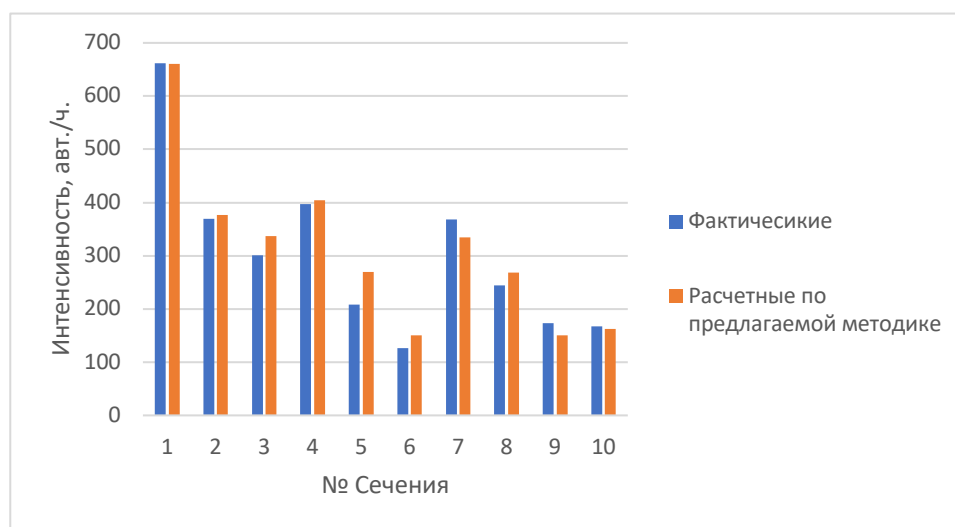


Рисунок 3.5 - Диаграмма потоков расчетных по предлагаемой методике и наблюдаемых 8.00 ч.-9.00 ч.

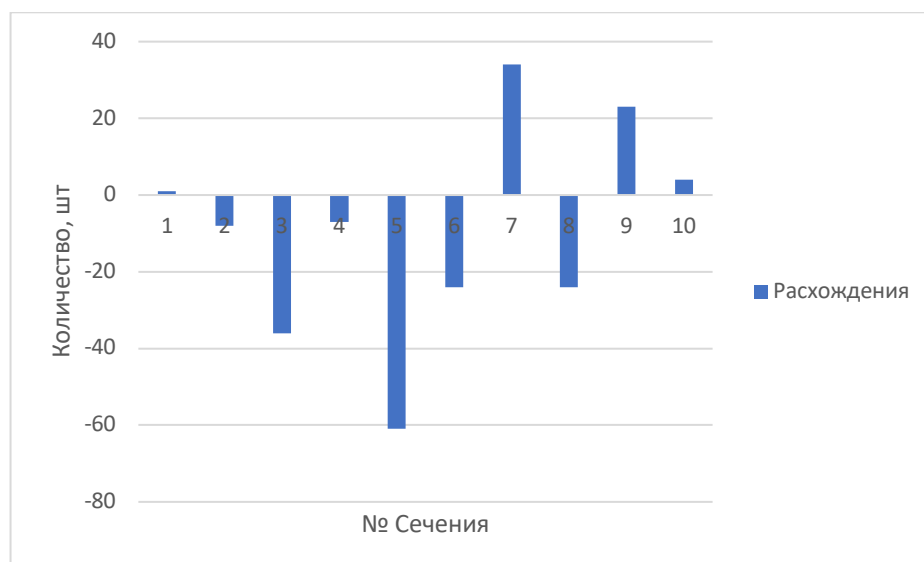


Рисунок 3.6 - Диаграмма расхождения результатов расчетных от наблюдаемых 8.00 ч.-9.00 ч.

На диаграмме, изображенной на рис. 3.6, каждый столбец представляют отклонения проведенных расчетов от натуральных замеров. Только в одном случае максимальное абсолютное расхождение вычислений для магистральных улиц равно 90 автомобилям. Минимальное абсолютное расхождение вычислений для магистральных улиц равно 1 автомобилю. Среднее отклонение рассчитанных потоков от фактических составило 15 автомобилей. Более подробный анализ приведен ниже в пункте 3.2.6.

Расчетные данные и обследования отмечаются расхождениями, что объясняется отсутствием достаточно подробной статистики о том, как распределяются легковые автомобили в соответствии с возрастной категорией и районами города [97]. Такая ситуация негативно отражается на проверке распределений, которые получены через теоретические расчеты на основе эмпирических данных.

Результаты расчетов и наблюдений для остальных интервалов времени обследования приведены в табл. 3.5 – 3.8 и на рис. 3.7 – 3.14.

Таблица 3.5 – Сравнение расчетных и наблюдаемых потоков 6.00 ч.-7.00 ч.

№ сечения	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт/ч		Расхождение	
		от улицы	к улице	факт.	расчет	Δ	%
1	Пузакова	Демидовская	Октябрьская	241	226	15	6,2

2	Пузакова	Октябрьская	Демидовская	115	138	-23	16,7
3	М.Горького	Демидовская	Октябрьская	96	109	-13	11,9
4	М.Горького	Октябрьская	Демидовская	151	144	7	4,6
5	Луначарского	Демидовская	Октябрьская	87	80	7	8,0
6	Луначарского	Октябрьская	Демидовская	41	37	4	9,7
7	Курковая	Литейная	Луначарского	174	163	11	6,3
8	Курковая	Луначарского	Литейная	85	91	-6	6,6
9	Луначарского	Курковая	Ствольная	89	102	-13	12,7
10	Луначарского	Ствольная	Курковая	71	65	6	8,4

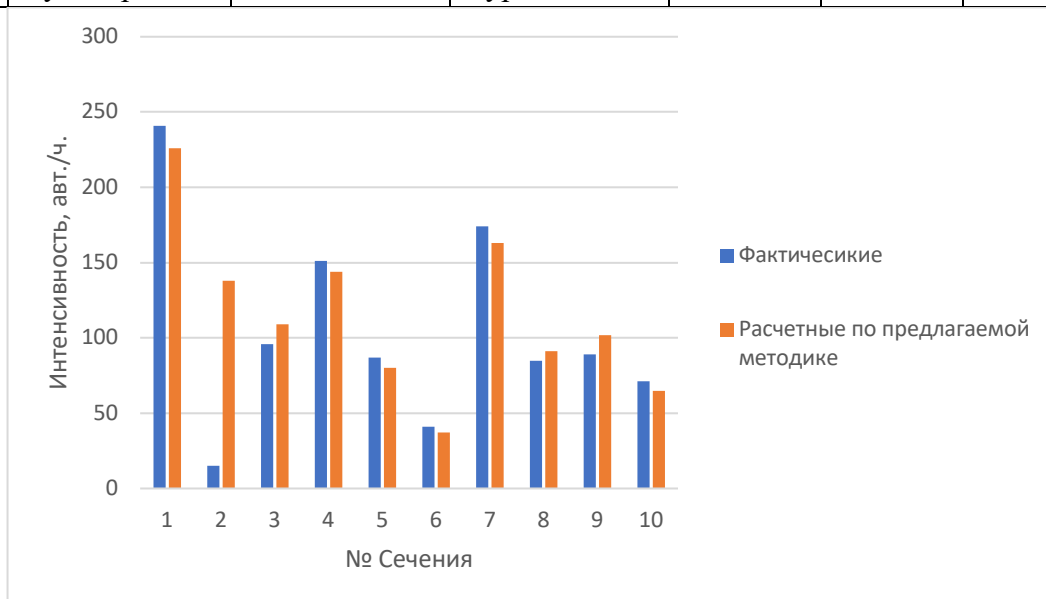


Рисунок 3.7 - Диаграмма потоков расчетных по предлагаемой методике и наблюдаемых 6.00 ч.-7.00 ч.

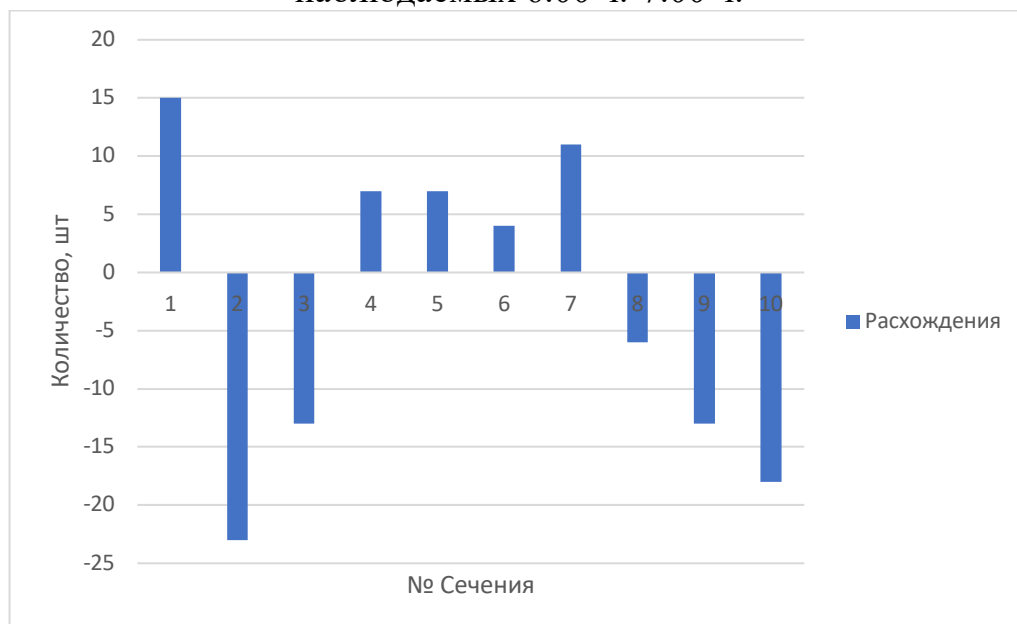


Рисунок 3.8 - Диаграмма расхождения результатов расчетных от наблюдаемых 6.00 ч.-7.00 ч.

Таблица 3.6 – Сравнение расчетных и наблюдаемых потоков 7.00 ч.-8.00 ч.

№ сечения	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт./ч		Расхождение	
		от улицы	к улице	факт.	расчет	Δ	%
1	Пузакова	Демидовская	Октябрьская	497	525	-28	5,3
2	Пузакова	Октябрьская	Демидовская	275	321	-46	14,3
3	М.Горького	Демидовская	Октябрьская	276	252	24	8,7
4	М.Горького	Октябрьская	Демидовская	351	335	16	4,6
5	Луначарского	Демидовская	Октябрьская	197	185	12	6,1
6	Луначарского	Октябрьская	Демидовская	106	86	20	18,9
7	Курковая	Литейная	Луначарского	348	377	-29	7,6
8	Курковая	Луначарского	Литейная	192	213	-21	9,9
9	Луначарского	Курковая	Ствольная	211	237	-26	10,8
10	Луначарского	Ствольная	Курковая	173	151	22	12,7

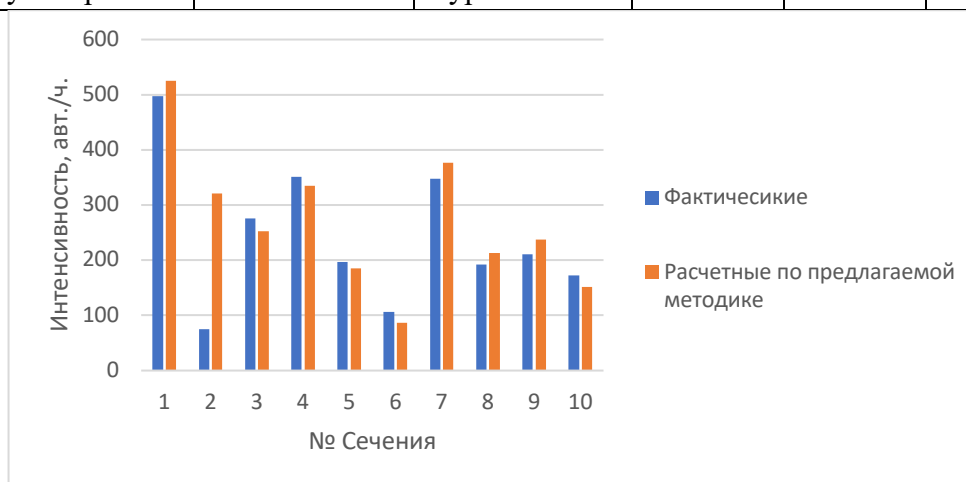


Рисунок 3.9 - Диаграмма потоков расчетных по предлагаемой методике и наблюдаемых 7.00 ч.-8.00 ч.

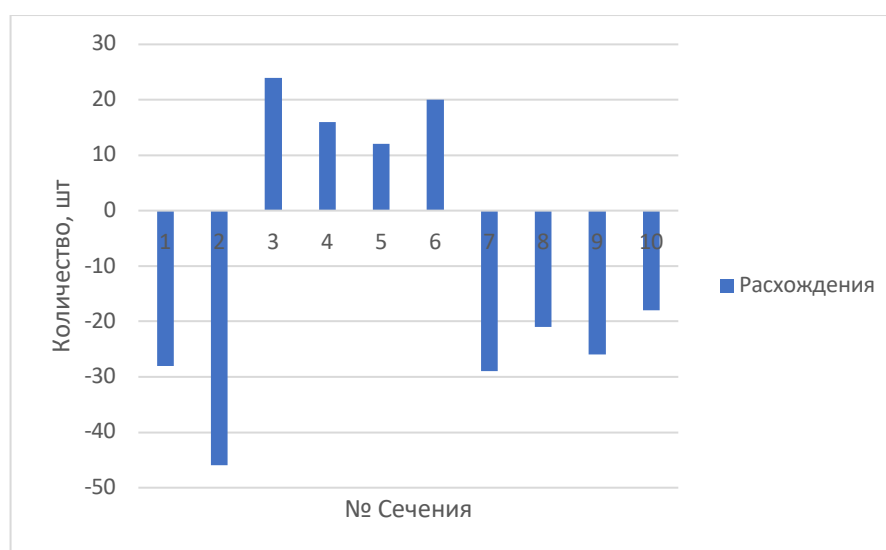


Рисунок 3.10 - Диаграмма расхождения результатов расчетных от наблюдаемых 7.00 ч.-8.00 ч.

Таблица 3.7 – Сравнение расчетных и наблюдаемых потоков 9.00 ч.-10.00 ч.

№ сечения	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт/ч		Расхождение	
		от улицы	к улице	факт.	расчет	Δ	%
1	Пузакова	Демидовская	Октябрьская	583	618	-35	6,0
2	Пузакова	Октябрьская	Демидовская	313	378	-65	20,7
3	М.Горького	Демидовская	Октябрьская	289	295	-6	2,1
4	М.Горького	Октябрьская	Демидовская	386	395	-9	2,3
5	Луначарского	Демидовская	Октябрьская	237	218	19	8,0
6	Луначарского	Октябрьская	Демидовская	126	101	25	19,8
7	Курковая	Литейная	Луначарского	479	444	35	7,3
8	Курковая	Луначарского	Литейная	276	250	26	9,4
9	Луначарского	Курковая	Ствольная	251	279	-28	11,2
10	Луначарского	Ствольная	Курковая	193	178	15	7,7

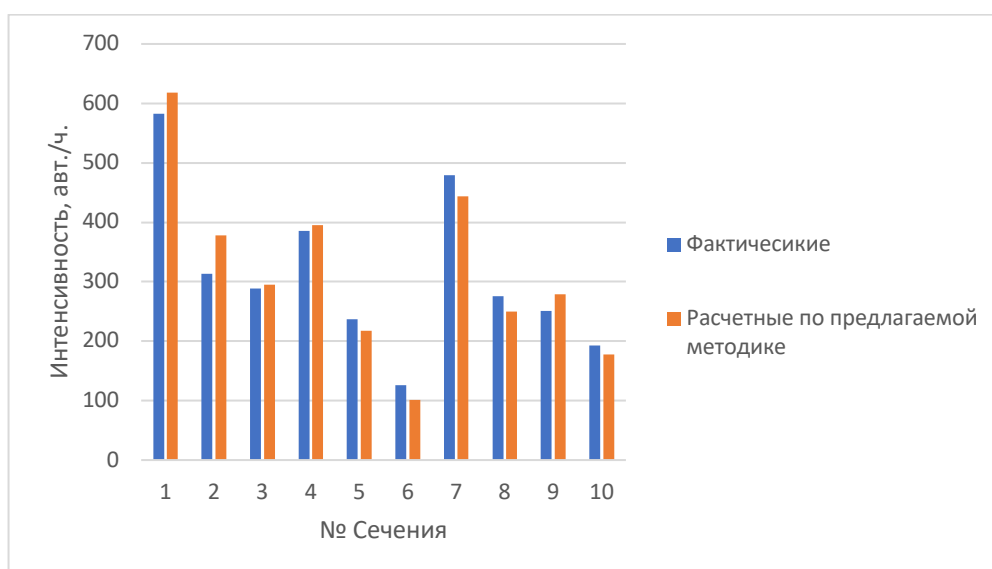


Рисунок 3.11 - Диаграмма потоков расчетных по предлагаемой методике и наблюдаемых 9.00ч.-10.00ч.

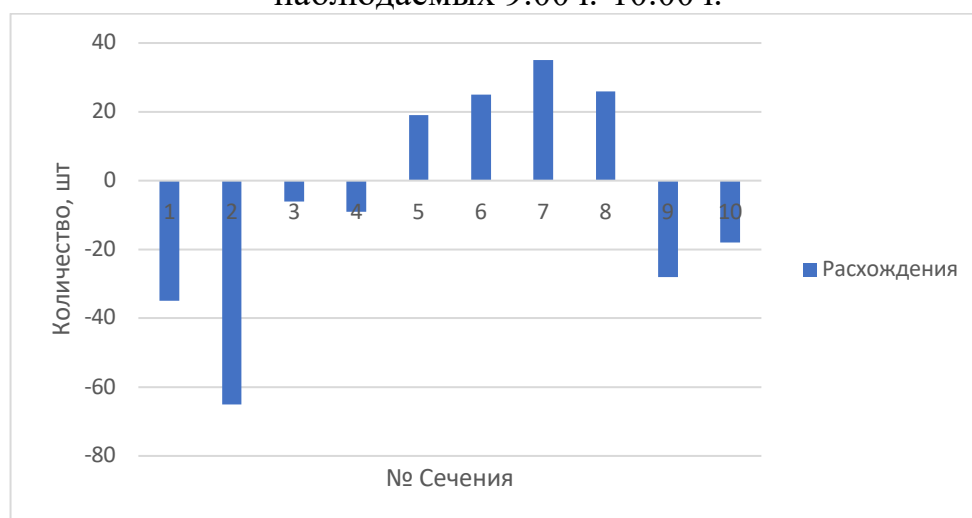


Рисунок 3.12 - Диаграмма расхождения результатов расчетных от наблюдаемых 9.00 ч.-10.00 ч.

Таблица 3.8 – Сравнение расчетных и наблюдаемых потоков 10.00 ч.-11.00 ч.

№ сечения	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт./ч		Расхождение	
		от улицы	к улице	факт.	расчет	Δ	%
1	Пузакова	Демидовская	Октябрьская	456	556	-100	17,8
2	Пузакова	Октябрьская	Демидовская	310	341	-31	9,1
3	М.Горького	Демидовская	Октябрьская	241	267	-26	9,7
4	М.Горького	Октябрьская	Демидовская	338	355	-17	4,8
5	Луначарского	Демидовская	Октябрьская	215	197	18	8,4
6	Луначарского	Октябрьская	Демидовская	112	91	21	18,6
7	Курковая	Литейная	Луначарского	435	399	36	8,3
8	Курковая	Луначарского	Литейная	247	225	22	8,9
9	Луначарского	Курковая	Ствольная	238	251	-13	5,2
10	Луначарского	Ствольная	Курковая	179	160	19	10,6

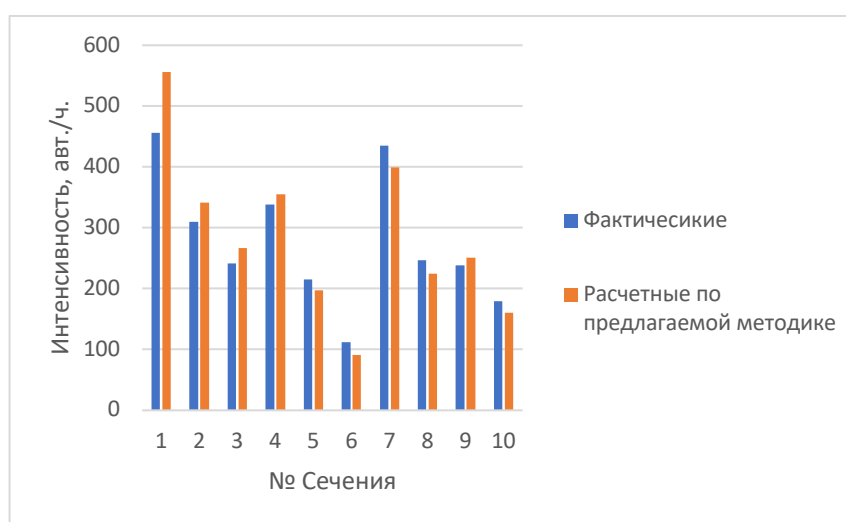


Рисунок 3.13 - Диаграмма потоков расчетных по предлагаемой методике и наблюдаемых 10.00 ч.-11.00 ч.

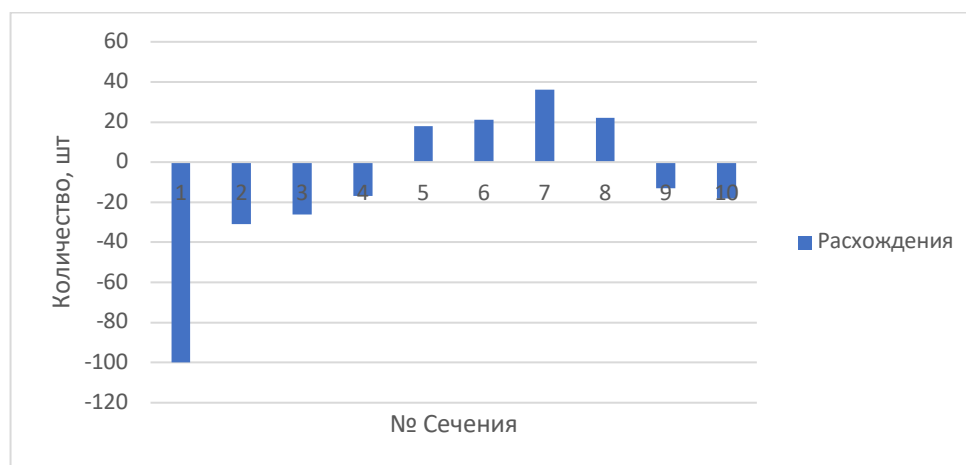


Рисунок 3.14 - Диаграмма расхождения результатов расчетных от наблюдаемых 10.00 ч.-11.00 ч.

3.3.5 Анализ полученных результатов

Для проверки предложенной закономерности распределения интенсивности ТП в утренние часы на УДС г. Тулы в табл.3.9 и на рис.3.15 – 3.17 приведено сравнение фактических результатов интенсивности ТП по предлагаемой методике с расчетными значениями.

Таблица 3.9 - Результаты наблюдений интенсивности ТП за период с 6.00 ч. до 11.00 ч. (авт./ч.)

№ сечения	6.00-7.00		7.00-8.00		8.00-9.00		9.00-10.00		10.00-11.00		Итого
	факт.	%	факт	%	факт	%	факт	%	факт	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	241	9,9	497	20,4	662	27,1	583	23,9	456	18,7	2439
2	115	8,3	275	19,9	369	26,7	313	22,6	310	22,4	1382
3	96	7,9	276	22,9	301	25,2	289	24	241	20	1203
4	151	9,3	351	21,6	397	24,4	386	23,8	338	20,8	1623
5	87	9,2	197	20,9	208	22,1	237	25	215	22,8	944
6	41	8,0	106	20,7	126	24,7	126	24,7	112	21,9	511
7	174	9,2	348	18,5	450	23,9	479	25,4	435	23,0	1886
8	85	8,1	192	16,2	244	23,8	276	26,4	247	23,6	1044
9	89	8,7	211	20,6	237	24,0	251	24,4	238	23,2	1026
10	71	9,0	173	22,1	167	21,3	193	24,6	179	22,8	783

Примечание: в колонках 3, 5, 7, 9, 11 приведена интенсивность ТП в % от суммарного количества в строке

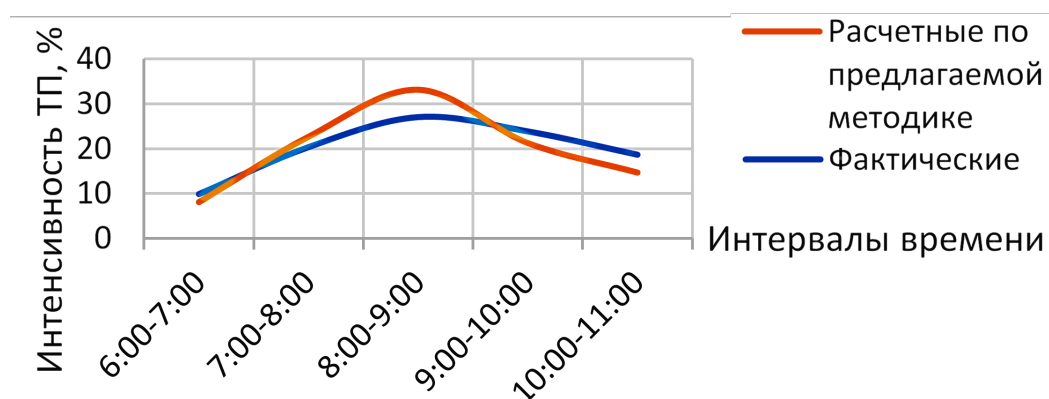


Рисунок 3.15 – Графики фактических и расчетных по предлагаемой методике значений интенсивности ТП для сечения 1 (ул. Пузакова от ул. Демидовская к ул. Октябрьская)

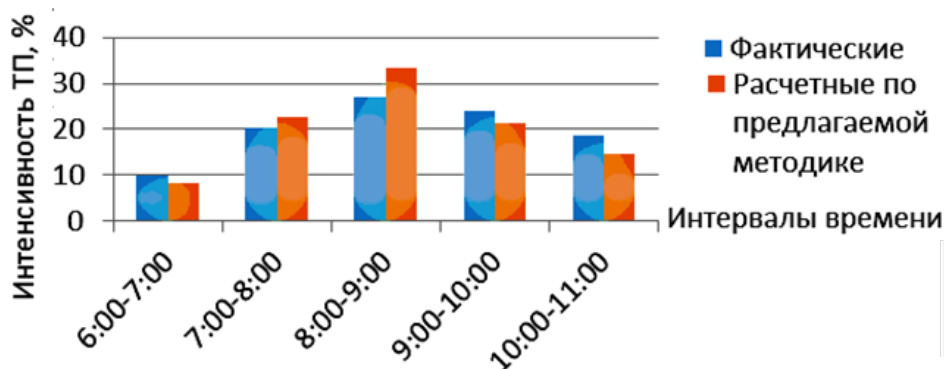


Рисунок 3.16 – Диаграмма фактических и расчетных по предлагаемой методике значений интенсивности ТП для сечения 1 (ул. Пузакова от ул. Демидовская к ул. Октябрьская)

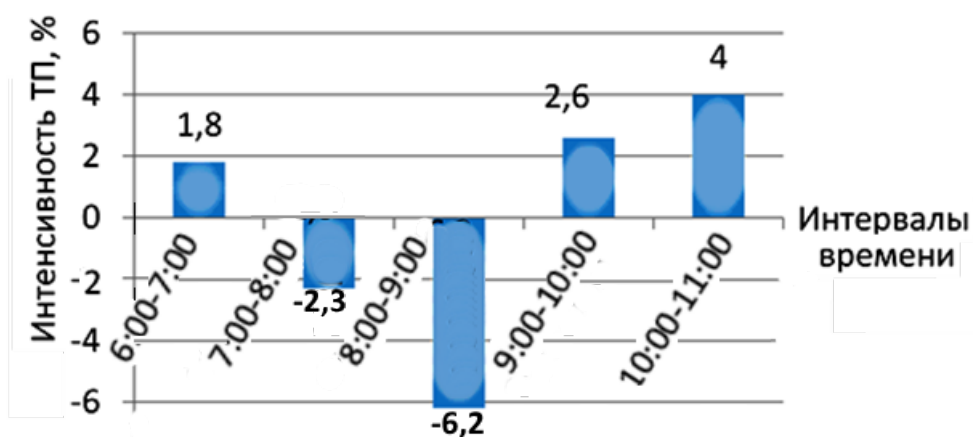


Рисунок 3.17 – Диаграмма расхождения результатов интенсивности ТП для сечения 1 (ул. Пузакова от ул. Демидовская к ул. Октябрьская)

Сравнение показало, что в сечении 1 отклонение наблюдаемых значений интенсивности ТП от предлагаемых расчетных составляет для интервалов времени с

6.00 ч. до 7.00 ч. – 1,8%;

7.00 ч. до 8.00 ч. – - 2,3%;

8.00 ч. до 9.00 ч. – - 6,2%;

9.00 ч. до 10.00 ч. – 2,6%

10.00 ч. до 11.00 ч. – 4,0%;

Наибольшее превышение расчетного значения интенсивности ТП над наблюдаемым имеет место для интервала времени с 8.00 ч. до 9.00 ч. – 6,2%.

Приведенное сравнение показало, что предлагаемая во втором разделе зависимость распределения интенсивности ТП в утренние часы на УДС г.

Тулы обеспечивает с точность порядка 94% совпадения с наблюдаемыми данными. Таким образом, можно сделать заключение, что выдвинутая предполагаемая зависимость пропорциональности интенсивности ТП в утренние часы на УДС количеству автомобилей, покинувших придомовые стоянки – подтверждается.

Для сечений 3 и 5 результаты соответствуют выводам, сделанным для сечения 1. Графики значений интенсивности ТП для них приведены на рис. 3.18 и 3.19.

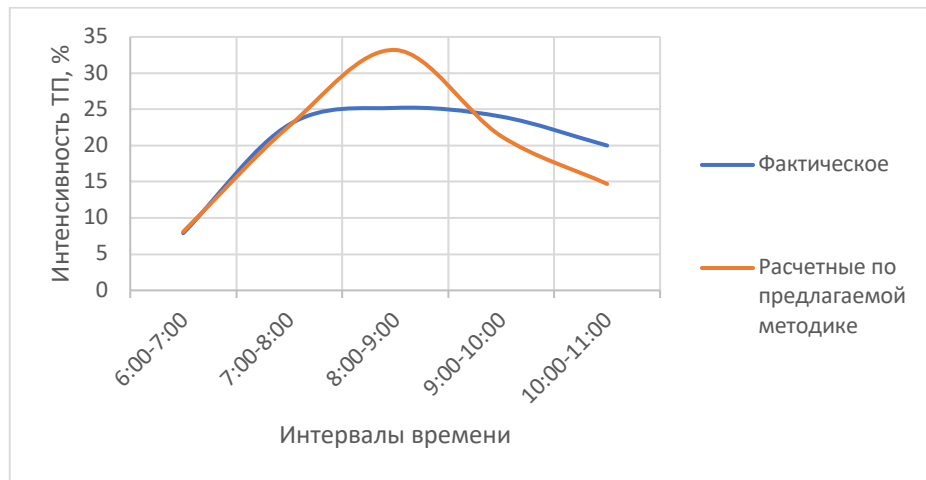


Рисунок 3.18 – Графики фактических и расчетных по предлагаемой методике значений интенсивности ТП для сечения 3 (ул. М. Горького, от ул. Демидовская к ул. Октябрьская)

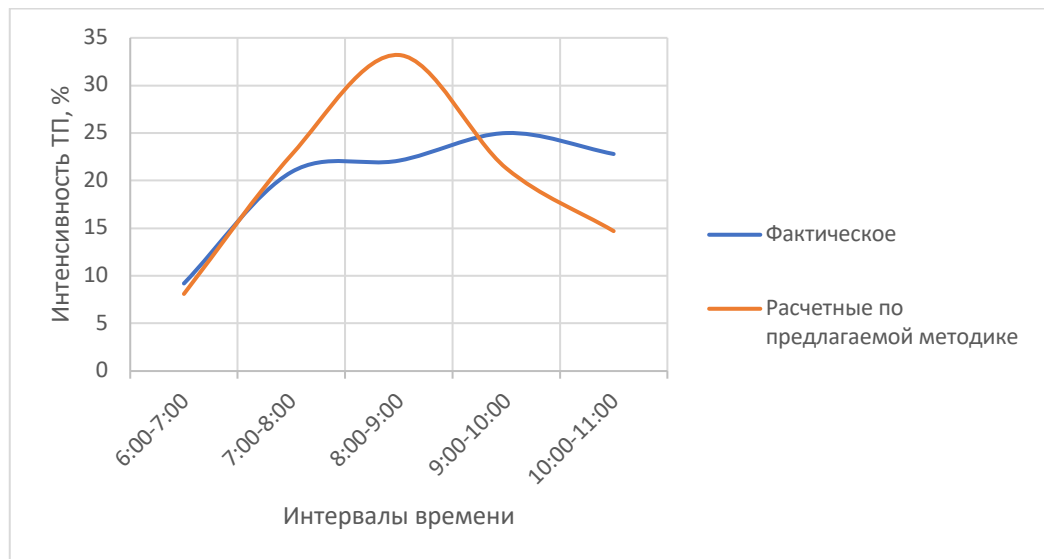


Рисунок 3.19 – Графики фактических и расчетных по предлагаемой методике значений интенсивности ТП для сечения 5 (ул. Луначарского, от ул. Демидовская к ул. Октябрьская)

3.3.6 Сравнение результатов расчетов по базовой и предлагаемой методике

Сравнение результатов натуральных обследований [69] и расчетных значений интенсивности ТП, полученных по базовой методике, показано в табл.3.9.

Таблица 3.9 – Сравнение результатов расчетов (по базовой методике) и наблюдаемых потоков 8.00 ч.-9.00 ч

№ сече-	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт./ч.		Расхождение		Критерий GEN
		от улицы	к улице	факт.	базовая	Δ	%	
1	Пузакова	Демидов-	Октябрьская	662	546	116	17,5	4.72
2	Пузакова	Октябрьская	Демидов-	369	379	-10	2,7	0.52
3	М. Горького	Демидов-	Октябрьская	301	315	-14	4,6	0.8
4	М. Горького	Октябрьская	Демидов-	397	399	-2	0,5	0.1
5	Луначарского	Демидов-	Октябрьская	208	177	31	14,9	2.23
6	Луначарского	Октябрьская	Демидов-	126	124	2	1,6	0.18
7	Курковая	Литейная	Луначар-	368	297	71	19,3	3.89
8	Курковая	Луначар-	Литейная	244	237	7	2,9	0.45
9	Луначарского	Курковая	Ствольная	173	123	50	28,9	4.11
10	Луначарского	Ствольная	Курковая	167	121	46	27,5	3.83

Графическое сравнение данных натуральных обследований с результатами расчетов по базовой и вновь предлагаемой методике (табл. 3.9) приведено на рис.3.20, 3.21.

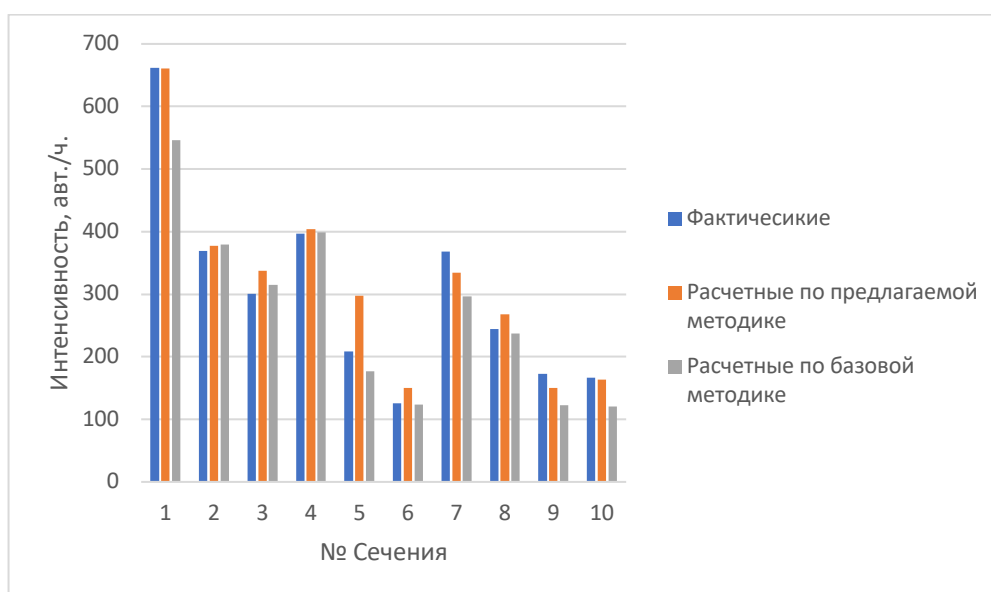


Рисунок 3.20 - Диаграмма потоков расчетных и наблюдаемых 8.00 ч.-9.00 ч.

Представленная на рис. 3.20 диаграмма, отображает потоки рассчитанные по базовой, предлагаемой методике и фактические, полученные путем натуральных обследований в работе [69] для 10 выбранных сечений улиц района. Правый столбец показывает ТП, рассчитанные по базовой методике, средний столбец характеризует потоки, вычисленные по предлагаемой методике, а левый – фактические ТП.

Из сравнения следует, что базовая методика в 70% случаев дает заниженные результаты (от 1,6% до 27,5%) по отношению к фактическим. Среднее уменьшение потоков над фактическими составило 46 автомобилей. Результаты предлагаемой методики более близки к действительным, превышают их в 60% случаев (от 1,8% до 43,2%). Среднее увеличение потоков над фактическими составляет 31 автомобиль.

Среднее значение статистического критерия ГЕН: для базовой методики - 2,83; для предлагаемой – 1,59, что на 43,9% точнее.

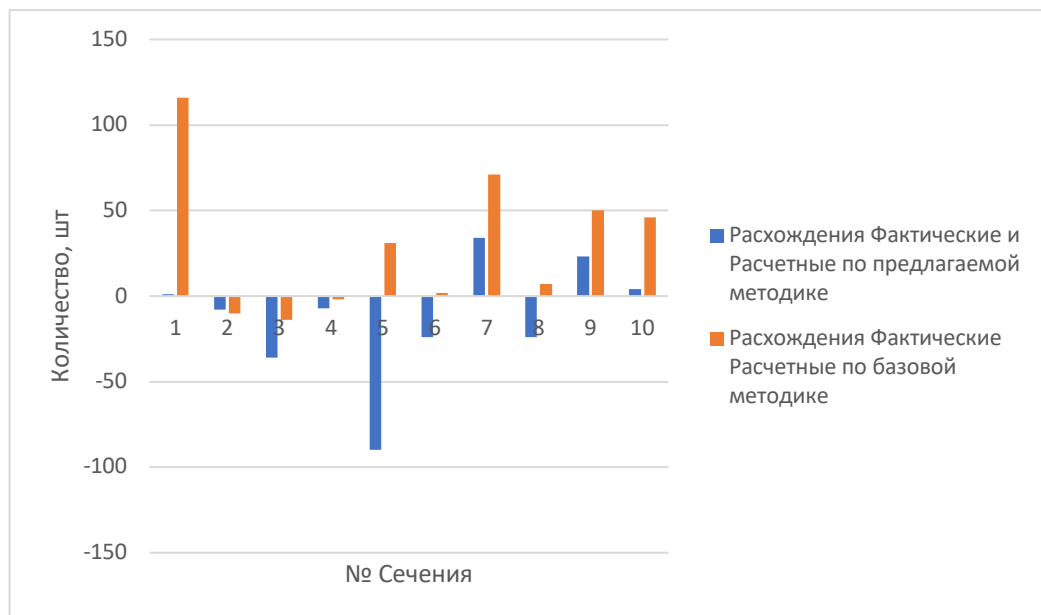


Рисунок 3.21 - Диаграмма расхождения результатов расчетов от наблюдаемых 8.00 ч.-9.00 ч.

На диаграмме, изображенной на рис. 3.21, каждый столбец представляет расхождения результатов проведенных расчетов над фактическими значениями. Максимальное абсолютное расхождение вычислений равно: 116 автомобилей – по базовой методике (меньше на 17,5%); 90 автомобилей – по

предлагаемой (превышение на 43,2%). Минимальное абсолютное расхождение составляет 2 и 1 автомобиль соответственно.

Из результатов анализа следует, что корректировка исходных данных за счет ТП, формирующихся на придомовых территориях, дает увеличение загрузки магистральных улиц района в среднем на 12,3%. Есть полное основание считать, что уточнение исходных данных в предлагаемой усовершенствованной методике, таких как: объемов корреспонденций, учет всех элементов УДС, увеличение наблюдений за автотрафиком, позволит получить более полную и достоверную картину загрузки УДС города, повысить точность прогнозов. Необходимо отметить, что по обеим методикам реализуются одни и те же условия вычислительного эксперимента: одна и та же УДС, исследуемая территория, время исследования, число условных транспортных районов и пр.

3.3.7 Применение разработанной методики для прогнозирования загрузки УДС Зареченского округа после строительства нового мостового перехода через р. Упа

Предлагаемая уточненная методика позволяет составлять прогнозы загрузки УДС при выполнении различных мероприятий по совершенствованию транспортной сети города. Одним из таких мероприятий является строительство нового моста через р. Упа.

Исторически сложилось так, что в районе Сахарного завода г. Тулы еще в 19-ом веке существовал мост через р. Упа. Не отказалось от постройки аналогичного мостового перехода и нынешнее поколение. В рамках Постановления Администрации г. Тулы №800 от 15.03.2019 г. сотрудниками ООО «Тулаоборонстрой» выполнен проект с проработкой четырех вариантов мостового перехода, связывающего ул. Мосина и ул. Наб. Дрейера с выходом на ул. Курковая. Рассмотрим вариант модели городской ТС с введением в эксплуатацию указанного мостового перехода для этого в цифровую модель внесем следующие изменения (рис. 3.22):

- добавим мостовой переход от кольцевого пересечения в виде 4-х полосного съезда с двумя полосами движения в сторону ул. Павшинский мост и двумя полосами для въезда со стороны ул. Мосина;
- для модели используем 2 полосы движения в сторону кольцевого пересечения и 2 полосы в сторону ул. Курковая;
- ул. Наб. Дрейера на всем протяжении и ул. Курковая на участке от ул. Наб. Дрейера до ул. Луначарского – реконструированы.

Как будет выглядеть спроектированный мостовой переход показано на рис. 3.23.

В результате расчета для условий, описанных выше, получены картограммы загрузки УДС автотранспортом (рис. 3.24 и 3.25).

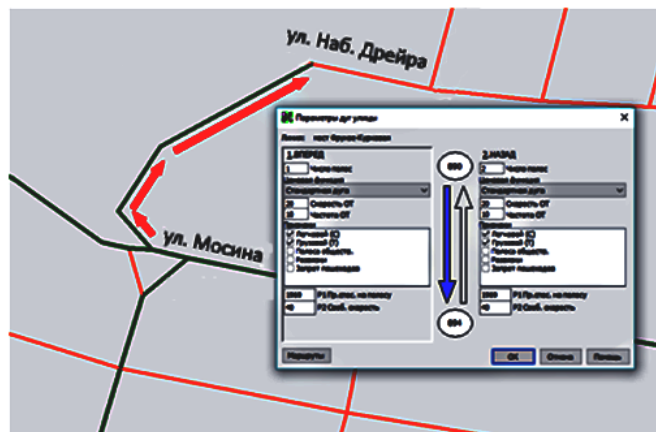


Рисунок 3.22– Схема мостового перехода через р. Упа ул. Мосина – ул. Наб. Дрейера



Рисунок 3.23 – Вид на мостовой переход



Примечание: числа на картограммах обозначают интенсивность ТП на дугах графовой модели

Рисунок 3.24 - Картограммы загрузки УДС в утренний «час пик», полученные по базовой методике: а) без моста; б) с мостом



Примечание: числа на картограммах обозначают интенсивность ТП на дугах графовой модели

Рисунок 3.25 - Картограммы загрузки УДС в период с 8.00 ч. до 9.00 ч., полученные по предлагаемой методике: а) без моста; б) с мостом

Сравнение результатов изменения загрузки приведено в табл. 3.10 и 3.11 и на рис. 3.26 и 3.27.

Таблица 3.10 – Сравнение интенсивности ТП, рассчитанных по базовой методике без моста и с мостом

№ сечения	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт./ч		Изменение Δ
		от улицы	к улице	без моста	с мостом	
1	Дрейера	Курковая	Пороховая	145	219	74
2	Дрейера	Пороховая	Курковая	230	229	-1
3	Курковая	Луначарского	Дрейера	157	319	153
4	Курковая	Дрейера	Луначарского	183	276	93
5	Комсомольская	Луначарского	Дрейера	93	108	15
6	Комсомольская	Дрейера	Луначарского	41	122	81
7	Демидовская	Луначарского	Дрейера	25	78	53
8	Демидовская	Дрейера	Луначарского	13	25	12
9	Зареченский	Район 43	Демидовская	1367	768	-599
10	Зареченский	Демидовская	Район 43	1464	743	-721
11	Курковая	Литейная	Арсенальная	397	381	-16
12	Курковая	Арсенальная	Литейная	376	354	-22
13	Галкина	Луначарского	Ряжская	571	397	-174
14	Галкина	Ряжская	Луначарского	205	211	6

Таблица 3.11 – Сравнение интенсивности ТП, рассчитанных по предлагаемой методике без моста и с мостом

№ сечения	Название улицы	Направление движения		Интенсивность, авт./ч		Изменение Δ
		от улицы	к улице	без моста	с мостом	
1	Дрейера	Курковая	Пороховая	154	242	88
2	Дрейера	Пороховая	Курковая	242	240	-2
3	Курковая	Луначарского	Дрейера	166	337	171
4	Курковая	Дрейера	Луначарского	189	291	102
5	Комсомольская	Луначарского	Дрейера	106	119	13
6	Комсомольская	Дрейера	Луначарского	39	123	84
7	Демидовская	Луначарского	Дрейера	24	87	63
8	Демидовская	Дрейера	Луначарского	15	30	15
9	Зареченский	Район 43	Демидовская	1292	835	-457
10	Зареченский	Демидовская	Район 43	1628	810	-818
11	Курковая	Литейная	Арсенальная	416	397	-19
12	Курковая	Арсенальная	Литейная	389	363	-26
13	Галкина	Луначарского	Ряжская	558	394	-164
14	Галкина	Ряжская	Луначарского	208	210	2

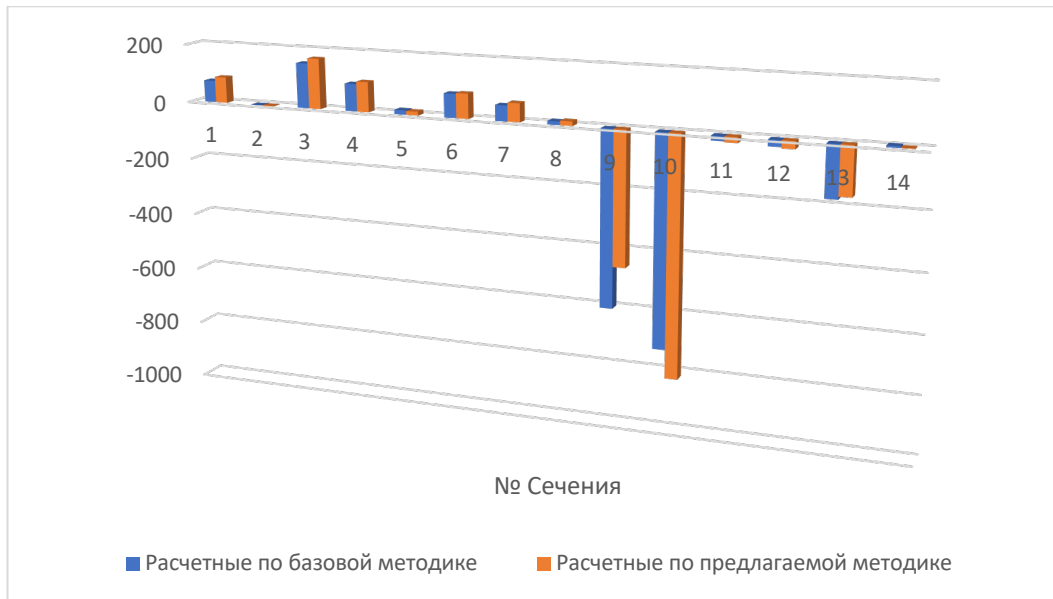


Рисунок 3. 26 - Диаграмма изменений ТП, рассчитанных по базовой и предлагаемой методике для транспортной сети без моста и с мостом

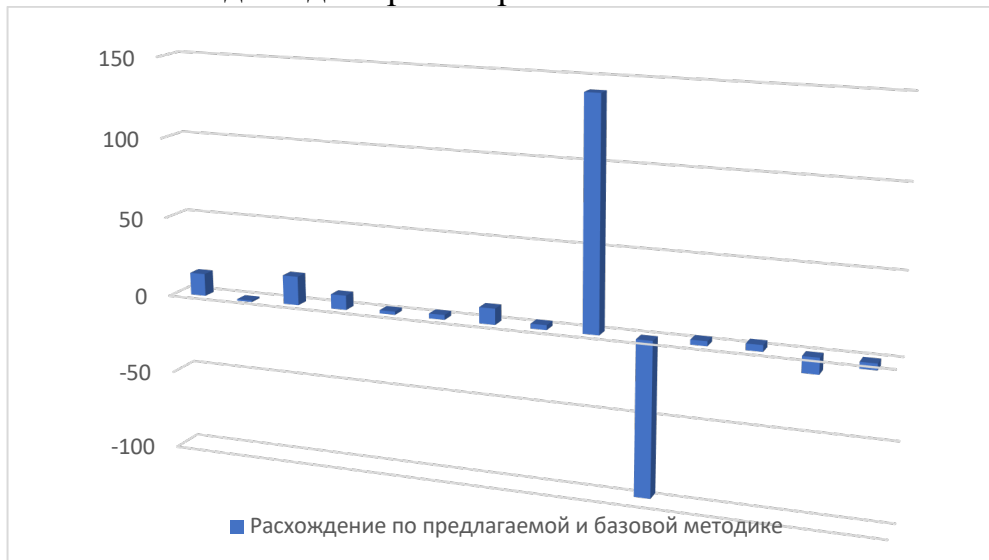


Рисунок 3.27 - Диаграмма расхождения изменений ТП, рассчитанных по базовой и предлагаемой методике для сети без моста и с мостом

Из приведенных результатов расчетов следует, что интенсивность прогнозируемых ТП, приходящаяся на Зареченский мост, а это самая проблемная точка УДС г. Тулы, уменьшилась бы от 35% до 50%, т.е. на этом участке удалось решить проблему пробок и заторов. Транспортная нагрузка на ул. Наб. Дрейера выросла бы практически в 2 раза, а на отдельных участках ул. Курковая – от 40% до 80%. На 25% - 33% разгрузилась ул. Галкина, проходящая через жилой массив. Движение автотранспорта по главной магистрали

Зареченского округа ул. Октябрьская на участке от ул. Наб. Дрейера до ул. Пузакова уменьшилось бы на 22% - 28%.

Из рис.3.27 следует, что минимальное расхождение результатов изменения интенсивности ТП, рассчитанных по базовой и предлагаемой методике, составляет 3,3%, а максимальное – 23,7%, среднее значение расхождений - 12.7%.

Динамический характер предлагаемой методики позволяет также составлять прогноз интенсивности ТП на отдельных участках городской УДС для разных интервалов времени (табл. 3.12 и рис. 3.28).

Таблица 3.12 – Прогнозируемая интенсивность ТП для УДС без моста и с мостом в период времени с 6.00 ч. до 11.00 ч. (авт./ч)

№ и адрес сечения	6.00-7.00		7.00-8.00		8.00-9.00		9.00-10.00		10.00-11.00	
	без мост	с мост	без мост	с мост	без мост	с мост	без мост	с мост	без мост	с мост
1.Наб. Дрейера от Курковой до Пороховой	41	63	98	170	154	242	117	177	81	135
2.Курковая от Луначарского до Наб. Дрейера	46	87	115	229	166	337	124	161	93	135
3.Курковая от Наб. Дрейера до Луначарского	53	79	131	204	189	291	140	207	99	151
4.Галкина от Луначарского до Ряжская	147	98	372	273	558	394	412	291	298	217

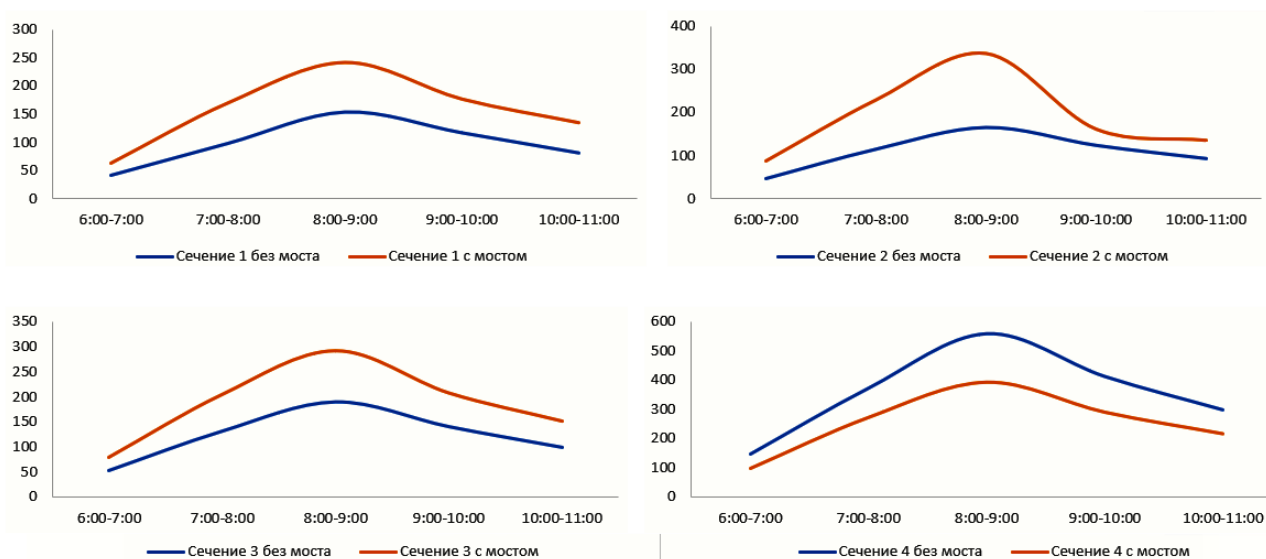


Рисунок 3.28 – Графики прогнозируемой интенсивности ТП на УДС без моста и с мостом через р. Упа для сечений 1 – 4 (см. табл. 3.12)

Приведенный пример показывает, что результаты, полученные по предлагаемой уточненной методике, в 86% - 93% случаев на 12% - 17% выше, чем результаты, полученные по базовой методике.

Таким образом, строительство дополнительного моста через р. Упа позволило бы решить задачи транспортного, социально-экономического, экологического и др. характера. Предложенное мероприятие по повышению эффективности работы городской транспортной сети подтвердило необходимость совершенствования методов моделирования, что достигается применением предлагаемой методики.

3.4 Выводы по главе 3

1. Разработана модель УДС города с уточненной динамикой источников-стоков транспорта, а также выполнена ее калибровка и валидация.
2. Решена задача о загрузке УДС с использованием построенной модели, что позволило получить более достоверную картину распределения ТП и других параметров состояния УДС в утренние «часы пик».
3. Повысить точность получаемых решений: среднее значение статистического критерия GEN: для базовой методики - 2,83; для предлагаемой – 1,59, что на 43,9% точнее.
4. Подтверждено предположение о пропорциональности интенсивности ТП в утренние часы на УДС г. Тулы количеству автомобилей, покинувших придомовые стоянки.
5. Предложенные мероприятия по повышению эффективности работы городской транспортной сети подтвердили необходимость совершенствования методов моделирования, интенсивность ТП, рассчитанная по предлагаемой уточненной методике, в 86% - 93% случаев на 12% - 17% превышает результаты, полученные по базовой методике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании решены все поставленные выше задач и достигнута сформулированная цель, что подтверждается следующими результатами и выводами.

1. Выполненный анализ теоретических и экспериментальных работ, связанных с исследованиями источников и стоков транспортных средств, показал актуальность выбранной темы диссертационной работы.

2. Разработанная программа экспериментальных исследований динамики функционирования источников-стоков транспорта, основанная на применении ультразвуковых детекторов транспорта и визуальных наблюдений, позволила получить достоверную информацию о характеристиках придомовых стоянок и парковок автомобилей.

3. По результатам проведенных обследований и обработки экспериментальных данных наблюдений:

- определены центры притяжения ТП и их расстояния до обследуемых дворовых территорий;
- установлено, что до 57% от общего числа легковых автомобилей на УДС г. Тулы в утренний «час пик» выезжают с «ночных» парковок, расположенных на придомовых территориях;
- установлено что, суммарный выезд с 7:00ч до 9.00ч составляет примерно 50% - 55% от числа припаркованных автомобилей;
- установлено, что выезд автомобилей из придомовых стоянок по интервалам времени составляет: с 6.00 ч. до 7.00 ч. – 8,3%; с 7.00 ч. до 8.00 ч. – 21,1%; с 8.00 ч. до 9.00 ч. – 30,2%; с 9.00 ч. до 10.00 ч. – 22,0%; с 10.00 ч. до 11.00 ч. – 18,4% от общего числа припаркованных автомобилей;
- получена зависимость распределения интенсивности ТП в утренние часы на УДС г. Тулы для моделирования потоков в источниках/стоках транспорта;

4. Разработана модель УДС города с уточненной динамикой источников-стоков транспорта, а также выполнена ее калибровка и валидация.

5. Решена задача о загрузке УДС с использованием построенной модели, что позволило получить более достоверную картину распределения ТП и других параметров состояния УДС в утренние часы.

6. Повышена точность получаемых решений: среднее значение статистического критерия GEN: для базовой методики - 2,83; для предлагаемой – 1,59, что на 43,9% точнее.

7. Подтверждено предположение о пропорциональности интенсивности ТП в утренние часы на УДС г. Тулы количеству автомобилей, покинувших придомовые стоянки.

8. Предложенные мероприятия по повышению эффективности работы городской транспортной сети подтвердили необходимость совершенствования методов моделирования, интенсивность ТП, рассчитанная по предлагаемой уточненной методике, в 86% - 93% случаев на 12% - 17% превышает результаты полученные по базовой методике.

9. Предложены методы научно-методического характера. Чтобы разработать нелинейную динамическую математическую модель развития АТС города, которая выстраивает сетевую модель УДС г. Тулы с уточненной динамикой источников/стоков транспорта. Проведен анализ модели, позволяющей выполнять прогнозные расчеты изменения состояния ТС города.

10. Формирование способа, чтобы повысить эффективность эксплуатации ТС города на основе разработки научно-методических подходов, учитывающей закономерности и нелинейные динамические свойства автотранспортной системы. Использование предлагаемой усовершенствованной модели, повысило точность получаемых результатов при решении задачи о загрузке УДС города.

11. Результаты исследования реализованы при поддержке гранта РФФИ 19-48 – 710015\19 для создания транспортной системы моделирования транспортных потоков в г. Туле с помощью системы программно-аналитического комплекса «TransNet» ver.1.1.

12. Достоверность и обоснованность теоретико-методических положений полученных результатов работы, их научная, практическая значимости подтверждаются использованием при разработке сетевой модели УДС г. Тулы и в учебном процессе Тульского государственного университета.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТС	— автотранспортная система
МК	— матрица корреспонденций
ОДД	— организация дорожного движения.
ТП	— транспортный поток.
ТС	— транспортная система.
УДС	— улично-дорожная сеть.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Агуреев А.И.** Моделирование загрузки улично-дорожной сети г. Тулы / И. Е. Агуреев, В.А. Пышный, В.И., Швецов. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. - вып. 6. Ч.2. – С.112-138.
2. **Агуреев И. Е.** Динамическая модель транспортной макросистемы / И. Е. Агуреев, А. Е. Богма, В. А. Пышный. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2013. - вып. 6. Ч.2. - С. 139-145.
3. **Агуреев И.Е.** Закономерности влияния капитальных вложений в развитие улично-дорожной сети на характеристики транспортных процессов / И. Е. Агуреев, В.А. Пышный, В.И. – Текст: непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. -2013.- №4(38). - С.79-87.
4. **Агуреев И. А.** Подготовка и обработка исходных данных для математического моделирования автомобильных транспортных систем / И. Е. Агуреев, В.А. Митюгин, Пышный, В.И. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ. Технические науки. - 2014. вып. 6. - С.119-127.
5. **Агуреев И.Е.** Вопросы управления городскими транспортными системами / И. Е. Агуреев, В. А. Пышный, Л.Е. Кущенко, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова. – Текст: непосредственный // Современные социально-экономические процессы: проблемы, закономерности, перспективы. 2017. - С. 72-94.
6. **Алиев А.С.** Моделирование транспорта / А.С. Алиев, Ю.С. Попков, В.И. Швецов. – Текст: непосредственный // Компьютерные модели развития города. СПб.: Наука, - 2003. - С. 78–89.
7. **Алиев А.С.** Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к московской агломерации / А.С. Алиев, А.И. Стрельников, В.И. Швецов, Ю.З. Шершевский. – Текст: непосредственный // Автоматика и Телемеханика №11. - 2005. - С. 13 – 25.
8. **Алиев А.С.** Модель транспортных потоков на основе 4-шаговой схемы с учетом цепочек передвижений / А.С. Алиев, Д.С. Мазурин, В.И.

- Швецов. – Текст: непосредственный // Труды ИСА РАН. Т. 65, №1. - 2016. - С. 115-138.
9. **Алиев, А.С.** Структура комплексной модели транспортной системы г. Москвы / Д.С. Мазурин, Д.А. Максимова, В.И. Швецов. – Текст: непосредственный // Труды ИСА РАН. Т. 65, № 1. – 2015. - С3–15.
 10. **Андреева Н.А.** Натурное измерение интенсивности движения на автомобильных дорогах Кемеровской области / Н.А. Андреева, А.С. Березин, Л.С. Жданов. – Текст: непосредственный // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2005. № 2. С. 130 - 135.
 11. **Астратов О.С.** Видеомониторинг транспортных потоков / О.С. Астратов, В.Н. Филатов, Н.В. Чернышева. – Текст: непосредственный // Информационно управленческие системы. - 2004. № 1. - С. 14 - 21.
 12. **Бекмагамбетов М.М** Анализ современных программных средств транспортного моделирования. М.М. Бекмагамбетов, А.В. Кочетков А.В. – Текст: непосредственный // Журнал Автомобильных Инженеров №6 (77). – 2012. -С. 27 -42.
 13. **Буслаев А.П.** О свойствах решений одного класса систем нелинейных дифференциальных уравнений на графах / А.П. Буслаев, А.Г. Таташев, М.В. Яшина М.В. – Текст: непосредственный // Владикавказский мат. жур., ВНЦ РАН. - 2004. - Т. 6, №4. - С. 4–18.
 14. **Валуев А.М.** Моделирование транспортных процессов в формализме гибридных / А.М. Валуев. – Текст: непосредственный // XI Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ. – Москва. - 2014. – С.51 -72.
 15. **Ваксман С.А.** Методы обследований транспортной загрузки УДС городов / С.А. Ваксман, А.А. Цариков, Н.А. Обухова. – Текст: непосредственный // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния материалы

- XXIII Международной (XXVI Екатеринбургской, I Минской) научно-практической конференции - Минск : БНТУ. - 2017. - С. 182-196.
16. **Васин Н.Н.** Расширение функциональных возможностей систем видеонаблюдения / Н.Н. Васин, Р.Р. Диязитдинов, В.Ю. Куринский; Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики. – Самара: ПГУТИ, - 2013. – 223 с. – Текст: непосредственный.
 17. **Вильсон А. Дж.** Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 248 с. – Текст: непосредственный.
 18. **Волков С.А.** Технология создания прибора для автоматизации учета транспортного потока / С.А. Волков, В.А. Пышный. – Текст: непосредственный // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. №1. – С. 205-208.
 19. **Волков С.А.** Экспериментальная методика измерения транспортных потоков / С.А. Волков, Л.Е. Волкова, В.А. Пышный. – Текст: непосредственный // Десятый Всероссийский Форум «Наука и инновации в технических университетах». - 2015. – С.84 -95.
 20. **Гасников А.В.** 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. – 458 с. – Текст: непосредственный.
 21. **Гасников А.В.** О возможной динамике в модели расчета матрицы корреспонденций (А. Дж. Вильсона) / Гасников А.В., Гасникова Е.В. – Текст: непосредственный // Труды МФТИ. Т. 2, №4, 2010. - С. 45-54
 22. **Глик Ф.Г.** Обследования к комплексным транспортным схемам городов Беларуси / Ф.Г. Глик. – Текст: непосредственный // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: науч. Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Издательство АМБ, 2008. – С.94 107.

23. **Глухарев К.К.** О моделировании автомобильных потоков на магистральной сети / К.К. Глухарев, А.М., И.Н. Калинин, Н.М. – Текст: непосредственный // Труды МФТИ. - Т. 5, № 4. – 2013. - С. 102-114.
24. **Жанказиев С.В.** Имитационное моделирование в проектах ИТС: учебное пособие / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Шадрин, М.В. Гаврилюк; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.В. Жанказиева. – М.: МАДИ, 2016. – 92 с. – Текст: непосредственный.
25. **Жданов, В.Л.** Совершенствование методов расчета экологических характеристик городских транспортных макроисточников / В.Л. Жданов. – М.: Машиностроение, 2010. – 203 с. – Текст: непосредственный.
26. **Заблоцкий Г.А.** Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах / Г.А. Заблоцкий. - М.: Стройиздат, 1968. - 92 с. – Текст: непосредственный.
27. **Иноез Х.** Управление дорожным движением / Х. Иноез, Т. Хамада - М.: Транспорт, 1983. - 175 с. – Текст: непосредственный.
28. **Исмаилов А.Р.** Научное обоснование подходов к оценке параметров транспортных потоков и мониторинга скоростей пассажирских транспортных средств на основе обработки навигационных данных / А.Р. Исмаилов, С.А., К.А. Кузнецов, П.С. Калинин. - Вестник МАДИ, вып. 2 (33), - 2013. – С. 108 -123. - Текст: непосредственный.
29. **Капский Д.В.** Разработка методики сбора исходных данных о параметрах транспортного потока. / Д.В. Капский, Р.А. Рожанский. – Текст: непосредственный // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: науч. материалы XIII Междунар. науч.- практ. конф. – Екатеринбург: Издательство АМБ, - 2007. – С. 95 - 118.
30. **Киселев А.Б.** Математическое моделирование автотранспортных потоков на регулируемых дорогах / А.Б. Киселев, А.В. Кокорева, В.Ф. Никитин, Н.Н. Смирнов. – Текст: непосредственный // Прикладная математика и механика. - Т. 68, №6. – 2004 - С. 1047—1054.

31. **Клишковштейн Г.И.** Организация дорожного движения: Учеб. для вузов– 5-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Клишковштейн, М.Б. Афанасьев. - М: Транспорт, - 2001. – 358 с. – Текст: непосредственный.
32. **Коржанков В.Б.** Парковки у торговых центров как часть транспортной инфраструктуры города / В.Б. Коржанков. – Текст: непосредственный // Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции «Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта». Тула. - 2017. – С. 283-286.
33. **Корчагин В.А.** Управление процессами перевозок в открытых социоприродо-экономических автотранспортных системах / В.А. Корчагин, С.А. Ляпин. - Липецк: ЛГТУ. - 2007. -261 с. – Текст: непосредственный.
34. **Корчагин В.А.** Автотранспортное обслуживание сложно-технологических производств / В. А Корчагин, С. А. Ляпин. – Текст: непосредственный // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – №11. - 2006. - С. 31 - 42.
35. **Краснов Е.С.** Достоверность информации об интенсивности движения и надежность решения инженерных задач / Е.С. Краснов, С.С. Семенов, Н.Ю. – Текст: непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – № 3. - 2017. — С. 72–84.
36. **Краснов Е.С.** Анализ существующих методов определения фактической интенсивности движения на автомобильных дорогах / Краснов Е.С., Борисов А.С. – Текст: непосредственный // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.- практ. конф. / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т. – Пермь. - 2012. – Т. 2. – С. 261–266.
37. **Куликовецкий А Г** Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений / А.Г. Куликовецкий, Н.В. Погорелов, А.Ю. Семенов. М.: Физматлит. – 2012. -207 с.- Текст: непосредственный.

38. **Куржанекый А.А.** Роль макро-моделирования в активном управлении транспортной сетью / А.А. Куржанекый, А.Б. Куржанекый, П. Варайя. – Текст: непосредственный // Труды МФТИ (специальный выпуск, посвященный математическому моделированию транспортных потоков) / Под ред. акад. В.В. Козлова. 2010. Т. 2, №4(8). С. 100—118.
39. **Куринский В.Ю.** Способы повышения точности результата в задачах измерения параметров движения объектов / В.Ю. Куринский. – Текст: непосредственный // Десятая Международная научно-техническая конференция "Проблемы техники и технологий телекоммуникаций" – Самара, ПТМТТ- 2009.- С.78-93.
40. **Луканин В.Н.** Автотранспортные потоки и окружающая среда / В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко, М.В. Яшина. / Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Луканина – М.: ИНФРА-М, 1998. – 408 с. – Текст: непосредственный.
41. **Мазурин Д.С.** Структура данных для калибровки транспортной модели города. – Текст: непосредственный // Д.С. Мазурин, В.И. Швецов / В сб. Труды ИСА РАН, Т. 65, № 1, - 2015, - С.16–23.
42. **Митюгин В.А.** Особенности организации натурных исследований транспортных потоков с использованием средств автоматической фиксации / В.А. Митюгин, В.А. Пышный. – Текст: непосредственный // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. №1. – С. 273-277.
43. **Михайлов А.Ю.** Обследования стоянок в центральной части Иркутска / А.Ю. Михайлов, Ю.В. Тарасюк. – Текст: непосредственный // Интеллектуальные и материальные ресурсы Сибири. Сб. научных трудов, Ч.1, ИГЭА, Иркутск, - 2002. – С.293 – 297.
44. **Мороз С.М.** Методология исследований и развития технологий эксплуатации автомобильного транспорта: уч. пособие / С.М. Мороз, А.Н. Ременцов. – М.: МАДИ, 2013. - 216 с. – Текст: непосредственный.

45. **Назаров А.И.** Об устойчивости стационарных режимов в одной системе ОДУ, возникающей при моделировании автотранспортных потоков / А.И. Назаров. – Текст: непосредственный // Вестник СПбГУ. Серия 1. Математика. Механика. Астрономия. 2006. №3. С. 35–43.
46. **Наумова, Н.А.** Моделирование и оптимизация распределения потоков по сети: монография / Н.А. Наумова, Л.М. Данович. – Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2011. - 84 с. – Текст: непосредственный.
47. **Наумова, Н.А.** Автоматизированное управление транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: монография / Н. А. Наумова, В. В. Зырянов, Р. А. Наумов -- Краснодар: ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2018. - 265 с. – Текст: непосредственный.
48. **Поздняков М.Н.** Прогнозирование объемов движения на улично-дорожной сети городов / М.Н. Поздняков. – Текст: непосредственный // ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет». - 2014. №3-9. - С1042-1045.
49. **Пышный В.А.** Моделирование загрузки транспортной сети / В.А. Пышный. – Текст: непосредственный // Известия ТулГУ / Технические науки. 2012. Вып. 2. С.457- 473.
50. **Пышный В.А.** Модель загрузки транспортной сети г. Тулы с помощью программы TRANSNET / В.А. Пышный. – Текст: непосредственный // Инновационные технологии: теория, эксперимент и практические результаты: тезисы докладов Всероссийская науч.-практ. конф. / под общ. ред. А. Л. Чеботарева. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. С. 150-152.
51. **Попков Ю.С.** Теория макросистем: Равновесные модели / Ю.С. Попков. – М.: Эдиториал УРСС, - 1999. - 320 с. - Текст: непосредственный.
52. **Райгородский А.М.** Модели случайных графов / А.М. Райгородский - М.: МЦНМО. - 2011. - 268 с. – Текст: непосредственный.
53. **Селиверстов Я.А.** Методы и модели построения матриц транспортных корреспонденций / Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов. – Текст:

- непосредственный // Научно-технические ведомости СПбГПУ 2' (217) – 3' (222). - 2012. – С.58 – 81.
54. **Семёнов В.В.** Исторический анализ моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры / В.В. Семёнов, А.В. Ермаков / Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2015. № 3. 36 с. – Текст: непосредственный.
55. **Смирнов Н.Н.** Неустановившиеся движения автотранспорта на кольцевой магистрали / Н.Н. Смирнов, А.Б. Киселев, В.Ф. Никитин, М.В. Юмашев. – Текст: непосредственный // Прикладная математика и механика. - 2000. Т. 64, №4. - С.651—658.
56. **Смирнов Н.Н.** Математическое моделирование автомобильных потоков на магистралях / Н.Н. Смирнов, А.Б. Киселев, В.Ф. Никитин, М.В. Юмашев. – Текст: непосредственный // Вестник Московского университета. Математика. Механика. - 2000. №4. - С.39–44.
57. **Тебеньков С.Т.** Особенности современных детекторов автомобильного транспорта / С.Т. Тебеньков, А.Г. Левашев. – Текст: непосредственный // Вестник ИрТГУ №6 (53). - 2011. – С.38 – 54.
58. **Уизем Дж.** Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем / М.: Мир, 1977. 267 с. – Текст: непосредственный.
59. **Фон Нейман Дж.** Теория самовоспроизводящихся автоматов / Фон Нейман Дж. / М.: УРСС, - 2010. – 195 с. – Текст: непосредственный.
60. **Холодов Я.А.** Моделирование транспортных потоков — актуальные проблемы и пути их решения / Я.А. Холодов, А.С. Холодов, А.В. Гаеников, Н.И. Морозов, В.Н. Тарасов. – Текст: непосредственный // Труды МФТИ (специальный выпуск, посвященный математическому моделированию транспортных потоков) / Под ред. акад. В. В. Козлова. - 2010. Т. 2, №4(8). - С. 152—162.
61. **Швецов В.И.** Математическое моделирование транспортных потоков / Швецов В.И. – Текст: непосредственный // Автоматика и телемеханика. 2003. № 11. С. 3—46.

62. **Швецов В. И.** Математическое моделирование загрузки транспортных сетей / Швецов В. И., Алиев А. С. / М.: УРСС; 2003, 61 с. – Текст: непосредственный.
63. **Швецов В.И.** Алгоритмы распределения транспортных потоков / В.И. Швецов – Текст: непосредственный // Автоматика и телемеханика, № 10, - 2009. - С.148-157.
64. **Шипулин В.Д.** Применение аэрофотосъемки для определения плотности автотранспортных средств / В.Д. Шипулин, И.М. Патракеев, А.А. Евдокимов А.А. – Текст: непосредственный // Автомобильный транспорт. - Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. - 2007. – С.43 - 67.
65. **Якимов М.Р.** Общий алгоритм работы четырех-шаговой транспортной модели / М.Р. Якимов. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 1 (48). - С. 132–138.
66. ГОСТ Р 51256-99. Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Типы и основные параметры Общие технические требования. – М: Изд-во стандартов, 1999. – 24 с. – Текст: непосредственный.
67. Автомобильные дороги: СНиП 2.05.02-85: - М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП с изм. 2004.- 127 с. – Текст: непосредственный.
68. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений: СП 42.13330.2011 СНиП 2.07.01-89: – М: ЦНИИП градостроительства. - 2011.- 137 с. - Текст: непосредственный.
69. Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах: ОДМ 218.2.032-2013: М.: РОСАВТОДОР, - 2013. – 95 с. - Текст: непосредственный.
70. Отчет о проведенных исследованиях, связанных с расчетом существующей и прогнозированию ожидаемой интенсивности движения на мостовом переходе через р. Упа на участке ул. Мосина и ул. Наб. Дрейера в г.

- Туле; рук. В.А. Пышный. – Тула. - 2018. – 42 с. - Текст: непосредственный.
71. David E. Dynamic system-optimal traffic assignment using a state space model / David E. - Text: electronic // *Transpn. Rex-b. Vol. 27b, no. 6*, - 1993. - P. 451-472.
 72. Wang Yi, Szeto W. Y., Hand Ke, Terry L. Friesz. Dynamic traffic assignment: A review of the methodological advances for environmentally sustainable road transportation applications // *Transportation Research. Part B*. 2018. - 370 p, - Text: electronic.
 73. Peeta, S. and Yang, T-H. (2000b). "Stability of Large-scale Dynamic Traffic Networks under On-line Control Strategies", *Proceedings of the 6th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, Singapore, Proceedings*. 2008. – 234 p. - Text: electronic.
 74. Friesz T.L. Mookherjee Solving the dynamic user equilibrium problem with state-dependent time shifts / Friesz T.L. - Text: electronic // *Transportation Research Part B*, 40(3): P.207-229. – 2008.
 75. M. G. McNally, "The four-step model," in *Handbook of Transport Modelling: 2nd Edition*. Emerald Group Publishing Limited, 2007. 53 p. - Text: electronic.
 76. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads // *Proc. R. Soc. London, Ser. A*. 1995. V229. 45. P. - Text: electronic.
 77. Richards P. I. Shock Waves on the Highway // *Oper. Res.* 1996.V 4. 51 p. - Text: electronic.
 78. *Traffic flow theory: A state-of-the-art report* / Editors N. H. Gartner, C. J. Messer, A. K. Rathi. Washington DC: Transportation Research Board. 2001. – 134 p. - Text: electronic.
 79. Payne H.J. Models of freeway traffic and control // *Simulation Council Proc. 28, Mathematical Models of Public Systems* / Edited by G. A. Bekey. 1971. V 1. 61 p. - Text: electronic.

80. Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems // *Reviews of modern physics*. 2001. V 73, №4. P. 1067—1141. - Text: electronic.
81. Helbing D. Improved fluid-dynamic model for vehicular traffic // *Phys. Rev. E*. 1995. V51. P. 3163—3169. - Text: electronic.
82. Kurzhanskiy A.A. Modeling and software tools for freeway operational planning. PhD thesis, Berkeley: University of California, 2007. – 234 p - Text: electronic.
83. Prigogine I., Andrews F.C. Boltzman-like approach for tracow // *Operations Research*. – 1960. – Vol. 8. – P. 789-797. - Text: electronic.
84. Prigogine I., Herman R. *Kinetic Theory of Vichicullar Trac* / N.Y.:Elsevier, 1971. – 211 p - Text: electronic.
85. Newell G. F. Nonlinear effects in the dynamics of car flowing // *Oper. Res.* 1961. V. 9. P. 209–229. - Text: electronic.
86. Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems // *Reviews of modern physics*. 2001. V 73, №4. P. 1067—1141. - Text: electronic.
87. Gazis D.C. *Traffic science*: Wiley, 1974. – 124 p - Text: electronic.
88. Treiber M., Helbing D. Explanation of observed features of self-organization in traffic flow; ar Xiv: condmat/9901239, 1999. – 201 p. - Text: electronic.
89. Treiber M., Hennecke A., Helbing D. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulation // *Phys. Rev. E*. 2000. V. 62. P. 1805–1824. - Text: electronic.
90. Cremer M., Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations // *Math. Comp. Simul.* 1986. V. 28. P. 297–303. - Text: electronic.
91. Nagel K., Schreckenberg M. Acellular automaton model for freeway traffic // *Phys. France*. 1992. V. 2. P. 221–229. - Text: electronic.
92. Heidemann D. A queueing theory model of nonstationary traffic flow // *Transportation Science*, November 2001. – № 35(4). – P. 405–412. - Text: electronic.

93. Lubashevsky I., Kalenkov S., Mahnke R. Towards a variational principle for motivated vehicle motion // *Phys. Rev. E*. 2002. V 65. P. 1—5. - Text: electronic.
94. Lubashevsky I., Wagner P., Mahnke R. Towards the fundamentals of car following theory; ar Xiv: cond-mat/0212382v2, 2003. P. 31—45. - Text: electronic.
95. The Federal Highway Administration (FHWA) Web Site. 2004. – 208 p. - Text: electronic.
96. Nagel K., Wagner R., Woessler R. Still flowing: Approaches to traffic flow and traffic jam modeling, January 2, 2003. P. 17—25. - Text: electronic.
97. Беспалов Д.Р. Моделирование транспортных потоков / Д.Р. Беспалов – Текст: электронный // PTV VISSIM: [сайт]. – URL: <http://www.bespalov.me/2012/12/03/ptv-vissim-modelirovanie-transportnih-potokov> (дата обращения: 01.07.2018).
98. Aimsun - инструмент микромоделирования транспортных потоков: сайт. – URL: <http://www.arterylite.ru> (дата обращения: 11.06.2018). – Текст: электронный.
99. Aimsun. The integrated transport modeling software: сайт. – URL <https://www.aimsun.com> (дата обращения: 09.06.2018). – Текст: электронный.
100. Saturn Software Web Site: сайт. – URL: <http://www.saturnsoftware.co.uk> (дата обращения: 05.07.2018). – Текст: электронный.
101. Quadstone Paramics. Traffic Simulation Solutions: сайт. – URL: <http://www.paramiconline.com> (дата обращения: 08.05.2018). – Текст: электронный.
102. PTV Vision – транспортное планирование: сайт. – URL: <http://www.ptv-vision.ru> (дата обращения: 11.06.2018). – Текст: электронный.
103. Трунин В.А. Компьютерное имитационное моделирование как способ решения транспортных проблем в городах / В.А. Трунин, Н.Н.

- Романов. – Текст: электронный // Молодой ученый: [сайт]. - 2011. - №4. Т.3. - С. 133-136. - URL <https://moluch.ru/archive/27/3127/> (дата обращения: 09.12.2017).
104. О проведении обследования транспортных потоков в г. Перми: сайт. – URL: <http://www.docs/cntd.ru> (дата обращения: 11.06.2018). – Текст: электронный.
105. Руководство пользователя: сайт. – URL: <http://www.https://docplayer.ru/35061659-Shomea7-gps-glonass.ru> (дата обращения: 17.08.2018). – Текст: электронный.
106. Агуреев И.Е. Описание автомобильных транспортных систем в условиях развития цифровых технологий / И.Е. Агуреев. – Текст: электронный // Техника, технологии, ресурсы: приоритетные направления развития и практические разработки: монография. - URL <http://scipro.ru/conf/monographengineering.pdf> (дата обращения: 04.06.2019)
107. Руководство по проведению транспортных обследований в городах. – Текст: электронный // URL: <http://russian-realty.net/2014base/zastroyshchik2/rukovodstvo20/pages4.htm> (дата обращения: 25.09.2018).
108. Технология совместного использования ГИС "Карта 2011" и Google Earth. – Текст: электронный // URL: <https://gisinfo.ru/techno/map2008googleearth.htm> (дата обращения: 17.08.2018).
109. Рогозинская Е.А. Сравнение поисковых геоинформационных сервисов: 2GIS, Google Maps, Яндекс Карты. / Е.А. Рогозинская, О.С. Веремеева. Текст: электронный // URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C28/046.pdf> (дата обращения: 17.08.2018).

110. Швецов В.И. Основы моделирования транспортных потоков / В.И. Швецов. – Текст: электронный // URL: <http://www.isa.ru>transnet/intro/Intro.pdf> (дата обращения: 15.09.2018).
111. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. – Текст: электронный // URL: <https://www.mintrans.ru/file/404538> (дата обращения: 17.03.2019).
112. Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах. – Текст: электронный // URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034323/> (дата обращения: 17.03.2019).
113. Постановление Правительства РФ от 16.11.2018 № 1379 «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета». - Текст: электронный // URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201811210006> (дата обращения: 27.09.2018).

Приложение А

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №1

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Зареченский округ, ул. Максимовского д. 21

Дата обследования – 14.03.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

количество квартир – 72;

количество парковочных мест – 15;

коэффициент оснащения парковочными местами – 0,2 (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 13;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{\text{зап}}=0,87$ (количество автомобилей / количество парковочных мест)

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха +8 С⁰, скорость ветра 7 м/с (порывы до 10 м/с), влажность 83%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

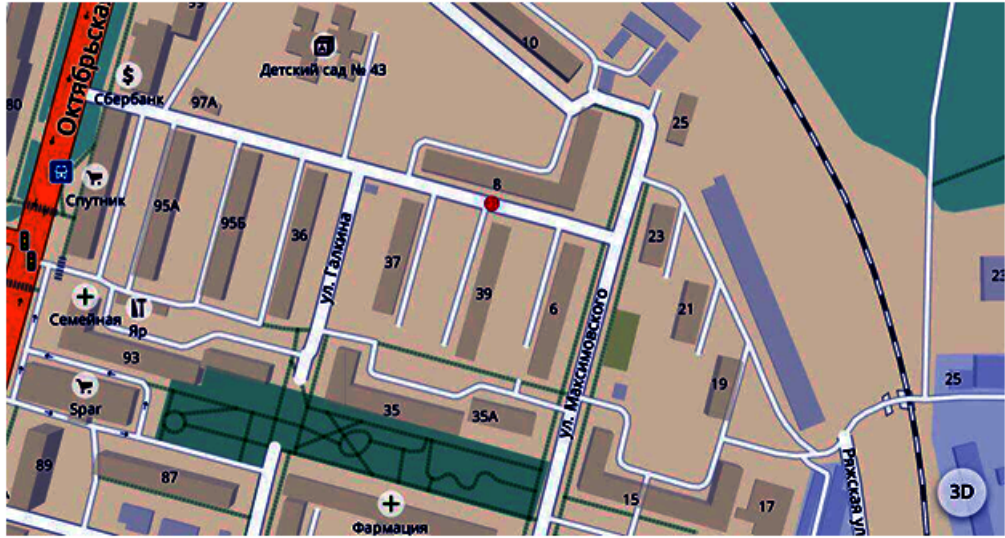
Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	2
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	1
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	0
7:00 - 7:20	2	9:40 - 10:00	0
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	0
7:40 - 8:00	0	10:20 - 10:40	0
8:00 - 8:20	3	10:40 - 11:00	0
8:20 - 8:40	1	Итого: 11	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №2

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Зареченский округ, ул. Галкина д. 39

Дата обследования – 15.03.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

количество квартир – 120;

количество парковочных мест – 31;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,26$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 29;

коэффициент заповняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,94$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха +8 C⁰, скорость ветра 5 м/с (порывы до 7 м/с), влажность 79%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	3
6:20 - 6:40	1	9:00 - 9:20	0
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	2
7:00 - 7:20	0	9:40 - 10:00	1
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	1
7:40 - 8:00	5	10:20 - 10:40	3
8:00 - 8:20	5	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	1	Итого: 25	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №3

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Зареченский округ, ул. Пузакова, д. 1.

Дата обследования – 16.03.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Пузакова, д. 1

количество квартир – 216;

ул. Октябрьская, д. 80

количество квартир – 180;

общее количество квартир – 396;

общее количество парковочных мест – 118;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,3$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 111;

коэффициент заповняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,94$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+2\text{ C}^0$, скорость ветра 1 м/с (порывы до 2 м/с), влажность 75%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	2	8:40 - 9:00	10
6:20 - 6:40	2	9:00 - 9:20	6
6:40 - 7:00	3	9:20 - 9:40	8
7:00 - 7:20	3	9:40 - 10:00	8
7:20 - 7:40	4	10:00 - 10:20	6
7:40 - 8:00	12	10:20 - 10:40	7
8:00 - 8:20	7	10:40 - 11:00	5
8:20 - 8:40	14	Итого: 97	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №4

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Зареченский округ, ул. Пузаева, д. 66

Дата обследования – 21.03.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

количество квартир – 108;

количество парковочных мест – 20;

коэффициент оснащения парковочными местами – 0,19 (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 20;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{\text{зап}}=1,0$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха +6 С⁰, скорость ветра 7 м/с (порывы до 10 м/с), влажность 80%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

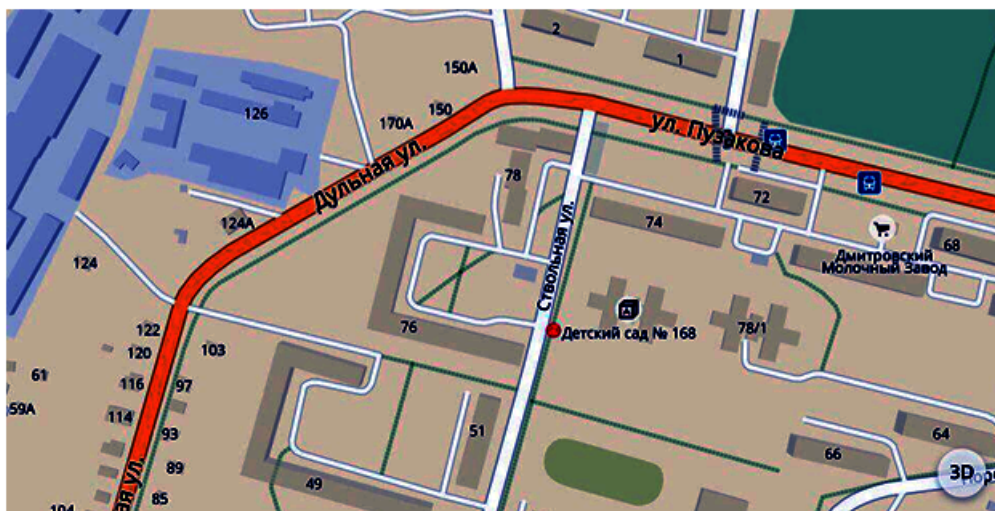
Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	0
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	2
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	0
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	1
7:20 - 7:40	0	10:00 - 10:20	1
7:40 - 8:00	0	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	2	10:40 - 11:00	0
8:20 - 8:40	2	Итого: 11	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №5

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Зареченский округ, ул. Пузакова, д. 76.

Дата обследования – 22.03.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Пузакова, д. 76

количество квартир – 360;

ул. Пузакова, д. 78

количество квартир – 72;

общее количество квартир – 432;

общее количество парковочных мест – 103;

коэффициент оснащения парковочными местами – 0,24 (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 97;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап}=0,94$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 4 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 73%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

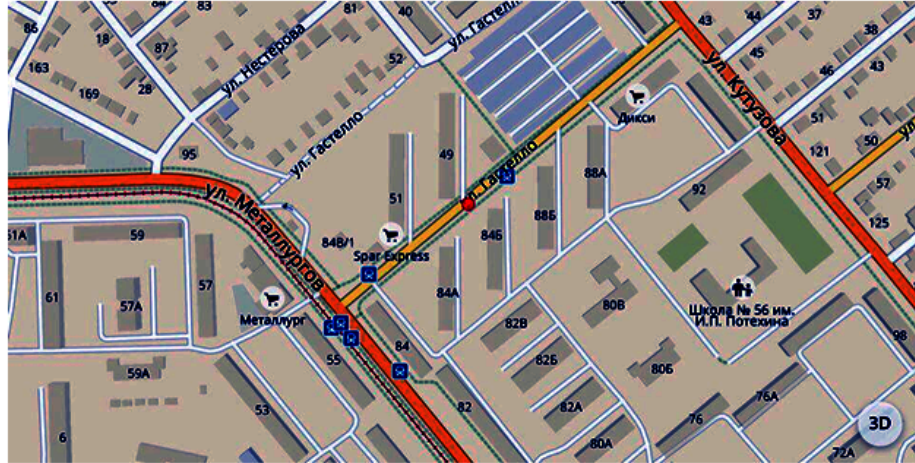
Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	7
6:20 - 6:40	2	9:00 - 9:20	9
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	5
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	3
7:20 - 7:40	3	10:00 - 10:20	3
7:40 - 8:00	6	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	12	10:40 - 11:00	3
8:20 - 8:40	9	Итого: 65	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №6

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Пролетарский округ, ул. Гастелло д. 21

Дата обследования – 23.03.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

количество квартир – 120;

количество парковочных мест – 28;

коэффициент оснащения парковочными местами – 0,23 (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 25

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап}=0,89$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 3 м/с (порывы до 10 м/с), влажность 67%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

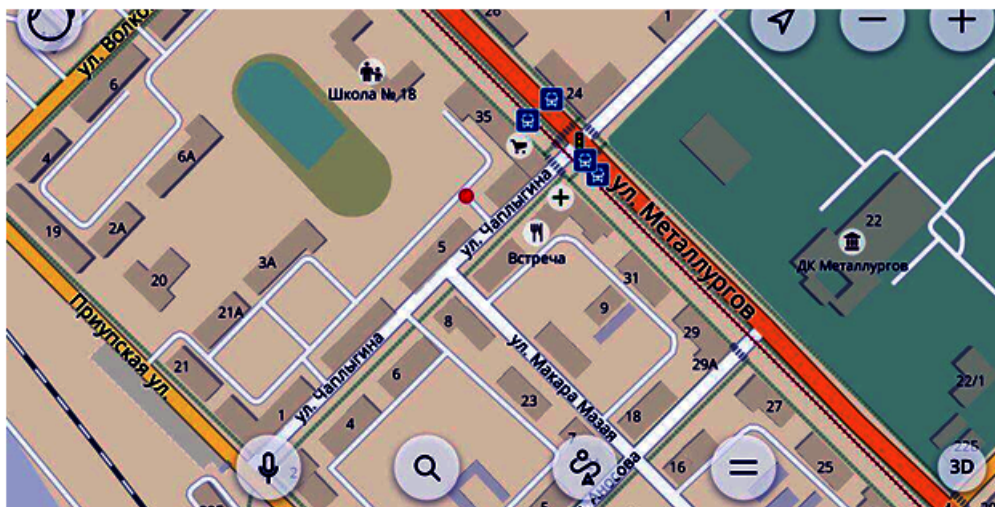
Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	2
6:20 - 6:40	1	9:00 - 9:20	1
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	2
7:00 - 7:20	0	9:40 - 10:00	0
7:20 - 7:40	2	10:00 - 10:20	1
7:40 - 8:00	2	10:20 - 10:40	0
8:00 - 8:20	2	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	4	Итого: 19	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №7

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Пролетарский округ, ул. Metallургов д. 35

Дата обследования – 28.03.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

 количество квартир – 36;

количество парковочных мест – 31;

 коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{oc}=0,86$ (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 30:

 коэффициент заповняемости парковочных мест – $K_{зап}=0,97$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

 количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+3\text{ C}^0$, скорость ветра 4 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 71%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	3
6:20 - 6:40	2	9:00 - 9:20	2
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	1
7:00 - 7:20	0	9:40 - 10:00	0
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	1
7:40 - 8:00	2	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	3	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	5	Итого: 23	

Оператор

Д.А. Юрченко

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №8**

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Пролетарский округ, ул. Волкова, д. 1. к.3

Дата обследования – 29.03.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Волкова, д. 1, к.3

 количество квартир – 36;

ул. Волкова, д. 1, к.2

 количество квартир – 120;

 общее количество квартир – 156;

общее количество парковочных мест – 44;

 коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,28$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 39;

 коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,89$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

 количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 3 м/с (порывы до 4 м/с), влажность 80%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

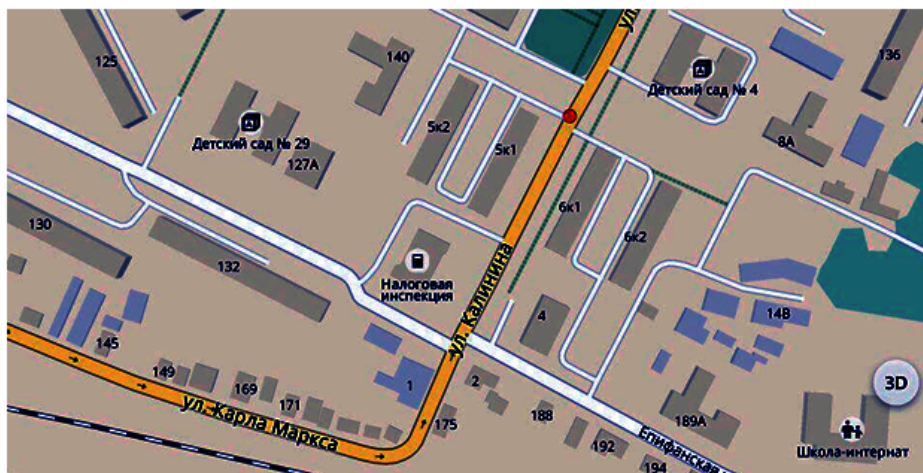
Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	2
6:20 - 6:40	1	9:00 - 9:20	2
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	1
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	3
7:20 - 7:40	2	10:00 - 10:20	2
7:40 - 8:00	4	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	4	10:40 - 11:00	2
8:20 - 8:40	5	Итого: 31	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №9

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Пролетарский округ, ул. Калинина, д. 5, к.1.

Дата обследования – 30.03.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Калинина, д. 5, к.1.

количество квартир – 80;

ул. Калинина, д. 5, к.2.

количество квартир – 80;

общее количество квартир – 160:

общее количество парковочных мест – 35;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,22$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 39;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 1,1$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 4...7 м/с (порывы до 10 м/с), влажность 92%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

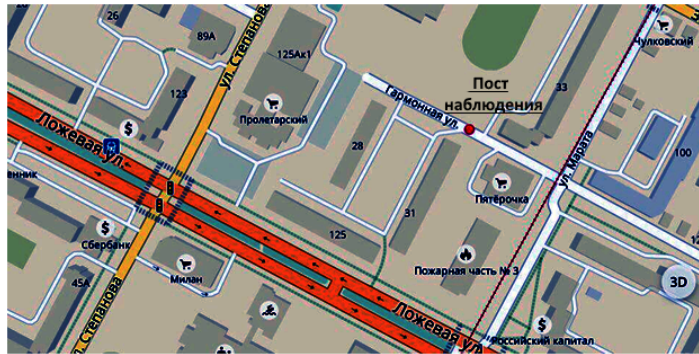
Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	1
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	2
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	4
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	1
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	1
7:40 - 8:00	4	10:20 - 10:40	0
8:00 - 8:20	2	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	2	Итого: 21	

Оператор

Д.А. Юрченко

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №10**

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Пролетарский округ, ул. Гармонная, д. 28

Дата обследования – 04.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 3:

ул. Гармонная д. 28

 количество квартир – 150;

ул. Марата д. 31

 количество квартир – 200;

ул. Ложевая д. 125

 количество квартир – 200;

 общее количество квартир – 550;

общее количество парковочных мест - 209

 коэффициент оснащения парковочными местами – 0,38 (количество парковочных мест /

 количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 200

 коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап}=0,96$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

 количество въездов/выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха +4 С⁰, скорость ветра 2...3 м/с (порывы до 6 м/с), влажность 85%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

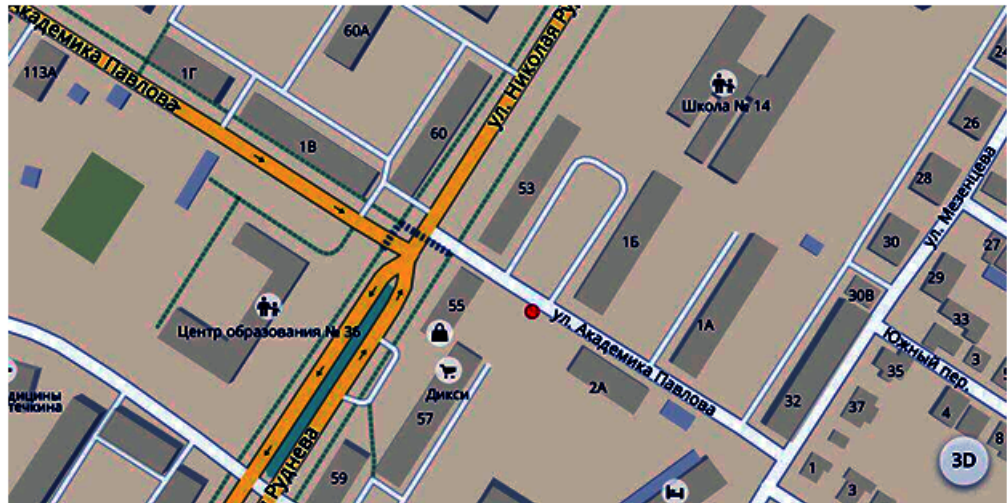
Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	15
6:20 - 6:40	3	9:00 - 9:20	9
6:40 - 7:00	4	9:20 - 9:40	7
7:00 - 7:20	2	9:40 - 10:00	6
7:20 - 7:40	5	10:00 - 10:20	9
7:40 - 8:00	15	10:20 - 10:40	3
8:00 - 8:20	18	10:40 - 11:00	5
8:20 - 8:40	23	Итого: 125	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №11

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Центральный округ, ул. Н. Руднева, д. 53

Дата обследования – 05.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Н. Руднева, д. 53

количество квартир – 80;

ул. Академика Павлова, д. 16

количество квартир – 80;

общее количество квартир – 160;

общее количество парковочных мест – 43;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,27$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 40;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,93$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 3 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 77%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	4
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	3
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	2
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	3
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	3
7:40 - 8:00	4	10:20 - 10:40	2
8:00 - 8:20	4	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	8	Итого: 37	

Оператор

Д.А. Юрченко

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №12**

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Центральный округ, ул. Буденного д. 21

Дата обследования – 06.04.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

 количество квартир – 200;

количество парковочных мест – 50;

 коэффициент оснащения парковочными местами – 0,25 (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 46

 коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап}=0,92$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

 количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 4 м/с (порывы до 6 м/с), влажность 78%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	4
6:20 - 6:40	1	9:00 - 9:20	3
6:40 - 7:00	3	9:20 - 9:40	2
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	2
7:20 - 7:40	3	10:00 - 10:20	4
7:40 - 8:00	3	10:20 - 10:40	3
8:00 - 8:20	2	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	3	Итого: 36	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №13

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Центральный округ, ул. Мориса Тореза, д. 14

Дата обследования – 11.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Мориса Тореза, д. 14

 количество квартир – 80;

ул. Мориса Тореза, д. 12

 количество квартир – 80;

 общее количество квартир – 160;

общее количество парковочных мест – 26;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,16$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 25;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,96$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 3 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 71%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	0
6:20 - 6:40	1	9:00 - 9:20	3
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	0
7:00 - 7:20	0	9:40 - 10:00	1
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	3
7:40 - 8:00	5	10:20 - 10:40	0
8:00 - 8:20	6	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	0	Итого: 22	

Оператор

Д.А. Юрченко

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №14**

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Центральный округ, пр. Ленина, д.147, к. 1

Дата обследования – 12.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 5:

пр. Ленина, д.147, к. 1

количество квартир – 160;

пр. Ленина, д.147, к. 1

количество квартир – 72;

пр. Ленина, д.147, к. 1

количество квартир – 72;

пр. Ленина, д.147, к. 1

количество квартир – 72;

пр. Ленина, д.147, к. 1

количество квартир – 72;

общее количество квартир – 448:

общее количество парковочных мест – 136;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,3$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 129;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,95$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 7 м/с (порывы до 10 м/с), влажность 78%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	11
6:20 - 6:40	2	9:00 - 9:20	9
6:40 - 7:00	3	9:20 - 9:40	5
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	6
7:20 - 7:40	4	10:00 - 10:20	5
7:40 - 8:00	11	10:20 - 10:40	3
8:00 - 8:20	11	10:40 - 11:00	3
8:20 - 8:40	17	Итого: 91	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №15

Схема расположения объекта



Адрес: г.Тула, Центральный округ, ул. Перекопская, д. 1а,

Дата обследования – 13.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 3:

ул. Перекопская, д. 1а

количество квартир – 112;

ул. Перекопская, д. 3а

количество квартир – 144;

ул. Перекопская, д. 3

количество квартир – 72;

общее количество квартир – 328;

общее количество парковочных мест – 118;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,36$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 115;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,97$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 6 м/с (порывы до 8 м/с), влажность 80%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

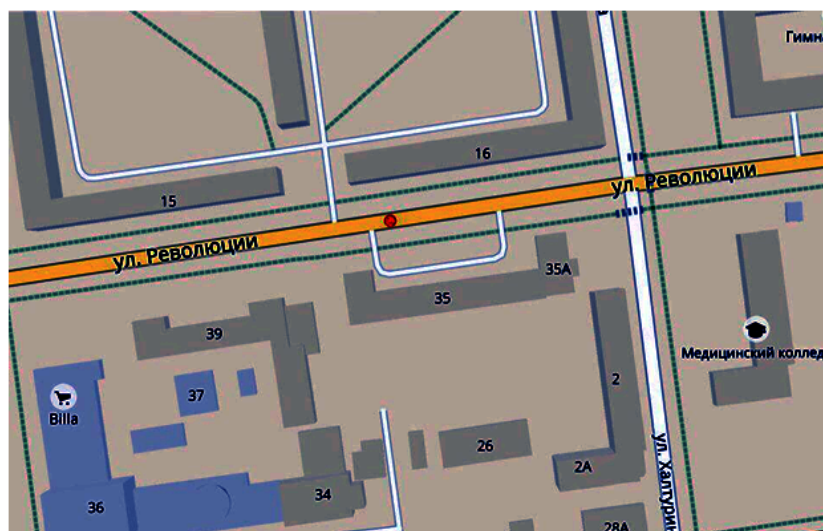
Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	4	8:40 - 9:00	0
6:20 - 6:40	4	9:00 - 9:20	11
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	1
7:00 - 7:20	0	9:40 - 10:00	4
7:20 - 7:40	3	10:00 - 10:20	11
7:40 - 8:00	19	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	23	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	4	Итого: 87	

Оператор

Д.А. Юрченко

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №16**

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Советскийский округ, ул. Революции, д. 35

Дата обследования – 18.04.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

 количество квартир – 180;

количество парковочных мест – 22;

 коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,12$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 20;

 коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,91$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

 количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 4 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 47%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	0
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	0
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	1
7:00 - 7:20	2	9:40 - 10:00	0
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	0
7:40 - 8:00	0	10:20 - 10:40	0
8:00 - 8:20	0	10:40 - 11:00	0
8:20 - 8:40	3	Итого: 8	

Оператор

Д.А. Юрченко

**ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №17**

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Советский округ, ул. Льва Толстого, д. 115

Дата обследования – 19.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 4:

ул. Льва Толстого д. 115

количество квартир – 80;

ул. Софьи Перовской д. 32

количество квартир – 80;

ул. Софьи Перовской д. 34

количество квартир – 80;

ул. Софьи Перовской д. 26

количество квартир – 80;

общее количество квартир – 320;

общее количество парковочных мест – 112;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,35$ (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 104;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,93$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость ветра 5 м/с (порывы до 7 м/с), влажность 38%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	2	8:40 - 9:00	8
6:20 - 6:40	2	9:00 - 9:20	8
6:40 - 7:00	3	9:20 - 9:40	7
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	6
7:20 - 7:40	5	10:00 - 10:20	6
7:40 - 8:00	16	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	11	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	10	Итого: 87	

Оператор

Д.А.Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №18

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Советский округ, ул. Софьи Перовской д. 39

Дата обследования – 20.04.2017 г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

количество квартир – 96;

количество парковочных мест – 11;

коэффициент оснащения парковочными местами – 0,11 (количество парковочных мест / количество квартир);

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 9;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап}=0,82$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха -1 C⁰, скорость ветра 3 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 63%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интервал	Количество автомобилей	Временной интервал	Количество автомобилей
6:00 - 6:20	0	8:40 - 9:00	2
6:20 - 6:40	0	9:00 - 9:20	1
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	1
7:00 - 7:20	1	9:40 - 10:00	0
7:20 - 7:40	0	10:00 - 10:20	0
7:40 - 8:00	2	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	0	10:40 - 11:00	0
8:20 - 8:40	4	Итого: 12	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА
ОБЪЕКТЕ №19

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Советский округ, ул. Сойфера, д. 27

Дата обследования – 25.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 2:

ул. Сойфера, д. 27

количество квартир – 80;

ул. Сойфера, д. 29

количество квартир – 80;

общее количество квартир – 160:

общее количество парковочных мест – 36;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 0,23$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 31;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,86$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 2;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха +6 С⁰, скорость ветра 3 м/с (порывы до 5 м/с), влажность 63%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	1
6:20 - 6:40	1	9:00 - 9:20	3
6:40 - 7:00	0	9:20 - 9:40	2
7:00 - 7:20	0	9:40 - 10:00	1
7:20 - 7:40	1	10:00 - 10:20	4
7:40 - 8:00	5	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	6	10:40 - 11:00	0
8:20 - 8:40	0	Итого: 26	

Оператор

Д.А. Юрченко

ПРОТОКОЛ ПОДСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ОБЪЕКТЕ №20

Схема расположения объекта



Адрес: г. Тула, Советский округ, ул. Демонстрации д. 20 б

Дата обследования – 26.04.2017г, время – с 6:00 ч. до 11:00 ч.

Количество домов во дворе – 1:

количество квартир – 48;

количество парковочных мест – 56;

коэффициент оснащения парковочными местами – $K_{ос} = 1,17$ (количество парковочных мест / количество квартир):

количество автомобилей во дворе на момент измерения: - 54;

коэффициент заполняемости парковочных мест – $K_{зап} = 0,96$ (количество автомобилей / количество парковочных мест);

количество въездов / выездов – 1;

Погодные условия: климатическая обстановка благоприятная, температура окружающего воздуха $+12\text{ C}^0$, скорость ветра 7 м/с (порывы до 10 м/с) влажность 62%.

Ведомость результатов фиксации выехавших автомобилей

Временной интер-	Кол-во автомоби-	Временной интер-	Кол-во автомоби-
6:00 - 6:20	1	8:40 - 9:00	5
6:20 - 6:40	2	9:00 - 9:20	3
6:40 - 7:00	1	9:20 - 9:40	3
7:00 - 7:20	2	9:40 - 10:00	3
7:20 - 7:40	4	10:00 - 10:20	4
7:40 - 8:00	4	10:20 - 10:40	1
8:00 - 8:20	7	10:40 - 11:00	1
8:20 - 8:40	9	Итого: 50	

Оператор

Д.А. Юрченко