

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Строительный институт

Кафедра «Автомобильных дорог и аэродромов»

На правах рукописи



Тимоховец Вера Дмитриевна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ
КРУПНЫХ ГОРОДОВ**

Специальность 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, аэродромов,
метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

РУКОВОДИТЕЛЬ:

к.т.н., доцент

Тестешев А.А.

Тюмень, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	9
1.1 Параметры и транспортные условия улично-дорожных сетей	9
1.2 Оценка видов и объемов мониторинга транспортных потоков на улично- дорожной сети городов Российской Федерации	13
1.3 Оценка применимости существующих методик дешифровки результатов мониторинга транспортных потоков на сетевых дорожных объектах	20
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.....	24
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА.....	26
2.1 Алгоритм применения дистанционного мониторинга транспортных потоков при проектировании улично-дорожной сети.....	26
2.2 Научные основы исследования.....	28
2.3 Структура исследования транспортных потоков дистанционным мониторингом посредством спутникового наблюдения.....	33
2.4 Анализ применения действующей классификации улиц и городских дорог с целью совершенствования методов дистанционного мониторинга транспортных потоков	42
2.5 Учет количества полос движения.....	48
2.6 Учет состояния поверхности покрытия	51
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.....	53
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	54
3.1 Планирование этапов и методика проведения эксперимента.....	54
3.2 Методика исследований интенсивности и плотности движения на улично- дорожной сети городов методами видео- и фотонаблюдения.....	57

3.3 Проведение натурных и дистанционных исследований транспортных потоков в различных метеорологических и дорожных условиях.....	59
3.4 Разработка функциональных зависимостей интенсивности и плотности движения транспортных потоков	65
3.5 Оценка достоверности полученных зависимостей.....	70
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.....	72
4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДИСТАНЦИОННОМУ МОНИТОРИНГУ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ	73
4.1 Область применения, нормативные ссылки, определения	73
4.1.1 Область применения	73
4.1.2 Нормативные ссылки	74
4.1.3 Термины и определения	76
4.2 Разработка рекомендаций по дистанционному мониторингу транспортных потоков.....	79
4.2.1 Формирование банка данных для проектирования транспортных улиц и городских дорог	79
4.2.2 Определение типа и выбор расчетного аппарата дешифровки	83
4.2.3 Получение параметров транспортного потока с применением программного продукта.....	87
4.3 Оценка экономической эффективности предлагаемой методики	92
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ.....	93
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	96
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	107

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Объективные закономерности развития городов Российской Федерации изменяют уклад жизни и характер деятельности людей. Крупные города становятся привлекательными для большинства групп населения, что способствует естественной миграции и формирует инфраструктуру городов.

В процессе развития улично-дорожной сети: при проектировании реконструкции (перераспределении объемов движения, назначении числа полос движения, усилении дорожной одежды) и проектировании улиц-дублеров (расчете геометрических параметров и дорожной одежды) в крупных городах, а также при организации дорожного движения (особенности изменений движения в течение суток, организации реверсивного движения) – необходима разработка прогрессивных методов, повышающих полноту и достоверность информации, обосновывающей проектные решения, точность расчетов и пропорциональное развитие транспортных систем, основанных на репрезентативных данных о параметрах транспортного потока.

При изучении закономерностей распределения транспортных потоков Я.В. Хомяк сформулировал теорию определения интенсивности движения от плотности, применимую в диапазоне, за пределами которого интенсивность движения принимает отрицательные значения.

Одним из основателей закономерностей движения автомобилей на многополосных автомобильных дорогах является А.Н. Красников. Автором выявлено влияние многополосности, дорожных условий и состава транспортного потока на основные технико-эксплуатационные характеристики для конкретных транспортных объектов.

Более поздними являются совместные исследования В.В. Сильянова и В.М. Еремина, в которых зависимости плотности обгонов от интенсивности и плотности движения изучены с помощью имитационного моделирования по двухполосной дороге на основе обобщенной блок-схемы функционирования

агрегативной системы. Данные исследования были проведены на загородных автомобильных дорогах.

Г.А. Менделев установил зависимость скорости движения транспортного потока от уровня загрузки, которая дает возможность определить необходимую пропускную способность участка дороги и соответствующую ей оптимальную скорость движения, а также обосновал возможность прогнозирования изменения интенсивности загрузки улично-дорожной сети во времени. Существенным недостатком в рассматриваемых трудах Г.А. Менделева является отсутствие разработанных зависимостей.

Также теоретическую основу научной работы составили труды различных направлений теории транспортных потоков. Связь статических и динамических характеристик транспортных потоков рассмотрена в работах В.М. Трибунского, Ф. Хейта, Д. Дрю, В.В. Семенова, В. Маркуца, А.В. Гасникова и других ученых.

Предпосылками исследования явилось недостаточное количество данных об объемах движения и особенностях их распределения, полученных за последнее десятилетие. Основные исследователи в области проектирования разрабатывали зависимости интенсивности движения от плотности транспортных потоков, исходя из существующей ситуации на улично-дорожной сети, для загородных дорог. На основе фактических данных выявлена необходимость совершенствования методов дистанционного мониторинга транспортных потоков.

Степень разработанности темы исследования. Использование методов получения данных о состояниях транспортного потока, применимых для отдельно взятой улицы, не отвечают требованиям современных городов. Появляется необходимость разработки оперативного метода получения информации с минимальными ресурсными затратами и исследования возможности проектирования улично-дорожной сети на основе метода дистанционного мониторинга транспортных потоков, основанного на дешифровке онлайн-снимков с применением Интернет-ресурсов. В диссертации автором сравниваются методы изучения транспортных потоков, в которых выявлено отсутствие детального исследования улично-дорожной сети как сетевого объекта.

Основная идея работы состоит в теоретическом и экспериментальном обосновании и совершенствовании методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожных сетей крупных городов.

Объектом исследования являются параметры транспортного потока, обосновывающие проектные решения по проектированию улично-дорожной сети.

Предмет исследования – совершенствование методов повышения эффективности функционирования транспортных сооружений, удобства, безопасности и экологичности движения.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов.

Цель исследования предполагает решение следующих задач:

1. Выполнить анализ проблематики методов мониторинга транспортного потока в крупных городах Российской Федерации.
2. Обосновать теоретические предпосылки исследования транспортного потока на основе дистанционного наблюдения при проектировании улично-дорожной сети.
3. Выполнить экспериментальные исследования по определению интенсивности движения как основного параметра транспортных потоков для проектирования новых транспортных объектов и реконструкции существующих улиц и дорог.
4. Разработать рекомендации по применению дистанционного мониторинга транспортных потоков крупных городов Российской Федерации на основе спутникового и видеонаблюдения для проектирования улично-дорожной сети, и обеспечения безопасности дорожного движения.

Методология и методы исследования. Теоретико-методологической базой являются постулаты теории транспортных потоков. Они заключаются в анализе режимов движения автомобилей в различных дорожных условиях с учетом их динамических возможностей, состава транспортного потока и

психофизиологических особенностей водителей. В проведенных исследованиях применялись теоретический и расчетно-аналитический методы исследования.

Научная новизна.

1. Предложена методика разделения транспортных объектов по особенностям распределения интенсивности движения в течение суток в соответствии с разработанной типизацией улиц и городских дорог.

2. Выявлена возможность учёта факторов вариативности: полосности и состояния покрытия.

3. Предложены мультипараметрические уравнения, разработанные с использованием видеонаблюдения для определения параметров транспортного потока, необходимых при проектировании улично-дорожной сети.

4. Разработан программный продукт для определения интенсивности движения с целью повышения эффективности функционирования транспортных потоков и достоверности информации, обосновывающей проектные решения, точность расчетов и увеличение срока службы дороги.

Теоретическая значимость работы состоит в применении научно-обоснованных методов исследований, статистической обработке полученных данных, опытной проверке результатов, а также согласованности основных положений представленной работы с результатами исследований других авторов и постулатами теории транспортных потоков.

Практическая значимость работы заключается в повышении достоверности информации и сокращении затрат при решении проектных задач с применением разработанного программного продукта.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанная типизация улиц и городских дорог, учитывающая транспортные и дорожные факторы.

2. Методика проведения мониторинга со знанием типа улицы, полученного с применением камер наружного наблюдения, с помощью online-снимка со спутника.

3. Мультипараметрические зависимости, учитывающие транспортные, дорожные и метеорологические факторы, базирующиеся на видеонаблюдении.

Степень достоверности научных положений, теоретических решений и полученных результатов обеспечивается соблюдением основных принципов математического моделирования и подтверждается адекватностью расчетных (полученных методом дистанционного мониторинга) и экспериментальных данных (полученных методом натуральных и видео измерений), расхождение между которыми не превышает 15%.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях в г. Томск (2016-2017гг.), в г. Санкт-Петербург (2018 г.), в г. Владивосток (2018 г.) и внутривузовских конференциях в ТИУ (2014-2019 гг.). Основные результаты работы изложены в 14 научных статьях, в том числе 7 работах в рецензируемых научных журналах: 5 статей в изданиях перечня Scopus и Web of Science, 2 статьи в изданиях перечня ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Результаты исследования изложены на 95 страницах основного текста, включающего 33 рисунка, 24 таблицы, 22 приложения, список литературы состоит из 103 наименований.

1 АНАЛИЗ ПРОБЛЕМАТИКИ МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ГОРОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

1.1 Параметры и транспортные условия улично-дорожных сетей

Согласно общеполитической направленности формирования Российской Федерации [35], опорными центрами науки, техники и других сфер развития государства являются крупнейшие города и тяготеющие к ним, распределенные по территории страны. К мегаполисам относятся населенные пункты, имеющие численность не менее одного миллиона жителей [24], а именно: Москва, Санкт-Петербург, Новосибирск, Екатеринбург, Нижний Новгород, Казань, Челябинск, Омск, Самара, Ростов-на-Дону, Уфа, Красноярск, Пермь, Воронеж, Волгоград [93]. Согласно данным Росстата от 24.07.2018 «Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2018 года» часть городов Российской Федерации по темпам развития приближаются к крупнейшим: в течение 3-5 лет достигнут указанного статуса такие города, как Краснодар и Тюмень, с приростом численности населения в 8,6 % и 10,3 % соответственно. Через 5–8 лет к мегаполисам будет отнесен Барнаул. В долгосрочной же перспективе (10–15 лет) регламентированного числа жителей достигнут Саратов и Тольятти. Ижевск, Ульяновск, Иркутск и Хабаровск достигнут статуса мегаполисов ориентировочно через 25-30 лет, другие городские единицы Российской Федерации имеют меньшие темпы развития по сравнению с вышеупомянутыми городами [90].

Характерными показателями функционирования и уровня инфраструктуры города, комплексов и систем обслуживания пользователей транспортных сооружений являются: численность населения, средняя заработная плата, протяженность пешеходных дорог, среднее время перемещения, общая площадь территории, количество районов, схема улично-дорожной сети, протяженность улично-дорожной сети, количество очагов аварийности, наличие видов транспорта (троллейбусов, трамваев, метро) и уровень автомобилизации.

Анализ тенденции изменения количества жителей и уровня автомобилизации городов Российской Федерации показал, что рост численности жителей в рассматриваемых населенных пунктах может быть связан со значительным количеством градообразующих предприятий и производств и как следствие, наличием рабочих мест, а также уровнем жизни населения рассматриваемого города (рисунок 1).

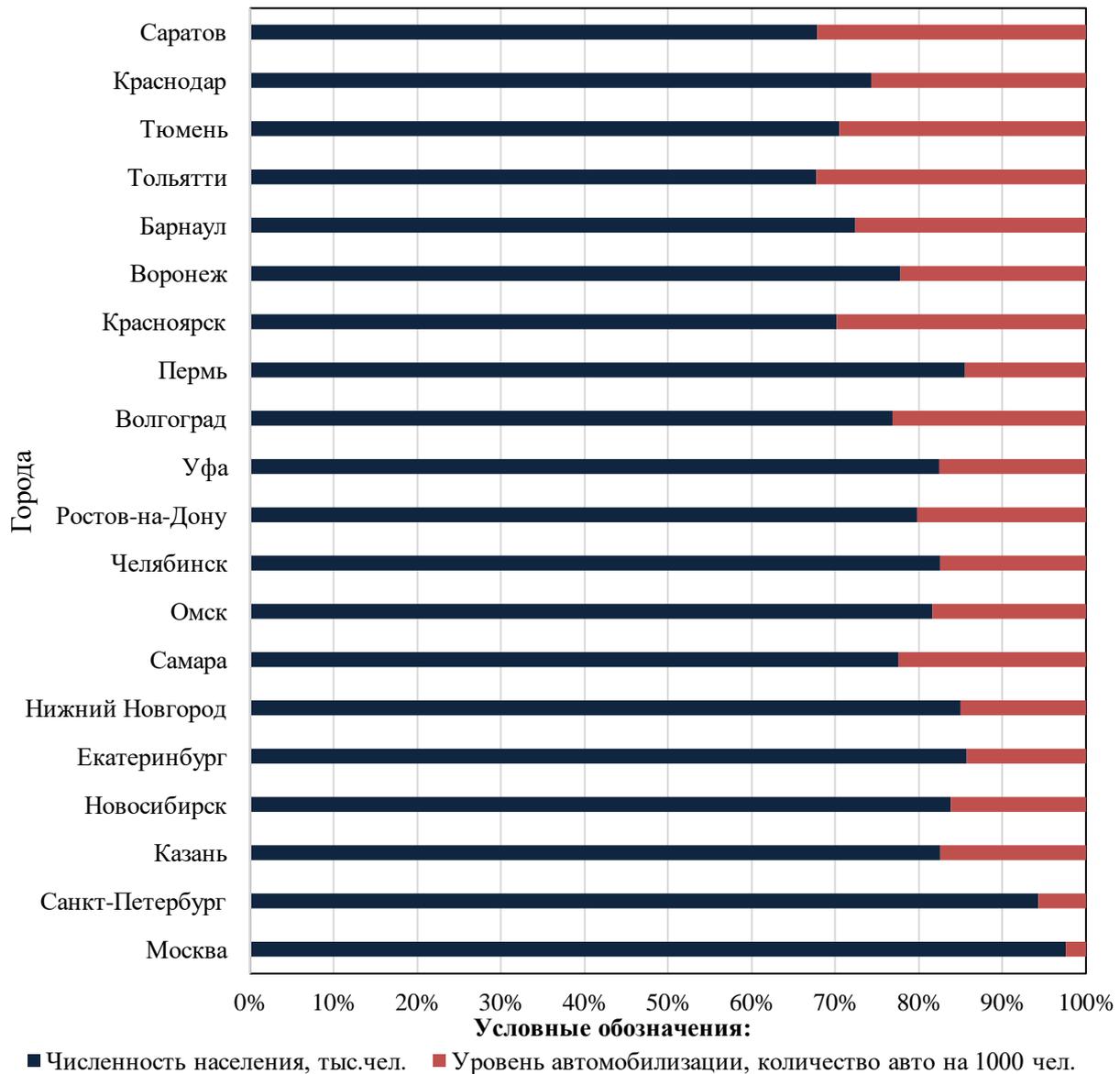


Рисунок 1 – График уровней автомобилизации и численности населения в крупных городах Российской Федерации на 2018 год

Статистическое распределение других параметров крупных городов Российской Федерации представлено в приложении А.1.

Тенденция изменения количества жителей, подтвержденная статистическими данными, свидетельствует о том, что сопоставление численности населения и уровня автомобилизации в рассмотренных городах имеет высокий уровень корреляции между указанными показателями. При этом только в незначительном количестве случаев зарегистрирована стабилизация роста численности населения в условиях дальнейшего роста уровня автомобилизации.

Следствием роста уровня автомобилизации является необходимость увеличения протяженности и густоты транспортных сетей, а также модернизации системы обслуживания участников дорожного движения. Данный факт обусловлен повышением доступности автомобилей для населения с различным уровнем дохода, кроме того, можно отметить изменение угла наклона аппроксимированной кривой после введения различных правительственных программ [19, 22, 75, 92] (рисунок 2).

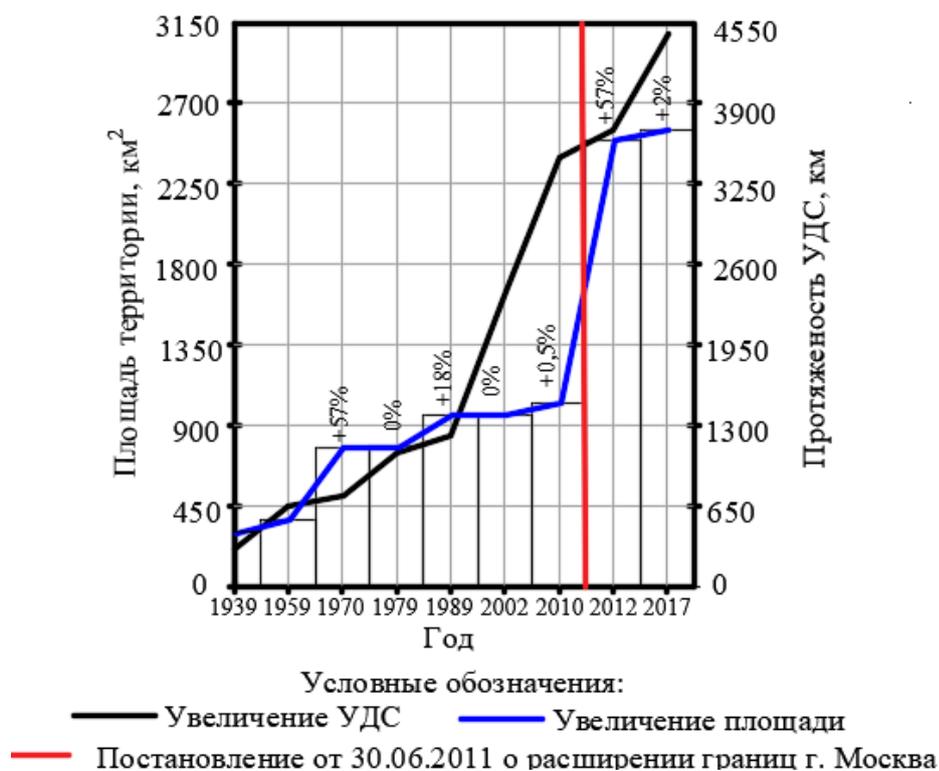


Рисунок 2 – Динамика изменения площади и протяженности улично-дорожной сети

Инерция развития улично-дорожных сетей в процессе эксплуатации не соответствует темпам роста транспортной составляющей городов Российской Федерации, что приводит к трансформации заданной категоричности [6, 21], неоптимальному функционированию улиц и городских дорог и, как следствие, к снижению безопасности, комфортабельности и экономичности перемещения населения (рисунок 3).

а)



б)

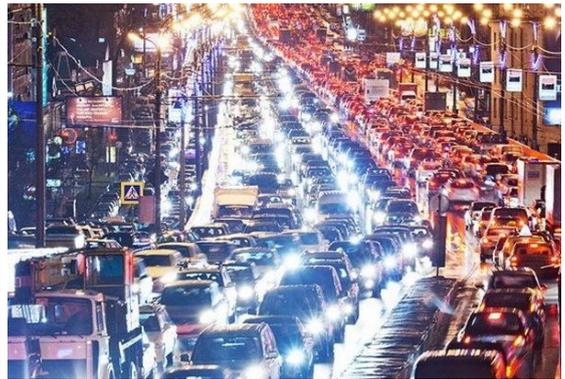


Рисунок 3 – Примеры заторных явлений: а) – г. Москва, б) – г. Новосибирск

Развитость транспортной сети во всех проанализированных автором агломерациях характеризуется диапазоном количества улиц в мегаполисах и крупных городах (1,3-1,8 тыс.), транспортных пересечений в одном (10-20 тыс.) и разных уровнях (12-28), амплитудой численности (1,01-1,3 тыс.) и густоты пешеходных переходов (0,5-1,8 шт./км²).

В настоящее время при проектировании улично-дорожной сети и транспортных сооружений используются такие показатели, как транспортная доступность, подвижность населения, время и средняя скорость перемещения населения. Большая часть признаков, являющихся основой систематического планомерного развития города, связана с совершенствованием транспортной инфраструктуры, характеризуемой протяженностью улично-дорожной сети и распределением транспортного спроса по сети улиц и городских дорог. Системное изучение режимов движения на улично-дорожной сети городов является основой рациональных и оптимальных градостроительных решений.

Принятая практика проектирования улично-дорожной сети предусматривает комплексные транспортные схемы, где планируется стадийное развитие города. Неравномерность распределения численности населения в районах требует планировочных решений и системного подхода в процессе реализации инженерных задач различного уровня. Для обеспечения непрерывности процесса требуются разработка и усовершенствование информационно-аналитических методов, основанных на репрезентативных данных функционирования всей сети города. Данные программы необходимы в процессе развития улично-дорожной сети: при проектировании реконструкции (перераспределении объемов движения, назначении числа полос движения, усиление дорожной одежды), проектировании улиц-дублеров (расчете геометрических параметров и дорожной одежды), а также при организации дорожного движения (особенностей изменений движения в течение суток, организации реверсивного движения). Таким образом, параметры требуемой точности могут быть получены при помощи системного мониторинга, выполняемого в узловых точках и перегонах для развития транспортной сети.

При планировании улично-дорожной сети для разработки методов повышения эффективности функционирования, удобства, безопасности и экологичности движения, необходимо получение информации не только об отдельных транспортных коммуникациях, но и обо всех примыкающих улицах.

1.2 Оценка видов и объемов мониторинга транспортных потоков на улично-дорожной сети городов Российской Федерации

В процессе решения задач по проектированию транспортной сети важнейшей составляющей является интенсивность (N) и состав движения. С указанными показателями тесно связаны плотность транспортного потока (ρ), скорость движения автомобилей (v) и другие параметры. Для определения параметров, на которых основываются проектные решения, выполняется систематический учет интенсивности и состава движения (мониторинг). Для решения инженерных задач различного объема и направленности мониторинг

может выполняться в микро- и макромасштабе. Мониторинг локальных объектов, выполняемый в микромасштабе, ограничивается рамками отдельно взятого объекта (улицы) и выполняется по линейному принципу [83], подобная деятельность применима для проектирования улиц местного значения.

Для решения более масштабных задач проектирования улично-дорожной сети в рамках градостроительной деятельности возникает необходимость мониторинга интенсивности движения на значительном количестве улиц одновременно, в связи с чем, город рассматривается как сетевой объект.

В процессе изучения применимости существующих дистанционных методов определения параметров транспортного потока был выполнен анализ отечественной и зарубежной практики мониторинга интенсивности движения и других характеристик. Возникла необходимость выбора оптимального способа или сочетания способов с учетом совершенствования методов определения параметров транспортного потока на улично-дорожной сети, повышающих полноту и достоверность информации, обосновывающей проектные решения, а также минимизации трудовых затрат и материальных ресурсов.

В практике мониторинга в различных масштабах традиционно применяются такие способы, как ручной способ, учет с применением индуктивных датчиков движения, методы аэромониторинга с применением беспилотных или управляемых летательных аппаратов, фото- и видеофиксация.

Изучение параметров транспортных потоков возможно с применением индуктивных датчиков, которые осуществляют автоматизированный учет общей интенсивности движения и вида автомобилей. При этом недостатками указанного метода являются невозможность одновременного введения в систему улично-дорожной сети из-за большого количества автономных устройств (стоимость одного из которых варьируется от 229,7 до 623,5 тысяч рублей), наличие погрешности при регистрации групп автомобилей и неремонтопригодность части устройства, находящейся под дорожным покрытием. Для получения результата с допустимыми погрешностями считывания типа автомобиля необходимо снижение скорости движения автомобиля до 15 км/час [28].

В таблице 1 представлены данные потребности в датчиках WIN (Weight in motion, США).

Таблица 1 – Количественный анализ внедрения индуктивных датчиков для мегаполисов Российской Федерации

Город	Количество улиц	Количество датчиков	Темп прироста, %	Сумма, тыс. руб.	Общая сумма, тыс. руб.
Москва	3651	47463	2,8	166 120,5	773 393,5
Санкт-Петербург	4323	43230	2,3	151 305,0	
Новосибирск	1723	10338	1,9	36 183,0	
Екатеринбург	1061	7427	0,8	25 994,5	
Нижний-Новгород	1368	10944	0,7	38 304,0	
Казань	1783	10698	1,3	37 443,0	
Челябинск	1076	7532	1,1	26 362,0	
Омск	1329	7974	0,9	27 909,0	
Самара	673	4711	0,3	16 488,5	
Ростов на Дону	2182	17456	1,6	61 096,0	
Уфа	1199	11990	0,8	41 965,0	
Красноярск	915	5490	0,8	19 215,0	
Волгоград	1704	11928	0,4	41 748,0	
Пермь	1476	7380	0,6	25 830,0	
Воронеж	925	9250	0,3	32 375,0	

Таким образом, количественный анализ внедрения индуктивных датчиков для мегаполисов Российской Федерации показал, что в условиях современного города, полученных объемов работ, низких темпов внедрения и рассчитанного денежного эквивалента применение данного прибора и его аналогов не представляется возможным.

В настоящее время для целей проектирования улиц и городских дорог применяется такой прогрессивный метод дистанционного мониторинга, как аэрофотосъемка с использованием пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов [34], который позволяет получить наглядные данные о технических и дорожных параметрах транспортных потоков. Эти данные необходимы для повышения эффективности функционирования улично-дорожной сети, удобства и безопасности движения.

При выполнении мониторинга съёмка производится по определенной схеме в силу специфических особенностей летательного аппарата. Замеры данных, используемых при исследовании транспортных потоков, выполняются по схеме, представленной на рисунке 4.



Рисунок 4 – Схема аэрографической съёмки

d – Ширина захватки кадра.

В ходе полета маршрут делится на участки. Схема является универсальной для любого типа летательного шасси. Данная схема съёмки имеет вид «зигзага», это связано с возможностью съёмочного оборудования и размерами исследуемого участка. Точность съёмочного процесса обеспечивается координацией летательного аппарата при помощи геоинформационных систем глобальной спутниковой навигации, таких как «ГЛОНАСС», которая имеет в своем доступе 24 спутника, обладает точностью до 2,8 метров (производство Россия) и GPS, которая содержит в доступе 31 спутник, имеющие точность до 5 метров (производство США) (таблица 2).

Таблица 2 – Технические характеристики цифровых камер для высотной съёмки

Производитель	НПП «Геосистема»	Vexcel Imaging	Leica Geosystems	Z/I Imaging
Модель	3-DAS-1	UltraCam D	ADS40	DMC
Размер изображения, пиксель	8 000×Max	11 500×7500	12 000×Max	13 824×7680
Ширина полосы захвата	1600	2300	2400	2765

Производитель	НПП «Геосистема»	Vexcel Imaging	Leica Geosystems	Z/I Imaging
при разрешении на местности 0,2 м, м				
Размер пикселя, мкм.	9	9	6.5	12
Минимальный интервал съемки, с	750	1	800	2.1
Ширина захватки, d, м.	360-2880	150-2500	450-4000	570-5000
Ориентировочная стоимость, дол.	250000	700000	>1 000000	>1 000000
Страна-производитель	Россия	Австрия	Швейцария	Канада

К достоинствам применения управляемых летательных аппаратов для аэрофотосъемки в процессе исследования участка улично-дорожной сети относят их универсальность, обусловленную значительной грузоподъемностью и широким диапазоном изменения скорости.

Применение пилотируемого летательного аппарата ограничено наличием надлежащего летательного и съемочного оборудования, необходимостью проработки вопросов места взлета и посадки, а также существенными затратами на топливо летательного аппарата.

Чаще находит применение беспилотный летательный аппарат в силу увеличения рентабельности за счет упрощения проведения работ, оперативности получения снимков высокого разрешения, возможности получения снимков в труднодоступных местах, «бесконтактной» съемки объектов в зонах повышенной степени опасности, высокой производительности, простоты их транспортировки и многофункциональности.

Вид беспилотного летательного аппарата выбирается исходя из погодных условий, радиуса и высоты полета, так как увеличение высоты исследования позволяет за меньшее количество пролетов определить параметры транспортного потока.

В результате обработки материалов аэрофотосъемки установлено, что с учетом разрешающей способности человеческого глаза, площади покрытия транспортной сети, прилегающих к ней транспортных сооружений, их элементов и объектов транспортной инфраструктуры оптимальным для исследования

состояния дорожного покрытия является выполнение мониторинга с высоты около 300 метров (рисунок 5).



Рисунок 5 – Пример снимка, выполненного с БПЛА

а – высота ~ 680 м, разрешение ~15 см; б – высота ~ 300 м, разрешение ~ 4 см;
в – высота ~ 150 м, разрешение ~ 2 см.

К сдерживающим факторам применения беспилотного летательного аппарата можно отнести необходимость перемещения по наземным путям для съемки другого участка.

Сравнительный анализ летательных аппаратов с учетом режимов их работы был выполнен на примере микрорайона города Санкт-Петербурга с размерами 4×8 км. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительный анализ летательных аппаратов

№	Виды		Оптимальная высота съемки h, м	Ширина съемки d, м	Время, потраченное на съемку t _с , час	Цена съемки района, тыс. руб.
	Пилотируемые	Беспилотные				
1	Самолет	–	920	600	0,26	1440
2	Вертолет	–			0,4	480
3	Автожир	–			0,26	240
4	Дирижабль	–			0,8	960
5	–	Самолетного типа	300	600	0,26	224
6	–	С гибким крылом			0,66	192
7	–	Вертолетного типа			0,56	160
8	–	Аэростатического типа			0,8	768

В сравнении с пилотным, беспилотный летательный аппарат имеет ограниченную площадь исследования, что определяет ограниченное использование метода для повышения эффективности проектирования сети улиц и городских дорог.

В развитых европейских странах, например, в Великобритании, исследование в рамках макромасштаба выполняется при помощи наземных камер видеонаблюдения. Такие особенности, как работоспособность и наличие их в достаточном количестве позволяет находить сведения в необходимом объеме (табл. 4). Обеспеченность наземными видеокамерами города Москвы, являющимся лидером Российской Федерации в области видеотизации, составляет 2 % по отношению к столице Великобритании. При этом в случае сохранения имеющихся темпов развития видеотизации, Российская Федерация достигнет уровня видеотизации европейских стран примерно через 26 лет [1].

Таблица 4 – Обеспеченность средствами видеонаблюдения столиц европейских и азиатских стран на 2018 год (фрагмент)

Страна	Город	Численность, млн. чел.	Уровень автомобилизации, авт./1000 ч.	Количество видеокамер, шт.
Великобритания	Лондон	8,788	320	60870
Франция	Париж	2,244	264	60000
Нидерланды	Амстердам	0,821	269	35000
Германия	Берлин	3,470	317	23800
Швеция	Стокгольм	0,789	366	15000
Украина	Киев	2,804	213	6000
Казахстан	Астана	0,814	385	6000
Россия	Москва	11,920	297	1200
Азербайджан	Баку	2,166	300	1200

Ограничивающими факторами применения видеонаблюдения на территории Российской Федерации являются региональные природно-климатические особенности и создание помех флоры и фауны.

При использовании дополнительных модулей, таких как аппаратно-программные комплексы «ПОТОК-ПДД» [100] и «Traffix», становится возможным применение камер высокого разрешения (HD-камер) в режиме день-ночь, использование стандартной аппаратной платформы x86/x64, контроль интенсивности движения по полосам и передача информации для аналитической обработки данных. В силу ограниченного количества пунктов наземного видеонаблюдения в настоящее время не удается получать сетевую информацию с

улиц и городских дорог, в связи с чем, можно рекомендовать интенсивное внедрение камер видеонаблюдения.

Для получения репрезентативной картины помимо аппаратно-ресурсных возможностей телекоммуникационных систем необходимы возможности, основанные на закономерностях, позволяющих информационно-аналитическими методами преобразовывать статическую модель в параметры транспортных потоков. Краткая оценка видов и объемов мониторинга транспортных потоков на примере г. Москвы приведена в приложении А.2.

Для ещё более широкого охвата территории допустимо использование мониторинга посредством спутниковых снимков, что исключит основные недостатки ранее рассмотренных методов: ограниченную площадь исследуемой территории и необходимость аренды летательного аппарата, внедрения большого количества видеокамер и так далее. Мониторинг транспортных потоков с помощью спутниковых снимков отвечает требованиям современных городов в силу более высокой производительности и положительной экономической составляющей.

1.3 Оценка применимости существующих методик дешифровки результатов мониторинга транспортных потоков на сетевых дорожных объектах

Статическое изображение плотности транспортных потоков, полученное в ходе фото- и видеонаблюдения необходимо интерпретировать в динамическую составляющую – интенсивность, в связи с чем, возникает необходимость разработки математического аппарата по определению динамической составляющей.

В теории транспортных потоков существуют уравнения движения, связывающие между собой различные их параметры. Особенности зависимостей параметров транспортных потоков рассмотрены в трудах Ф. Хейта 1966 [42], В.М. Трибунского 1972 [41], Д. Дрю 1972 [29], А.Н. Красников 1976 [32], В.В. Сильянова 1977 [40], В.М. Еремина 1981 [39], Г.И. Клинковштейна 1982 [31] Я.В.

Хомяка 1986 [43], Г.А. Менделев 2001 [51], В.В. Семенова 2006 [37], В. Маркуца 2008 [33], А.В. Гасникова 2013 [27] и других ученых.

Американский исследователь Ф. Хейт в своих трудах [42] устанавливает соотношение между положениями теории транспортных потоков и теорией вероятностей, а также разрабатывает обобщенные математические модели движения автомобилей.

В трудах Д. Дрю [29] особое внимание уделено современным методам регулирования движения на сложных узловых пересечениях и скоростных магистралях, а также методам проектирования транспортных систем с высокой пропускной способностью.

Одним из основателей закономерностей движения автомобилей на многополосных автомобильных дорогах является А.Н. Красников [32]. Автором выявлено влияние многополосности, дорожных условий и состава транспортного потока на основные технико-эксплуатационные характеристики для конкретных транспортных объектов.

Математический аппарат в трудах В.В. Сильянова [40] разработан под существовавший уровень загрузки для различных направлений движения на примере четырехполосной загородной дороги.

В совместных исследованиях В.В. Сильянова и В.М. Еремина [39] появляются первые упоминания о зависимости плотности обгонов от интенсивности и плотности движения, полученные с помощью имитационного моделирования движения по двухполосной дороге на основе алгоритма обобщенной блок-схемы функционирования агрегативной системы.

В трудах Г.И. Клинковштейна [31] детально рассмотрена связь интенсивности движения, скорости и плотности транспортных потоков. Особенностью работы является выявление возможности определения скорости движения через тангенс угла наклона между интенсивностью движения и плотностью потока.

При изучении закономерностей распределения транспортных потоков Я.В. Хомяк [43] сформулировал теорию определения интенсивности движения от

плотности, применимую в диапазоне, за пределами которого интенсивность движения принимает отрицательные значения.

В научных исследованиях Ю.В. Карася [30] указана зависимость теоретической пропускной способности от состояния покрытия. При сухом покрытии такого влияния не отмечается. Особо стоит отметить, что в данной работе указано влияние расчетной пропускной способности на определение геометрических параметров дороги.

Г.А. Менделев установил зависимость скорости движения транспортного потока от уровня загрузки, которая дает возможность определить необходимую пропускную способность участка дороги и соответствующую ей оптимальную скорость движения, а также обосновал возможность прогнозирования изменения интенсивности загрузки улично-дорожной сети во времени. Существенным недостатком в рассматриваемых трудах Г.А. Менделева является отсутствие разработанных зависимостей [51].

В работах В.В. Семёнова [37], отражено уравнение, доказывающее зависимость плотности от скорости движения автомобилей и указан ее нелинейный характер. Кроме того, отмечено, что при переполненном потоке динамические габариты трансформируются в физические габариты автомобиля.

В трудах А.В. Гасникова [27] внимание уделяется гидродинамическим аналогам транспортных потоков и сжимаемой жидкости. В работе предлагаются оптимальные режимы движения на диаграмме транспортных потоков.

Проверка актуальности проанализированных математических аппаратов при современном уровне автомобилизации представлена в графической интерпретации (рисунок б).

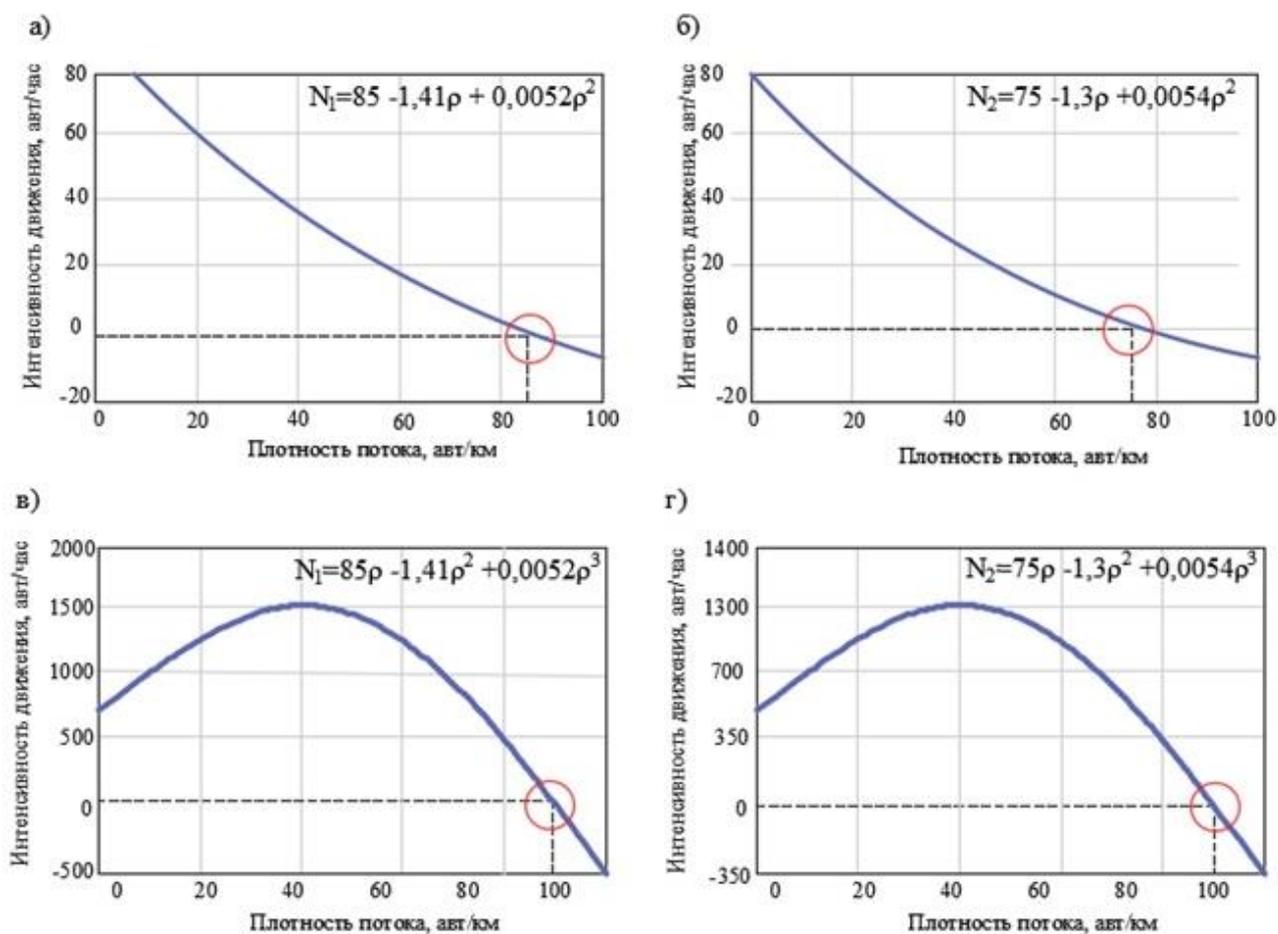


Рисунок 6 – Зависимости интенсивности движения от плотности потока

а, в – левая полоса движения; б, г – правая полоса движения;

а, б – методика В.В. Сильянова; в, г – методика Я.В. Хомяк;

Анализа интенсивности движения от плотности транспортных потоков по методике Сильянова В.В. (рис.6 а, б) и Я.В. Хомяка (рис б в, г) показал, что интенсивность движения принимает отрицательные значения. Кроме того, следует отметить, что в условиях современного уровня автомобилизации данная методика дает заниженные результаты.

Расчет погрешности отклонений фактических данных от расчетных представлен в таблице 5:

Таблица 5 – Анализ существующих зависимостей

№	Автор	Год	Функциональные зависимости	Диапазон плотности	Δ , %
1	В.В. Сильянов	1977	$N_1 = 85 - 1,41\rho + 0,0052\rho^2$	0-90	275,3
			$N_2 = 75 - 1,3\rho + 0,0054\rho^2$		275,3
2	Я.В. Хомяк	1986	$N_1 = 85\rho - 1,41\rho^2 + 0,0052\rho^3$	0-100	60,5
			$N_2 = 75\rho - 1,3\rho^2 + 0,0054\rho^3$		60,5

Проверка актуальности существующих зависимостей была выполнена на основе эксперимента, с учетом существующих объемов движения и транспортных условий и показала величину недопустимой погрешности полученных значений. Все проанализированные методики в целом применимы для исследования транспортных потоков на загородных дорогах и совершенствования методов мониторинга, при этом для существующих объемов движения погрешность значительно превышает допустимые пределы.

В связи с изложенными предпосылками, целью работы является совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Выполнить анализ проблематики методов мониторинга транспортного потока в крупных городах Российской Федерации;
2. Обосновать теоретические предпосылки исследования транспортного потока на основе дистанционного наблюдения при проектировании улично-дорожной сети;
3. Выполнить экспериментальные исследования по определению интенсивности движения, как основного параметра транспортного потока, для проектирования новых транспортных объектов, реконструкции существующих улиц и дорог;
4. Разработать рекомендации по применению дистанционного мониторинга транспортных потоков крупных городов Российской Федерации на основе спутникового и видеонаблюдения для проектирования улично-дорожной сети, и обеспечения безопасности дорожного движения.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Анализ особенностей развития городов Российской Федерации, позволил сформулировать актуальность рассматриваемой проблемы, подтвердить

необходимость получения репрезентативных данных о параметрах транспортных потоков при рассмотрении города как сетевого объекта.

При проектировании улично-дорожной сети с применением различных видов мониторинга параметров транспортных потоков обоснована необходимость интеграции нескольких методов мониторинга.

С целью подтверждения необходимости разработки математического аппарата дешифровки, отвечающего современным требованиям транспортной сети, выполнен детальный анализ существующих научных трудов по теории транспортных потоков и функциональных зависимостей дешифровки статических параметров в динамические характеристики. Все проанализированные методики в целом применимы в рамках определенного диапазона интенсивности. При этом, для существующих объемов движения погрешность значительно превышает допустимые пределы, что обуславливает необходимость совершенствования методов мониторинга.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

2.1 Алгоритм применения дистанционного мониторинга транспортных потоков при проектировании улично-дорожной сети

Проектирование улично-дорожной сети – это понятие, включающее в себя различные этапы воплощения проекта, основным результатом которого является модернизация дорожно-транспортной инфраструктуры города.

Для определения необходимых параметров комплекса проектных работ, направленных на разработку новых или усовершенствование существующих улиц, требуется значительное количество информации: исходные данные для проектирования и данные об условиях для подготовки проектной документации; материалы изысканий различных видов; данные для технологических решений и т.п.

Для детальной проработки текущего вопроса были проанализированы условия, необходимые для проектирования, и составлена структурная схема, наглядно демонстрирующая влияние каждого отдельного показателя на этапы проектирования (рисунок 7).

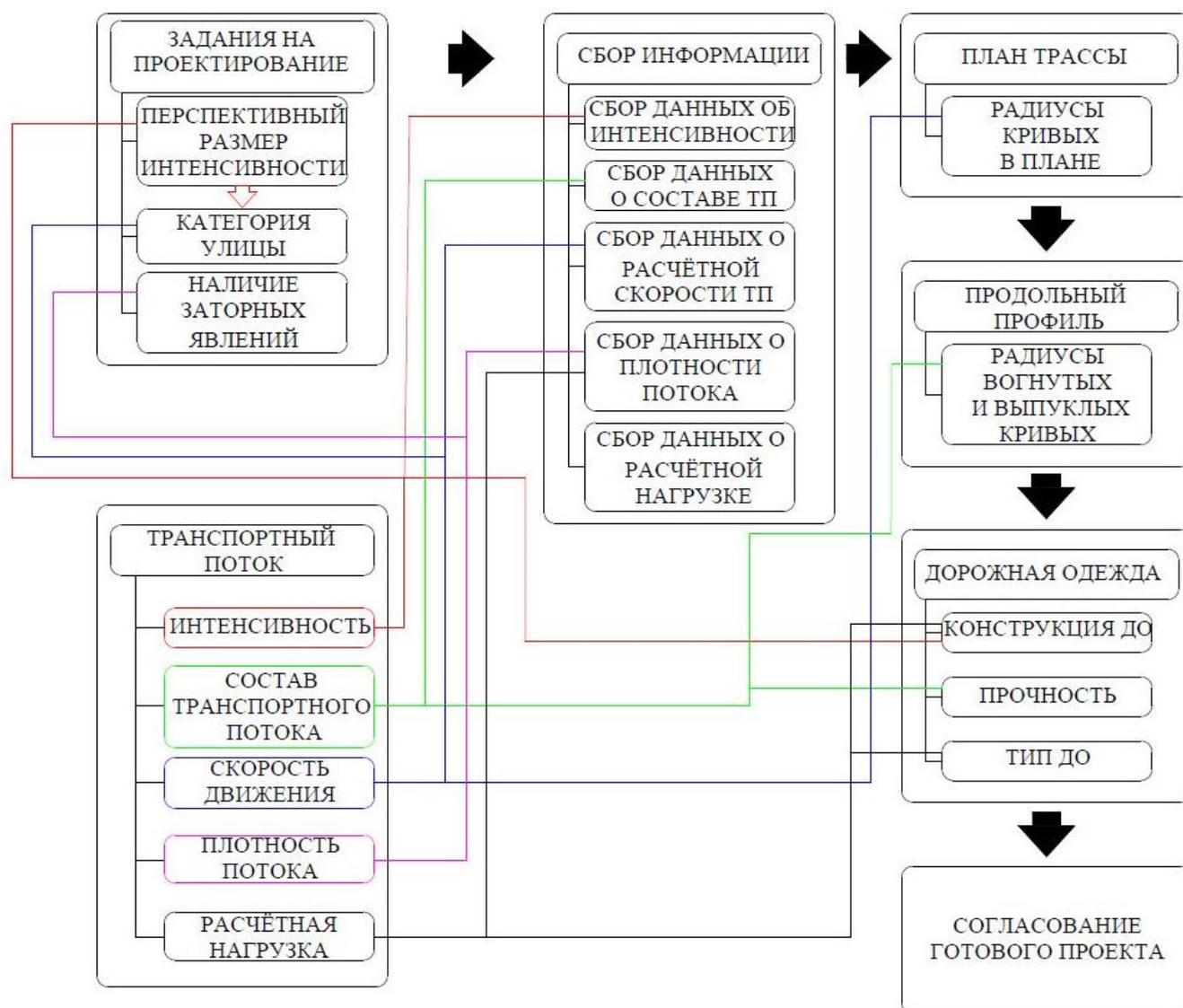


Рисунок 7 – Влияние параметров транспортного потока на различные этапы проектирования

На основе анализа выше представленной схемы можно сделать вывод, что существуют данные, которые оказывают влияние на отдельные этапы проектирования и параметры, присущие значительному количеству стадий разработки проекта.

В исследовании изучены виды работ, выполняемые с учетом основного параметра транспортного потока. Интенсивность движения используется при проектировании реконструкции (перераспределении объемов движения, назначении числа полос движения, усилении дорожной одежды) и проектировании улиц-дублеров (расчет геометрических параметров и дорожной одежды проектируемой улицы), а также организации дорожного движения

(особенности изменения движения в течение суток, организация реверсивного движения) в крупных городах. Для подтверждения вышесказанного был выполнен анализ расчётных аппаратов, основанных на данных о величине интенсивности движения. Результаты работы представлены в таблице приложения А.3.

На основе анализа производных параметров интенсивности движения можно сделать вывод, что интенсивность имеет широкий спектр областей применения и ее определение является основой для принятия значительного числа решений при проектировании улично-дорожной сети крупных городов. Указанный факт обосновывает необходимость совершенствования методов определения интенсивности движения транспортного потока.

Точность определения интенсивности и состава транспортного потока, а также производных параметров, таких как скорость движения и плотность потока, оказывает значимое влияние на полноту и достоверность информации, обосновывающей проектные решения и точность расчетов.

2.2 Научные основы исследования

В соответствии с теорией А.П. Васильева [66] в основу исследования было положено соотношение между интенсивностью, скоростью и плотностью транспортного потока:

$$N = \rho v, \quad (1)$$

где ρ – плотность транспортного потока;

v – скорость движения транспортного потока.

Данная формула может быть трансформирована в графическую зависимость – основную диаграмму транспортных потоков, в которой тангенс угла наклона касательной определяет скорость движения транспортных потоков. При наличии значения плотности потока (ρ_i) становится возможным определение основного параметра транспортных потоков (интенсивности движения (N_i)) посредством использования разработанной математической зависимости (рисунок 8):

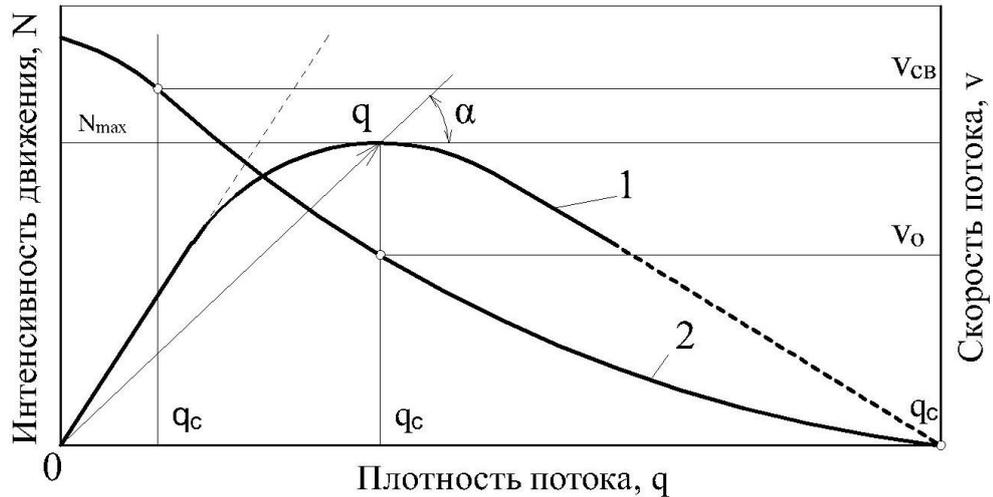


Рисунок 8 – Основная диаграмма транспортных потоков [32]

q_c – средняя плотность транспортного потока;

1 – $N_a(q)$ – графическая зависимость скорости от плотности;

2 – $V_a(q)$ – графическое выражение средней скорости потока.

В процессе применения информационно-аналитического метода дешифровки статического изображения в динамическую характеристику транспортных потоков, первичными данными являются значения плотности потока, в том числе в состоянии, отличном от эталонного. Изучение корреляционной зависимости между параметрами транспортных потоков представлено в теории транспортных потоков [42].

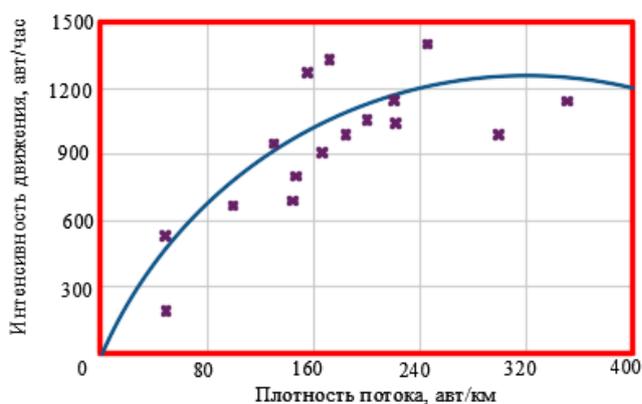
График соотношения между интенсивностью, скоростью и плотностью транспортного потока имеет свойства деформироваться. Деформация происходит вследствие ограничения каким-либо фактором скорости при отсутствии ограничений по плотности. Ее можно назвать деформацией по скорости. При этом площадь основной диаграммы транспортных потоков, построенной для эталонных условий на данном участке, сокращается слева и сверху. Деформации по скорости наиболее вероятны при сокращении ширины проезжей части и наличия укрепленных обочин, ухудшении ровности покрытия и увеличении сопротивления движению при воздействии ветра.

При деформации по скорости и плотности под воздействием одного или более факторов происходит одновременное снижение допустимой или

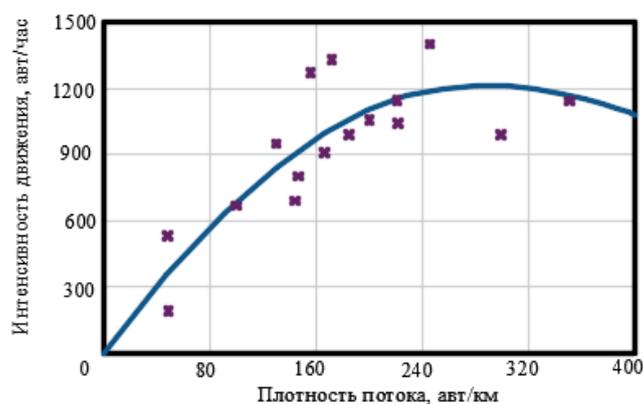
фактической скорости и увеличение интервалов между автомобилями. Площадь основной диаграммы ограничивается слева, сверху и справа. Этот вид деформации наиболее распространен и вероятен при снижении коэффициента сцепления во время снегопада, дождя, метели, гололёда, тумана и других метеорологических явлений, а также их сочетаний.

С учетом вышеперечисленных деформаций график может трансформироваться, приближаясь к виду различных математических функций. Для исследуемых объектов был выполнен эксперимент, на основе фактических значений интенсивности и плотности, по результатам которого в системе координат диаграммы транспортных потоков (ось абсцисс - плотность транспортных потоков, ось ординат - интенсивность движения) были нанесены измеренные величины параметров. Конфигурация функций на примере характерной улицы в виде точечных диаграмм приведена на рисунке 9 (пример: ул. Максима Симонова, г. Волгоград):

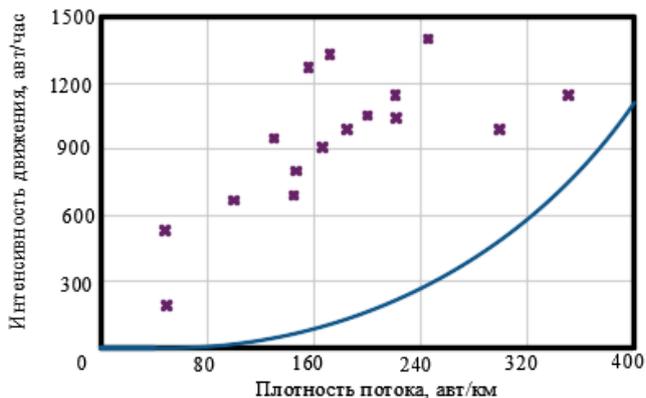
а)



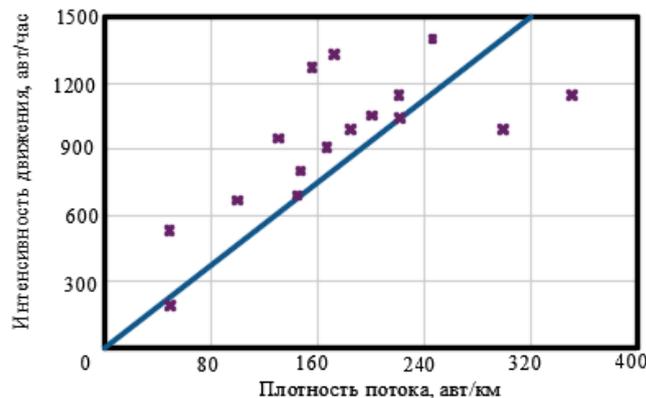
б)



в)



г)



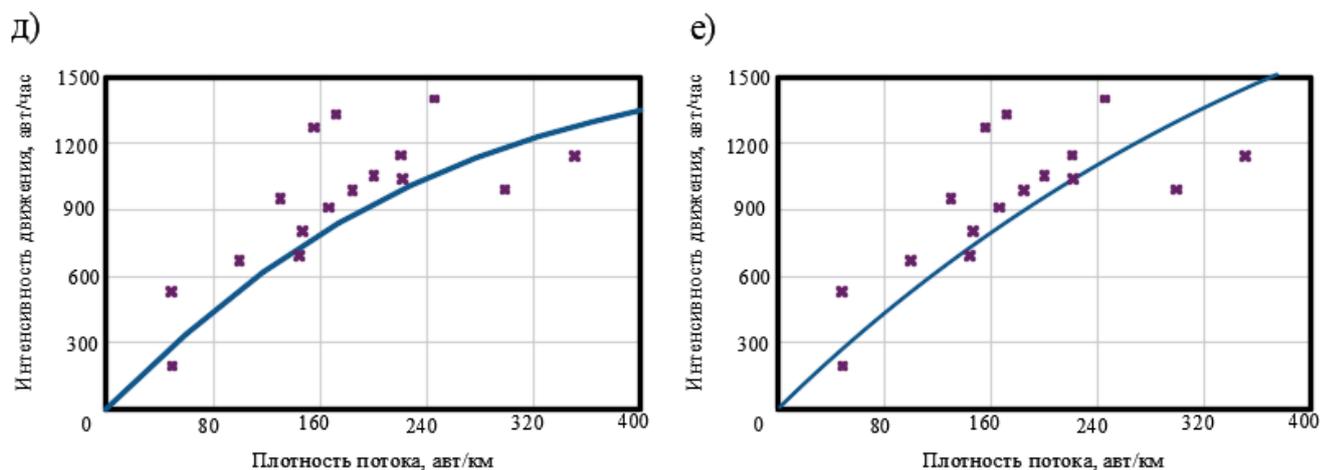


Рисунок 9 – График зависимости интенсивности движения от плотности транспортного потока различными функциональными зависимостями

- а) полиномиальная второго порядка; б) полиномиальная третьего порядка
 в) линейная; г) логарифмическая; д) степенная; е) экспоненциальная.

Критерием оптимальности в процессе поиска наиболее адекватного функционала зависимости интенсивности движения и плотности потока явилась величина достоверности аппроксимации R^2 [91] (формула 2).

$$R^2 = \frac{\sum (y_i - y_x)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2)$$

где y_i – фактические значения;

y_x – значение аппроксимирующей функции.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i. \quad (3)$$

Анализ графической конфигурации полиномиальных функций второго и третьего порядка представлен на рисунке 9 а, б. Полином второй степени может иметь только один максимум или минимум. Полином третьей степени имеет два экстремума. Полином четвертой степени может иметь не более трех экстремумов.

График, описываемый полином третьей степени, имеет в первой части нисходящую ветвь, затем восходящую, и будет иметь два экстремума, что не корректно описывает изменение интенсивности движения при дальнейшем увеличении плотности движения транспортных потоков.

При рассмотрении линейной функциональной зависимости изменения интенсивности движения и плотности транспортных потоков была получена зависимость, представленная на рисунке 9 (в).

В случае применения метода линейной аппроксимации интенсивность и плотность бесконечно возрастают, что невозможно в реальных условиях.

Графики, построенные на основе массива величин статических и динамических параметров транспортного потока, находятся в допустимых пределах лишь на определенном отрезке функции (рис. 9 г).

Логарифмическая аппроксимация близко описывает как положительные, так и отрицательные величины. Результаты проработки применимости степенной функции отображены на рисунке 9 (д).

Степенное приближение даёт адекватные результаты исследуемых парных значений, если зависимость характеризуется постоянной скоростью роста.

Экспоненциальное приближение (рисунок 9, е) имеет существенные отклонения при рассмотрении экспериментальных значений, поскольку угол наклона фиксируемых параметров непрерывно возрастает.

На основе анализа полученных результатов можно сделать вывод о том, что линейная и экспоненциальная зависимости являются неприменимыми в связи с отрицательными рассчитанными значениями. При выборе функциональной зависимости была принята квадратичная зависимость. Данный факт обусловлен тем, что графические зависимости интенсивности движения от плотности потока в определенный момент достигают пика, который может пропустить дорога, и в этот момент интенсивность должна пойти на спад. С увеличением плотности транспортного потока интенсивность движения должна сокращаться, поскольку автомобили не могут совершать маневры, и проезд невозможен вследствие наличия на полосе движения множества других автомобилей.

Выполненные расчеты подтверждают, что наиболее точно описывающей функцией является полиномиальная второго порядка. Сделанные выводы доказаны расчетами величины достоверности аппроксимации, представленными в таблице 6.

Таблица 6 – Значение коэффициента аппроксимации

Функция	Уравнение	Коэффициент аппроксимации
Полиномиальная второго порядка	$N = -0,0136\rho^2 + 8,5403\rho$	0,8679
Полиномиальная третьего порядка	$N = -5 \cdot 10^{-6}\rho^3 + 0,0157\rho^2 + 5,2697\rho$	0,8625
Линейная	$N = 322,68 \cdot e^{0,0057\rho}$	0,7136
Логарифмическая	$N = 5,2918\rho$	0,7166
Степенная	$N = 639,531 \cdot \ln(\rho) - 2244,2$	0,7179
Экспоненциальная	$N = 8,1696\rho^{0,9241}$	0,6671

Данная функциональная зависимость принята для дальнейшей разработки уравнений, описывающих закономерность изменения параметров транспортных потоков.

2.3 Структура исследования транспортных потоков дистанционным мониторингом посредством спутникового наблюдения

Сущность метода дистанционного мониторинга транспортных потоков посредством спутникового наблюдения заключается в получении данных со снимков путем определения плотности потока на полосе движения перегона улицы, а также в последующей ее трансформации в количество автомобилей на километр (рисунок 10).

На сегодняшний день существуют контенты, как платные (TomTom, HEREmaps), так и бесплатные, среди которых наиболее информативны: BingMaps, Yahoo! Maps, Яндекс.Карты и GoogleMaps. Анализ частоты обновлений представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Частота обновлений бесплатных онлайн-ресурсов

Год	Google Maps	Яндекс. Карты	Yahoo! Maps	BingMaps	Карты Mail.Ru
2014	07.03; 29.09; 06.10.	—	6.10.	—	—
2015	03.06; 06.08.	—	—	—	—
2016	08.11; 24.11.	15.04.	—	—	—
2017	01.05.	—	—	—	—
2018	01.07	13.07	—	18.08	—

Согласно результатам исследования, Google maps занимает лидирующую позицию среди представленных выше ресурсов, однако стоит учитывать, что конкуренты используют карты Google на договорной основе, но не имеют периодичность обновлений, сопоставимую с картами GoogleMaps.

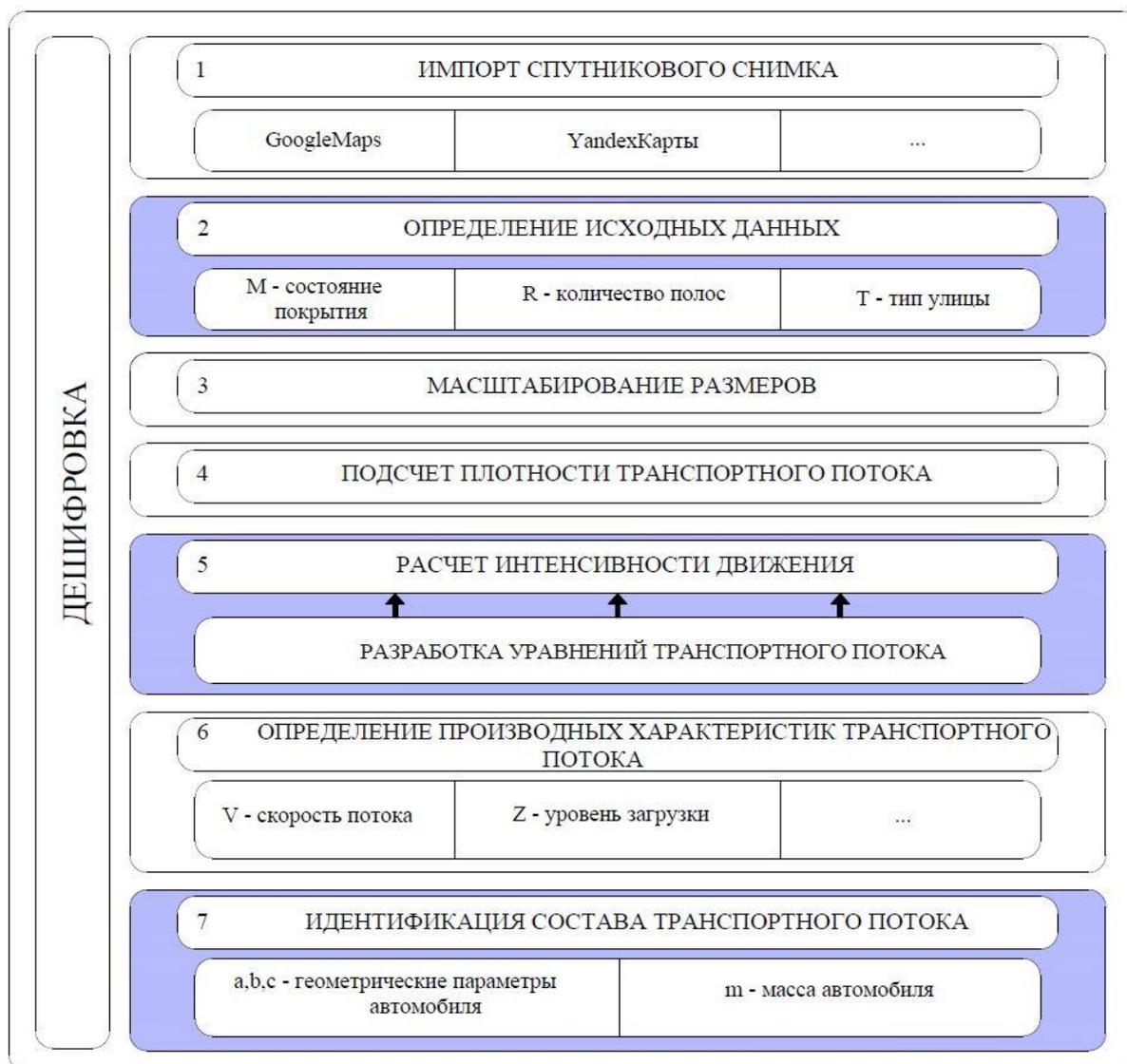


Рисунок 10 – Структурная схема определения параметров ТП методом дистанционного спутникового мониторинга

Как было заявлено ранее, интеграция нескольких дистанционных методов, а именно: видеонаблюдение и результатов спутникового мониторинга, – будет являться наиболее репрезентативным и наименее ресурсно-затратным способом получения информации. Данный способ сбора информации повышает эффективность функционирования транспортных сетей, удобство и безопасность

движения, а также полноту и достоверность информации, обосновывающей проектные решения. Интеграция указанных способов необходима для проектирования улично-дорожной сети, в частности, для определения транспортного спроса.

Для выбора наиболее значимых факторов, влияющих на формирование величины интенсивности движения, выполнено изучение их широкого спектра (рисунок 11).

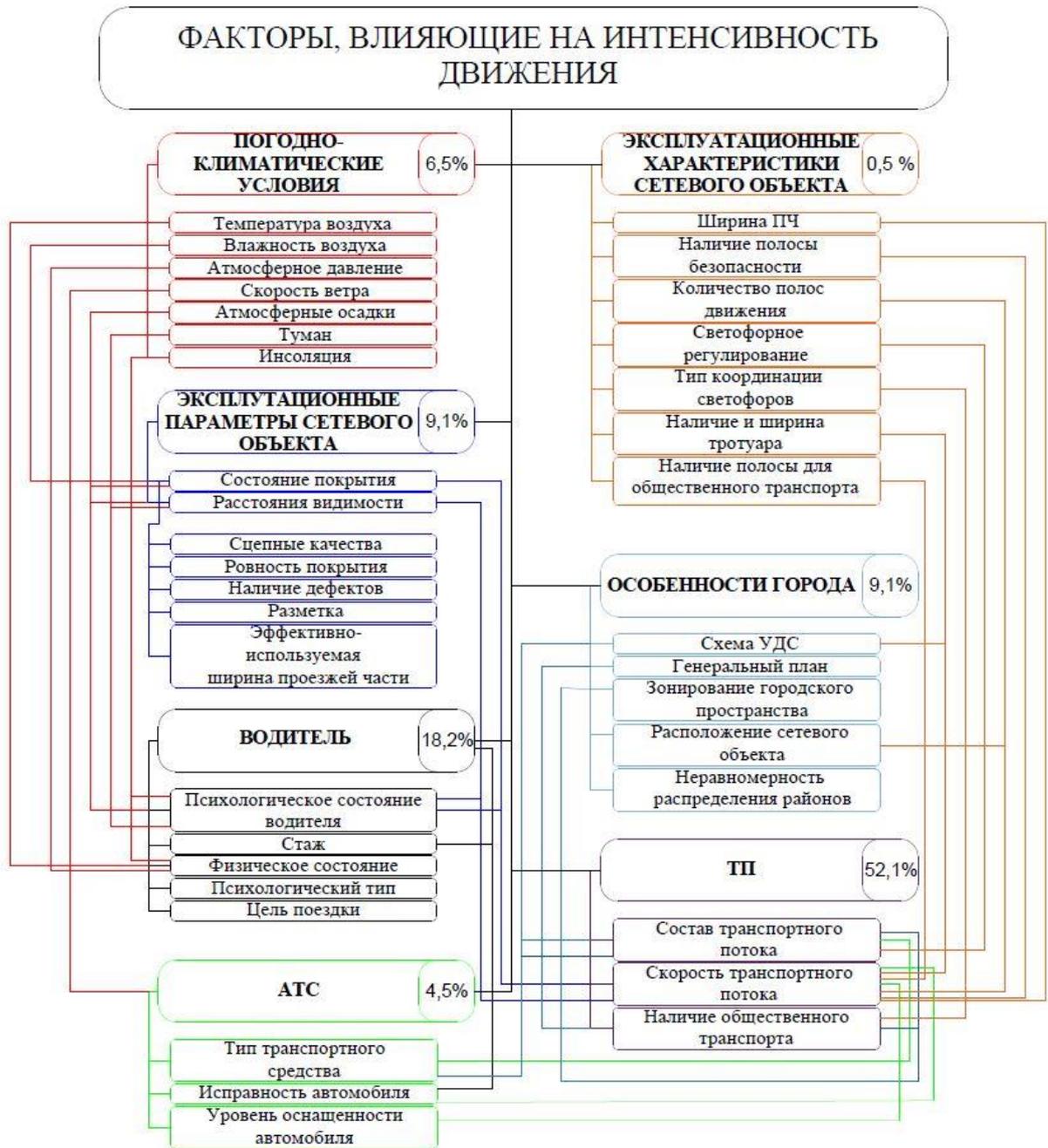


Рисунок 11 – Структурная схема факторов, оказывающих влияние на формирование параметров

На транспортный поток влияет спектр различных факторов, представленных на рисунке 11, каждый из которых оказывает влияние на функционирование транспортных систем.

Основным фактором явились погодные-климатические условия, которые непосредственно влияют на состояние дорожного покрытия. Опираясь на данный факт, водитель подбирает комфортный и безопасный для него режим движения.

Технические параметры транспортного потока так же диктуют водителю комфортный режим движения: современные высокотехнологичные оборудованные автомобили создают для водителя более комфортные и безопасные условия.

Дорожные условия оказывают значительное влияние на управление автомобилем и на особенности его движения. Часто рассматриваемым случаем является тот факт, что в момент начала движения сцепление автомобилей с дорожным покрытием имеет большее значение, чем при торможении на скользком покрытии.

Особенности города так же имеют определенное влияние на движение автомобилей. На улично-дорожной сети выделяются отдельные участки и зоны, интенсивность движения на которых может достигать самых различных значений, которые могут быть несопоставимы друг с другом. Подобная пространственная неравномерность затрудняет передвижение по сетевым объектам.

Таким образом, наибольшее влияние на основные параметры транспортного потока, оказывает распределение интенсивности в течение суток, количество полос движения и состояние дорожного покрытия (погодные условия). Изучение данных параметров обусловило необходимость выполнения трехфакторного пассивного эксперимента.

Трудоемкость и невозможность одновременного мониторинга определило выполнение исследования посредством метода видеонаблюдения (состояние покрытия, число полос движения и особенности распределения интенсивности движения в течение суток) [44]. Поэтапный план эксперимента представлен в параграфе 3.1.

В рамках существующего алгоритма определения параметров транспортного потока на основе спутникового снимка были доработаны этапы набора базы данных и идентификации состава транспортного потока, трансформировавшие алгоритм в вид: импорт снимка с онлайн-ресурса → определение исходных данных улицы → масштабирование размеров перегона → определение плотности потока → расчет интенсивности движения → определение производных параметров транспортного потока → идентификация состава транспортного потока.

Значимые факторы, оказывающие влияние на формирование величины интенсивности не учтены в существующих математических аппаратах, что обуславливает необходимость разработки математических зависимостей с применением видеонаблюдения в рамках настоящего исследования в следующей последовательности: типизация характерных состояний покрытия → формирование банка данных интенсивности и плотности → классификация улиц и городских дорог → расчет интенсивности по мультипараметрическим уравнениям (рисунок 12). Разработка мультипараметрических зависимостей необходима для повышения эффективности функционирования транспортной сети.



Рисунок 12 – Разработка мультипараметрических зависимостей

Полученные результаты плотности потока вводятся в соответствующие функциональные зависимости. Далее выполняется расчет производных параметров транспортного потока (скорость, уровень загрузки и т.д.).

Так же при изучении транспортного потока был проработан вопрос выбора оптимального масштаба спутникового снимка для дальнейшей возможности идентификации по составу движения (рисунок 13).

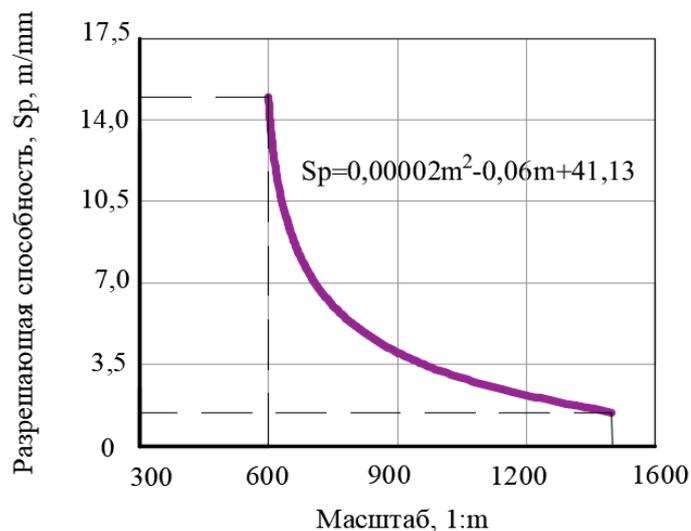


Рисунок 13 – Графическая зависимость масштаба и разрешающей способности

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что критическим масштабом, при котором идентификация транспортного потока по составу транспортного потока становится невозможной, является 1:1470 и соответствующее ему максимальное пространственное разрешение составляет 15 м/мм.

Для дальнейшей возможности идентификации по составу транспортного потока был направлен запрос отечественным и зарубежным онлайн-провайдерам картографических услуг. Полученные сведения легли в основу оценки технических возможностей спутников и качества снимков (таблица 8).

Таблица 8 – Технические возможности спутников (фрагмент таблицы)

№	Спутник	Дата запуска	Расчетный срок функционирования, год	Периодичность съемки, сутки	Пространственное разрешение, м/мм
1	GF-4	20.12.2015	8	1	50
2	AlSat-2B	26.09.2016	5	3	10
3	CBERS-4	7.12.2014	3	2-3	10
4	Deimos-2	19.06.2014	7	4	10
5	ALOS-3	2019	5	60	5
6	Formosat-5	24.08.17	5	2	2
7	DubaiSat-2	21.10.2013	5	1	1
8	BlackSky Pathfinder	26.09.2016	3	1	1
9	ASNARO-1	6.11.2014	3-5	1	0,5
10	Landsat-8	11.02.2013	10	16	15

Количественная оценка графического контента (масштаба), осуществлялась через пространственное разрешение. При изучении данного параметра была установлена его зависимость от масштаба изображения, в связи с чем был исследован вопрос изменения качества изображения при многократном увеличении спутникового снимка (рисунок 14).

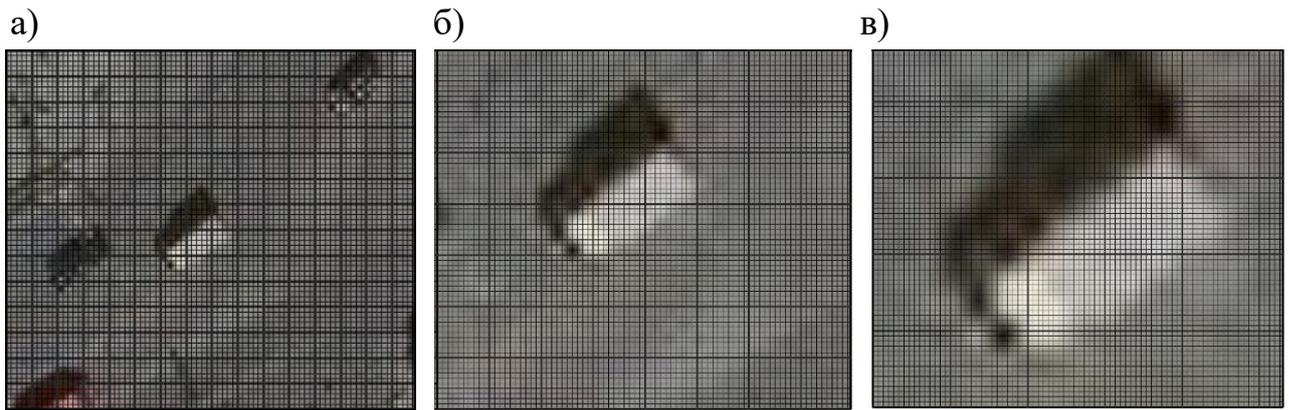


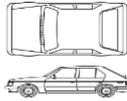
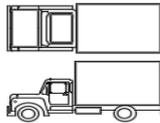
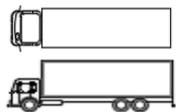
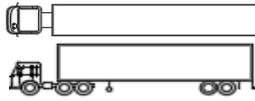
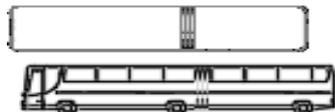
Рисунок 14 – Многократное увеличение изображения спутникового снимка, взятого со спутника Landsat-8 в масштабах: а – 1:600; б – 1:300; в – 1:200

Анализ показал, что при увеличении масштаба изображения до определенных значений возникают сложности идентификации автомобилей.

При изучении спутниковых снимков отмечена дополнительная возможность идентификации вида автомобилей по высоте и форме на основе теневой проекции.

Для более детального анализа были изучены индивидуальные особенности компоновки автомобилей, в соответствии с их классификацией, представленной в действующем нормативном документе (таблица 9).

Таблица 9 – Разделение транспортных средств по составу транспортного потока

№	Вид АТС	Характеристика	Характерные признаки				Схема автомобиля	Изображение со спутника
			Геометрические размеры*, м			Конструктивные особенности		
			а	б	в			
1	Легковые	1-3т.	2,0-5,0	1,5-2,0	1,6-2,2	Малые размеры		
2	Грузовые	До 2т.	2,0-4,0	1,6-2,0	1,6-2,2	2 оси Вес 1,5-3 тонны		
3		2-6т.	3,0-5,0	2,0-2,5	1,9-2,6	2 оси Вес 5-7 тонн		
4		6-8т.	4,0-8,0	2,0-2,5	2,0-2,5	2-3 оси Вес 5-7 тонн		
5		8-14т.	6,0-10,0	2,0-2,5	2,3-2,7	3-4 оси		
6		Более 14т.	12,0-16,0	2,3-2,6	2,5-3,2	4-8 оси		
7		Автобусы	Малой вместимости	4,5-7,5	2,0-2,5	2,2-2,6	2 оси	
8	Средней вмест.		8,0-9,5	2,2-2,8	2,2-2,8	2 оси		
9	Большой вмест.		10,5-12,0	2,2-2,8	2,2-3,0	2-3 оси		
10	Сочлененные и троллейбусы		16,5-24,0	2,4-3,0	2,4-3,2	2-4 оси, ярко выраженные отдельные части		

*а – длина, б – ширина, в – высота АТС

К индивидуальным особенностям автомобилей, способствующим их идентификации, можно отнести следующие специфические параметры: легковые автомобили имеют малые размеры в сравнении с другими, обширную цветовую гамму и значительную численность в составе транспортного потока. Отличительной особенностью всех грузовых автомобилей является наличие четко распознаваемой водительской кабины. Автобусы малой вместимости имеют четко выраженное выпуклое лобовое стекло, которое не просматривается у других видов автомобилей. Средние, большие, сочлененные автобусы и троллейбусы имеют от одной до трёх секций прямоугольной формы и определенную цветовую гамму (зеленый, желтый, синий, белый и так далее).

Вышеперечисленные виды общественного транспорта характеризуются режимом работы в утреннее, дневное и вечернее время, что необходимо учитывать при исследовании транспортного потока в различное время суток.

2.4. Анализ применения действующей классификации улиц и городских дорог с целью совершенствования методов дистанционного мониторинга транспортных потоков

Различные механизмы формирования интенсивности по категориям улиц и их назначению [23,24] обусловили необходимость детального рассмотрения действующей классификации.

При изучении данного вопроса было отмечено несоответствие установленной категории, функционального назначения улиц и невозможность использования классификации СП 42.13330.2016 [24].

В настоящее время, согласно действующему СП [24], интенсивность движения вынесена за рамки категоричности улиц и городских дорог, что не позволяет детализировать расчетами значимые параметры транспортного потока, такие как уровень загрузки, коэффициент суточной неравномерности движения, коэффициент полосности и ряд других показателей.

В связи с этим были идентифицированы структурные связи, определяющие категорию в рамках действующего свода правил и не учтенные им, но

оказывающие существенное влияние на ресурсные затраты в жизненном цикле улиц и дорог (рисунок 15).

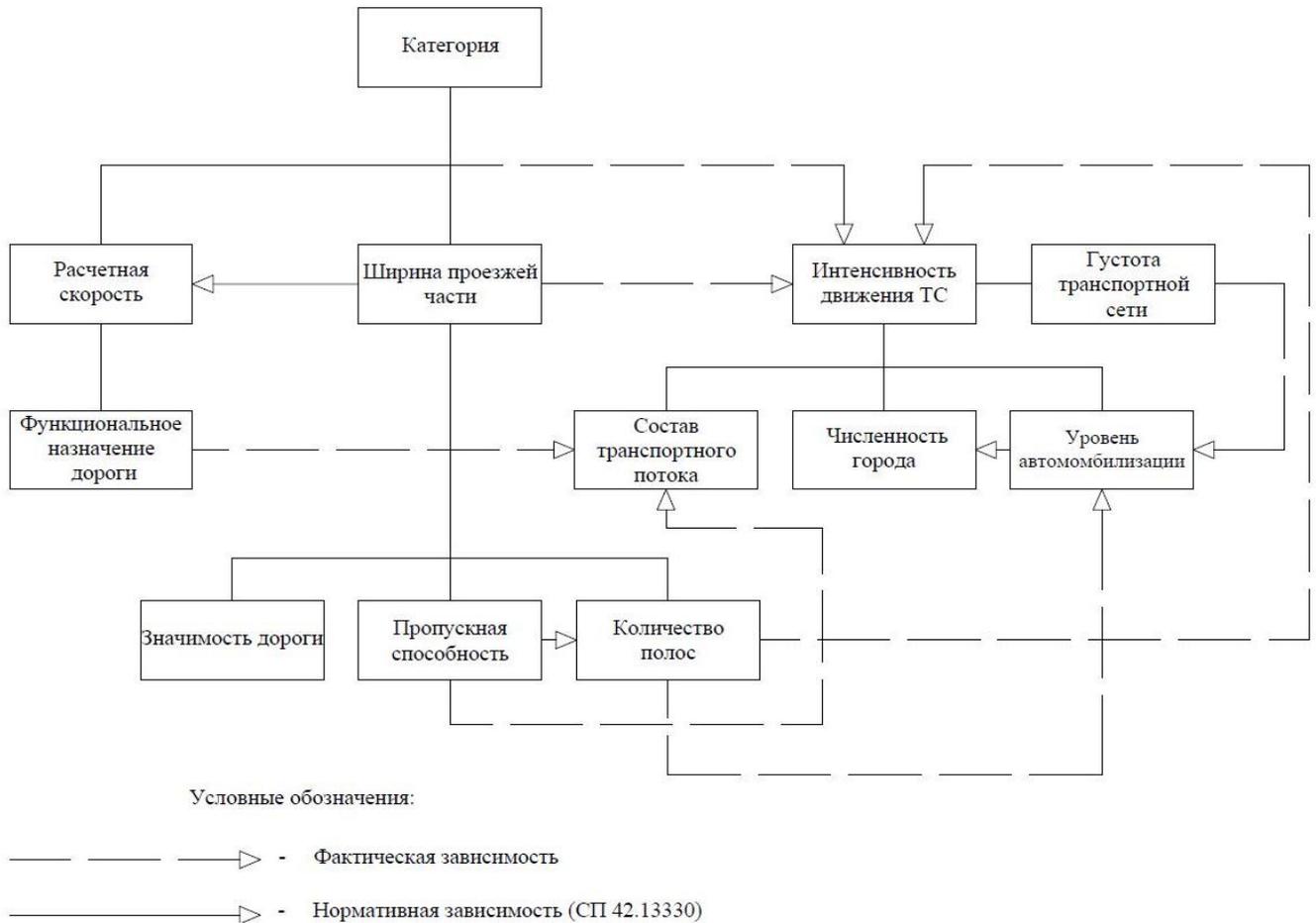


Рисунок 15 – Структурные связи категорий улиц и их характеристик

В рамках исследования был рассмотрен вопрос дифференциации транспортных объектов и особенностей распределения интенсивности в течение суток для обоснования проектных решений и повышения точности расчетов. При исследовании данного аспекта рассматривались труды В. Маркуца [33], в которых предложены бимодальный и унимодальный режимы распределения интенсивности движения. На основе изученных связей определено, что в настоящее время согласно действующему СП всего 9 % улиц и дорог городов Российской Федерации соответствуют закрепленным категориям и их характеристикам (рисунок 16).

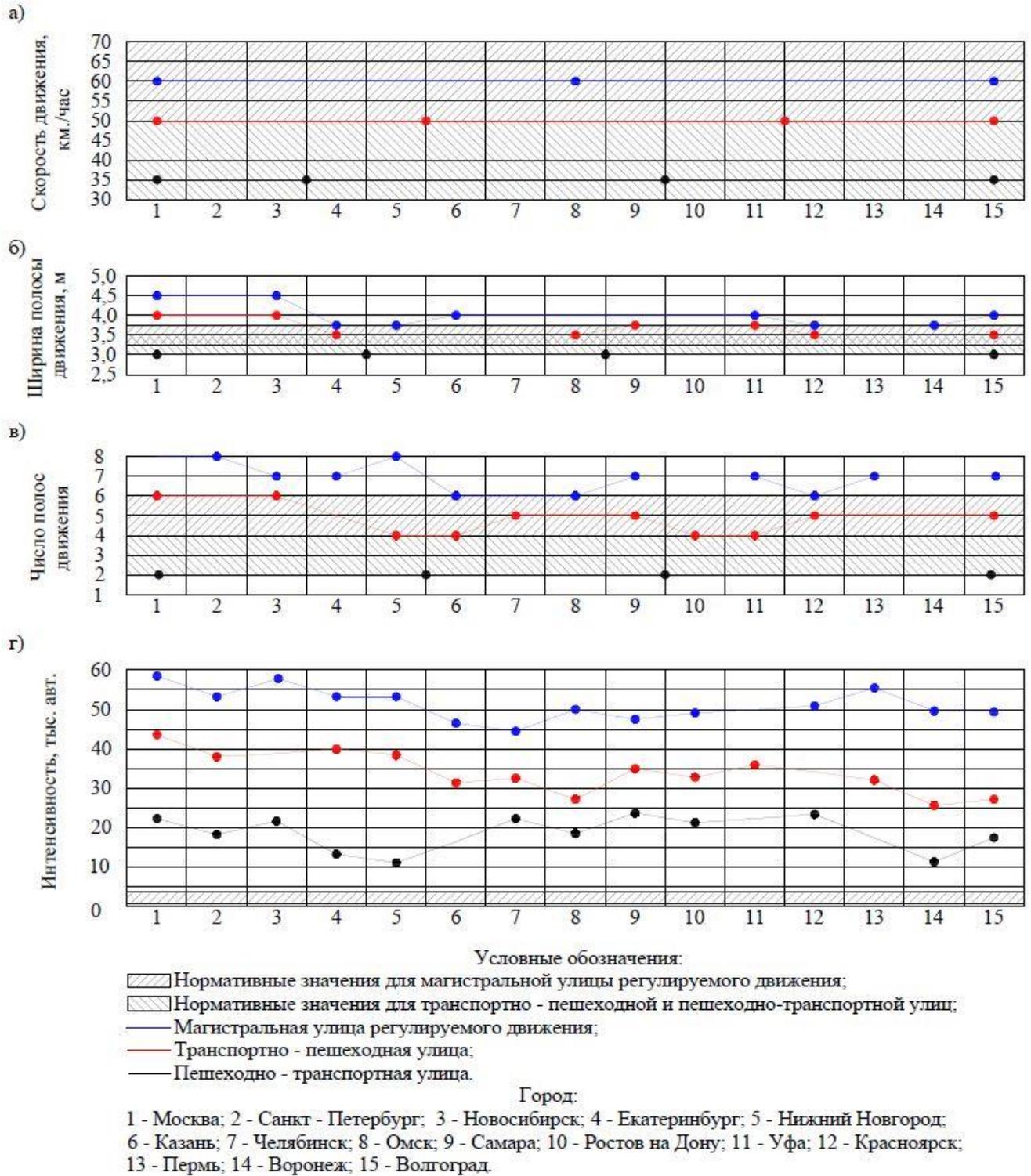


Рисунок 16 – Отклонение фактических значений от нормативных

а) интенсивность движения; б) скорость движения; в) ширина полосы движения; г) число полос движения

Ограничения применения существующей методики определения числового значения интенсивности для конкретного момента времени и необходимость учета особенностей ее изменения в течение активного жизненного цикла города

(суточного и годового) обусловили модернизацию расчетного аппарата применительно к улично-дорожной сети.

С учетом оценки влияния регламентированных и неучтенных параметров на назначение категорий улиц и дорог был выполнен сравнительный анализ транспортно- и технико-эксплуатационных параметров с нормативными значениями на примере 15 крупнейших городов Российской Федерации (таблица 10).

Таблица 10 – Сравнения нормативных (СП 42.13330) и фактических значений параметров улиц и городских дорог

Группы улиц и дорог	Скорость движения	Интенсивность движения, тыс. авт./сут	Ширина полосы движения, м	Число полос движения, шт.	Наименьший радиус кривых в плане, м	Ширина пешеходной части тротуара, м
Регулируемого значения	70,60,50 (60)	$\frac{-}{1-3^*}$ (45-60)	3,25 – 3,75 (4,5)	4 – 6 (6 – 14)	310, 220, 140 (200 – 400)	3,0 (3,5)
Транспортно-пешеходные	70,60,50 (50)	$\frac{-}{1-3^*}$ (25-45)	3,25 – 3,75 (4,0)	2 – 4 (4 – 6)	310, 220, 140 (150 – 250)	2,25 (3,0)
Пешеходно-транспортные	50,40,30 (35)	$\frac{-}{0,5-1^*}$ (10 – 25)	3,0 – 3,5 (4,0)	2 – 4 (2)	140, 80, 40 (80 – 125)	2,0 (3,0)

В таблице приведены значения, согласно СП 42.13330.2016. В скобках указаны фактические значения параметра; * – значение согласно СП 42.13330.2011

Согласно представленным табличным данным в 70 % случаев фактические значения параметров не соответствуют требованиям действующего свода правил, что существенно «огрубляет» результаты проектирования улиц и городских дорог.

Выполненная аналитическая оценка применения действующей классификации показала невозможность получения достоверных результатов на ее основе, в связи с чем в рамках рассматриваемого метода была предложена локальная типизация улиц и городских дорог – деление на типы на основе статистических данных.

При обработке большого количества экспериментальных данных, полученных на основе видеонаблюдения, строились и выявлялись характерные истинно отличимые графические зависимости интенсивности движения от времени (t): $N=f(t)$ с использованием различных математических информационно-аналитических методов. Для обработки использовались методы математического ожидания и линейной регрессии [16]. Для проверки закономерностей, определяемых отклонением математического ожидания (\bar{N}) от среднего значения, использовался закон Гаусса:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i = \frac{1}{n} (N_1 + \dots + N_n), \quad (4)$$

где \bar{N} – случайная переменная часовой интенсивности движения;

N_i – интенсивность движения i -го часа;

n – количество наблюдаемых значений с 6:00 до 24:00, $n=19$.

Представленные графические зависимости наглядно демонстрируют отклонения фиксируемых значений по часам суток (рисунок 17).

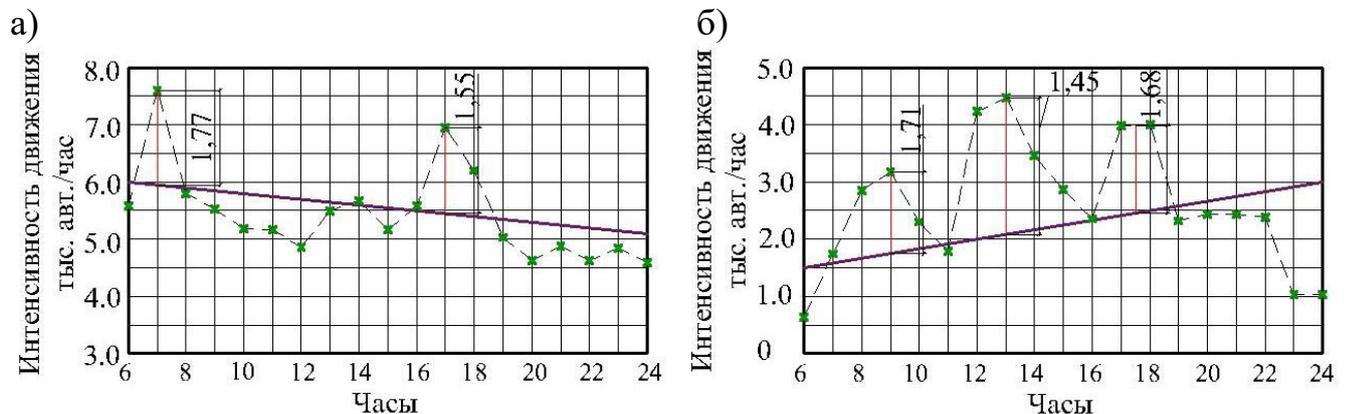


Рисунок 17 – Графическое изображение математического ожидания: а) бимодальная модель; б) полимодальная модель

Критерием выделения в самостоятельный тип улицы или городской дороги явилось превышение максимального значения над средним в 1,2-2,5 раза [16].

Для зависимостей, представленных линейной функцией $N=f(t)$, определялась парная регрессия при помощи метода Ф. Гальтона [35], оптимально

описывающая соотношение между рассматриваемыми показателями (N и t) по следующей формуле:

$$N = a \cdot t + b, \quad (5)$$

где a и b – коэффициенты регрессии оцененной линии.

При построении линейной регрессии использовалось правило трёх сигм [16], в связи с чем утренние значения интенсивности в интервале с 05:00 до 07:00 часов в исследовании не учитывались.

Разработка беспиковых убывающих графических зависимостей выполнялось построением линии регрессии через «облако» точек. Пример убывающей функции представлен на рисунке 18 (а), для графиков с равномерной интенсивностью – на рисунке 18 (б).

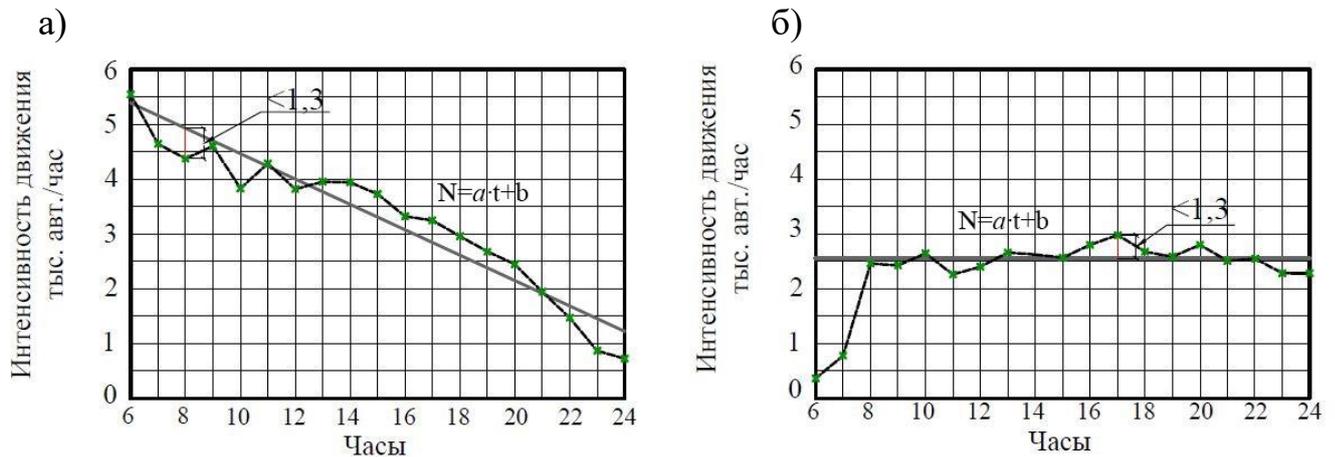


Рисунок 18 – Линейная регрессия интенсивности движения во времени

а) г. Новосибирск (ул. Танковая); б) г. Екатеринбург (пр. Ленина)

В результате статистической обработки банка данных интенсивности движения установлены следующие типы с характерными особенностями:

I тип - пиковая интенсивность движения в утренние и вечерние часы;

II тип - пиковая интенсивность движения в утренние и вечерние, со «скачком» интенсивности в обеденные часы;

III тип - равномерное изменение интенсивности на убывание от утренних часов к вечерним;

IV тип - равномерная интенсивность в течение дня.

Выявленная типизация позволит корректно перейти от плотности к часовой интенсивности.

В соответствии с постулатами теории транспортных потоков и учётом разработанной типизации улиц наблюдается зависимость плотности от особенностей распределения интенсивности в течение суток (формула б).

$$N = f(\rho_T), \quad (6)$$

где ρ – плотность транспортного потока;

T – тип улиц и городских дорог.

2.5 Учет количества полос движения

При исследовании характера варьирования интенсивности в течение суток были изучены особенности распределения автомобилей по полосам движения, которые оказывают существенное влияние на скорость транспортных потоков, поскольку между указанными показателями имеется прямо пропорциональная связь. Данный факт в комплексе с формулой 1 доказывает влияние числа полос на величину интенсивности движения транспортных потоков.

Исследованием распределения автомобилей по полосам в зависимости от интенсивности и состава потока занимался Красников А.Н. [32], в котором рассмотрено поперечное распределение автомобилей по ширине проезжей части. Выявлено, что распределение автомобилей по полосам движения четырех- и шестиполосных автомобильных дорог не постоянно, а зависит от состава транспортного потока и его интенсивности. При интенсивности движения в одном направлении более 2500 авт/час на четырехполосных дорогах и более 3500 авт/час на шестиполосных распределение транспортных средств по полосам движения стабилизируется и не зависит от суммарной интенсивности движения. При интенсивностях, менее указанных, возможность маневрирования возрастает. В связи с чем наблюдается значительный разброс в занятости полос движения.

В диссертации проанализированы особенности распределения числа автомобилей по полосам движения при современном уровне автомобилизации (рисунок 19).

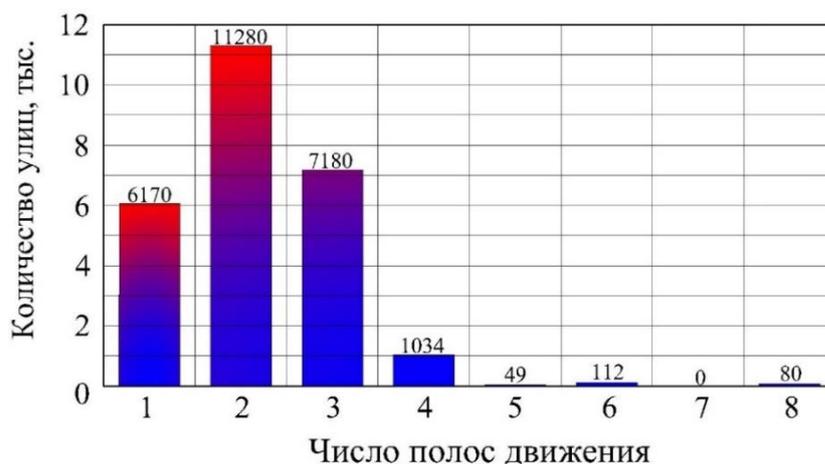


Рисунок 19 – Дифференциация улиц по числу полос движения в одном направлении

Согласно графику улицы с числом полос от пяти до восьми в одном направлении не учитывались в рассматриваемом объеме в силу их малой численности (4,5 %).

Для поиска закономерности распределения автомобилей по полосам в ходе работы был выполнен натурный эксперимент по определению их корреляционной зависимости для различных улиц.

На начальном этапе рассчитано максимальное количество автомобилей на перегоне улиц различных городов. Для проведения детального исследования распределения автомобилей по полосам были выбраны два транспортных объекта II-ого типа в г. Красноярск и г. Астрахань (рисунок 20, а – г).

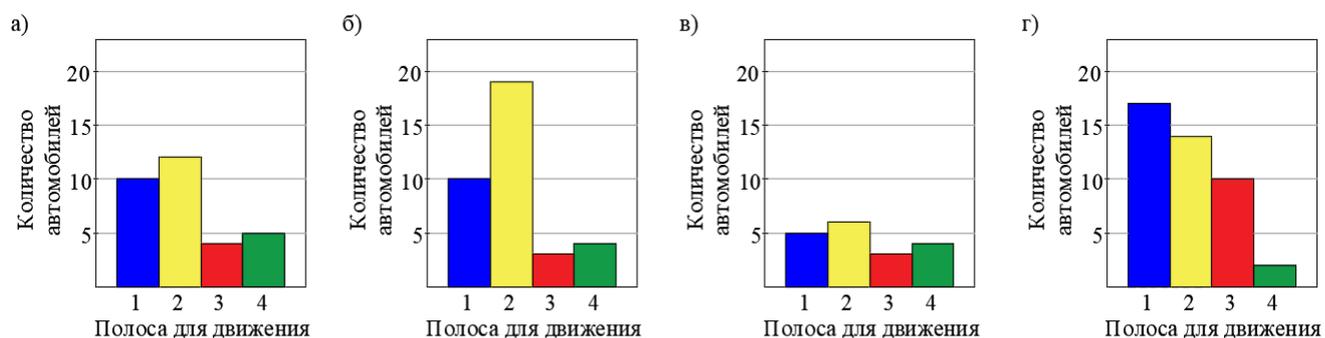


Рисунок 20 – Максимальное распределение транспортных средств по полосам за короткий промежуток времени в г. Красноярск: а) с 10:00 до 11:00 часов; б) с 11:00 до 12:00 часов; в) с 12:00 до 13:00 часов; г) с 13:00 до 14:00 часов

Приведенные диаграммы демонстрируют отсутствие закономерностей распределения по полосам автомобилей в утренние часы, принятые за показательный интервал. В связи с чем было принято решение о составлении графиков для расширенного временного интервала (рисунок 21 а, б).

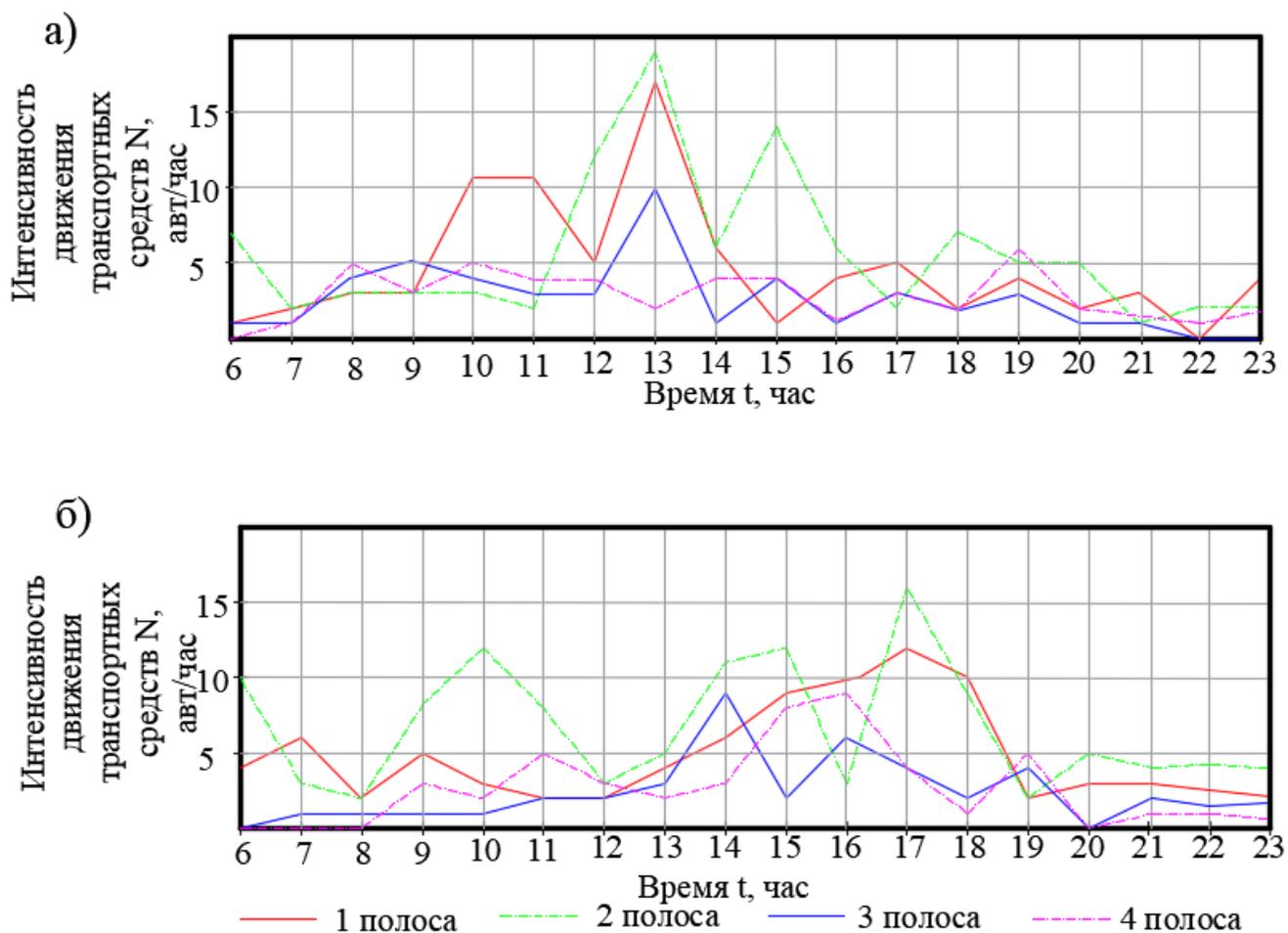


Рисунок 21 – Распределение автомобилей по полосам:

а) г. Астрахань; б) г. Красноярск

Графическое отображение натурных исследований позволило наблюдать существенное варьирование распределения автомобилей по полосам в течение суточного активного цикла города. Также отмечен низкий уровень корреляции распределения автомобилей в разных городах на улицах одного типа, что свидетельствует о необходимости мониторинга с учетом полосности каждого рассматриваемого транспортного объекта (формула 7).

$$N = f(\rho_{T,R}), \quad (7)$$

где R – количество полос движения.

На основе вышеизложенных исследований можно заключить, что параметрами, оказывающими существенное влияние на основные параметры транспортных потоков (плотность и интенсивность), являются: распределение интенсивности по полосам и в течение суток.

2.6 Учет состояния поверхности покрытия

Изменчивость природно-климатических условий в годовом цикле формирует множество расчетных состояний, приводящих к колебанию режимов движения.

Согласно исследованиям А.П. Васильева [66] пропускная способность существенно снижается при движении в осенне-весенний и зимний периоды, особенно в неблагоприятных погодных условиях.

Задача оценки степени влияния каждого отдельного параметра на скорость движения состоит в том, чтобы установить механизм этого влияния и физический смысл, выбрать расчётную схему и дать математическое отображение, позволяющее определить первичные параметры транспортного потока.

При оценке влияния отдельных параметров транспортных потоков на комплексный показатель их состояния была проанализирована изменчивость показателей, влияющих на состояние покрытия (таблица 11).

Таблица 11 – Оценка изменчивости показателей, влияющих на состояние покрытия

Параметры	Изменчивость, %
Сезонные колебания интенсивности движения	12
Эффективно используемая ширина проезжей части	0,8
Ограничение видимости на кривых в плане	12
Ограничение видимости на прямых участках из-за снегопадов, туманов и метелей	11,3
Уменьшение ширины проезжей части мостов	8
Изменение интенсивности по дорогам, пересекающимся в одном уровне в связи с:	
колебаниями интенсивности движения на основной дороге	8
изменением видимости на пересечениях в одном уровне	7,1
скользкостью покрытия	35

Наибольший диапазон изменчивости имеет показатель скользкости покрытия, на который большое влияние оказывает коэффициент сцепления. Таким образом, состояние покрытия является одним из основных параметров изменчивости коэффициента обеспеченности расчётной скорости.

Особая значимость метеорологических факторов для условий движения автомобилей наблюдается в зимний и предзимний периоды года, они объединены общими особенностями погодно-климатических явлений. Наличие снежно-ледяных отложений на поверхности и кромке проезжей части оказывает непосредственное влияние как на режим и плотность движения, так и на пропускную способность дороги в целом. Данный факт был подтвержден натурными измерениями параметров транспортных потоков.

На дальнейшем этапе разработки аппарата дешифровки спутникового снимка были выбраны расчетные состояния дорожного покрытия, к таковым были отнесены сухое, мокрое покрытие, наледь и снежный накат. Вместе с тем стекловидный (черный) лёд, свежевывающийся (рыхлый) снег, гололёд, гололедица, твердый налет не были учтены при дальнейшей разработке методики по причине низкой (меньше 2 %) вероятности их возникновения и сложности идентификации на современном уровне оборудованности дорожно-строительных управлений крупных городов. Данный факт позволяет учесть вид состояния покрытия как эквивалент зимней скользкости (таблица 12) [14].

Таблица 12 – Виды снежно-ледяных отложений

№	Состояние дорожного покрытия	Характеристики состояния покрытия	Примечания
1	Рыхлый снег	$\rho = 0,06-0,20 \text{ г/см}^3$ $\mu \leq 0,2$ $t \leq -10 \text{ }^\circ\text{C}$	Откадывается на дорожном покрытии в виде ровного по толщине слоя
2	Снежный накат	$\rho = 0,3 - 0,6 \text{ г/см}^3$ $0,1 \leq \mu \leq 0,25$ $-0 \text{ }^\circ \leq t \leq -6 \text{ }^\circ\text{C}$	Слой снега, уплотненный колесами проходящего автомобиля
3	Стекловидный лёд	$\rho = 0,7 - 0,9 \text{ г/см}^3$ $0,07 \leq \mu \leq 0,15$ $t > 0$	Появляется на покрытии в виде гладкой стекловидной пленки $h = 1 - 3 \text{ мм}$ и изредка в виде матовой белой шероховатой корки $h > 10 \text{ мм}$

* μ - коэффициент сцепления

С учетом фактора состояния покрытия зависимость основных параметров транспортных потоков принимает вид (формула 8):

$$N = f(\rho_{T,R,M}), \quad (8)$$

где M – состояние дорожного покрытия.

Таким образом, разрабатываемая зависимость должна обладать возможностью учета транспортных, дорожных и метеорологических условий.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В главе изучены факторы, влияющие на изменение параметров транспортных потоков для выявления наиболее значимых из них. Проанализированы математические функции и выбрана полиномиальная функция второго порядка для дальнейшей разработки математических зависимостей. Разработано уравнение зависимости масштаба и разрешающей способности спутниковых снимков с целью возможности идентификации транспортных потоков по составу движения. Определено минимальное число экспериментов с учётом выбранных факторов, непосредственно влияющих на изменение интенсивности движения и разработана модель с учетом всех представленных факторов. Оценена применимость существующей классификации улиц и городских дорог и возможность ее применения. Разработана типизация улиц и городских дорог, учитывающая особенности жизненного цикла города. Применение указанной типизации в рамках предлагаемого метода позволит разделить все исследованные транспортные объекты для обоснования проектных решений и повышения точности расчетов интересующих параметров транспортных потоков.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Планирование этапов и методика проведения эксперимента

Целью эксперимента является совершенствование прогрессивных методов и средств математического моделирования для повышения полноты и достоверности информации, обосновывающей проектные решения, точность расчетов и срок службы городских дорог, посредством разработки мультипараметрических зависимостей для каждого типа улиц с учётом факторов вариативности (полосности и состояния покрытия).

При планировании эксперимента были определены входные и выходные параметры на основе сбора и анализа априорной информации. В первой части экспериментального исследования за входные данные были приняты регистрируемые во время эксперимента, но не управляемые факторы, основным из которых является интенсивность. Далее установлены выходные параметры, за которые приняты особенности распределения интенсивности в течение суточного жизненного цикла городов.

При выполнении второй части эксперимента за входной параметр принята плотность потока, с учетом возможности влияния систематических и случайных погрешностей в результатах наблюдений на состояние разрабатываемых зависимостей, что относится к регистрируемым неуправляемым факторам. Также учтены такие вариативные факторы, как состояние дорожного покрытия и полосность дороги. За выходной параметр принята часовая интенсивность движения.

На подготовительном этапе были сформулированы условия для фиксации интенсивности и плотности: доступность данных с камер видеонаблюдения в различных городах; реализация для одной улицы в течение 18 часов в сутки. С учетом снятых значений и применением соответствующих коэффициентов стало возможным определение суточной интенсивности. Дистанционные исследования с использованием результатов видеонаблюдения были приняты за основной вид сбора экспериментальных данных.

После проведения минимального количества испытаний был сформирован банк данных, благодаря которому становится возможной разработка зависимости по различным факторам. При выполнении экспериментального исследования для получения точных и объективных данных о параметрах транспортного потока важнейшим фактором является проведение дистанционного зондирования в доверительном объеме выборки.

Следующим пунктом в планировании эксперимента стала статистическая обработка с выявлением интервалов времени с характерными значениями интенсивности по каждой из рассматриваемых улиц методом «Максимумов и минимумов» Г. В. Лейбница [27].

Экстраполяцией в данном исследовании явилась разработка мультипараметрических уравнений с учетом факторов вариативности: состояния покрытия и полосности. Для оценки степени связи выходных параметров был выполнен корреляционный анализ результатов статистической обработки эксперимента с фактическими значениями. Мерой связи в данном случае являлся коэффициент корреляции.

Конечным этапом являлось получение результатов и проверка их адекватности применительно к существующим условиям движения.

Новизна предложенного метода заключается в возможности использования статических данных (плотность потока, число полос движения), находящихся в базе, и их преобразовании в первичные (интенсивность движения автомобилей и состав транспортного потока) и вторичные (скорость движения (v), продолжительность задержек движения, пропускная способность (P), удельная продолжительность поездки (t_T), интервал по длине (ΔS), дистанция (d), ускорение (a) и другие) показатели транспортного потока. В силу ограниченности факторов и низкого уровня их корреляционной связи с основными параметрами часть показателей не учитывается при дальнейшей разработке.

Для набора базы данных о параметрах транспортного потока с учетом вариативных факторов был выполнен расчет минимального объема выборки для

получения достоверной информации. В качестве обоснования минимального объема выборки использовались зависимости выделенные Я.В. Хомяком [43]:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \nu^2}{\Delta^2}, \quad (9)$$

где n – количество дней наблюдения в году;

t_{α} – функция доверительной вероятности при доверительной вероятности $a = 0,9$; $t_{\alpha} = 1,68$;

Δ – относительная точность учета, $\Delta = 0,12$;

ν – коэффициент вариации.

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{N}}, \quad (10)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение;

\bar{N} – средняя величина интенсивности движения, объем выборки которой составляет 12 дней (один раз в месяц):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n}}, \quad (11)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n}, \quad (12)$$

где n – объем выборки, $n = 12$;

N_i – среднемесячная суточная интенсивность движения в i -ом месяце года.

По данным оцениваемого объема выборки был рассчитан коэффициент распределения интенсивности по месяцам года:

$$\gamma_i = \frac{N_i}{\bar{N}}, \quad (13)$$

С применением защищаемой методики становится возможным определение расчетной часовой интенсивности, которую в дальнейшем можно использовать для нахождения суточной интенсивности движения, например, по методике Вукана [26]:

$$N_{\text{сут}} = \frac{4N_{\text{ч}} \cdot 100}{K_{\text{прт}}}, \quad (14)$$

где $4N_{\text{ч}}$ – четырехчасовая интенсивность движения в интервале с 8⁰⁰ до 12⁰⁰, авт./час;

$K_{\text{прт}}$ – коэффициенты приведения краткосрочных замеров в суточную интенсивность.

Результаты расчетов необходимого объема выборки представлены в таблице Приложения А.3.

Помимо факторов вариативности минимальное количество экспериментов варьировалось в зависимости от численности населения рассматриваемого населенного пункта. Основным значением для минимального количества экспериментов для одного объекта транспортной сети (улицы) было выбрано 17, доверительный интервал по типам и состояниям варьируется от 14 до 20 соответственно.

3.2 Методика исследований интенсивности и плотности движения на улично-дорожной сети городов методами видео- и фотонаблюдения

Исследование транспортных потоков выполнялось на разных этапах работы: в первой части оно позволяет получить зависимости, во второй – с применением дистанционного спутникового мониторинга дает возможность определить параметры транспортного потока. На первом этапе выполнялись экспериментальные исследования по определению параметров транспортных потоков, как первичных, так и вторичных, определением интенсивности и снятие плотности потока с камер видеонаблюдения. Вторым этапом заключался в использовании снимка для определения параметров транспортного потока (получение снимка, снятие плотности, подстановка в разработанные зависимости и получение искомой интенсивности) (рисунок Приложение А.5).

В ходе выполнения первого этапа посредством видеонаблюдения учет интенсивности движения осуществлялся с применением прогрессивных методов – интернет ресурсов, представленных в таблице 13.

Таблица 13 – Электронные ресурсы, применявшиеся в ходе выполнения видеонаблюдения интенсивности (фрагмент таблицы)

Город	Электронный ресурс	Примечание
Москва	1. http://youwebcams.net/online/category/russia/moscow/ [75] 2. https://www.geocam.ru/in/moscow/ [92]	Недостаточное количество бесплатных ресурсов видеонаблюдения
Санкт-Петербург	1. http://youwebcams.net/online/category/russia/sankt-peterburg/ [83] 2. https://www.geocam.ru/in/st-petersburg/ [99] 3. https://topspb.tv/online_projects/42/ [93]	Камеры на третьем ресурсе имеют передачу звука в онлайн режиме
Новосибирск	1. http://youwebcams.net/online/category/novosibirsk/ [77] 2. https://www.geocam.ru/in/novosibirsk/ [66]	На втором ресурсе большая часть средств видеофиксации работает с перебоями
Екатеринбург	1. http://youwebcams.net/online/category/ekaterinburg/ [77] 2. https://www.geocam.ru/in/yekaterinburg/ [94] 3. http://world-cam.ru/cams/webcam-online-ekaterinburg/ [70]	Недостаточное количество средств видеофиксации (50 % работают с перебоями или не работают)
Нижний Новгород	1. http://youwebcams.net/online/category/nizhnij-novgorod/ [76]	Недостаточное количество электронных ресурсов с результатами видеофиксации
Самара	1. https://www.geocam.ru/in/samara/ [77] 2. http://youwebcams.net/online/category/samara/ [82] 3. http://cam-web.ru/?p=150 [79]	70 % всех средств видеофиксации не отображают исследуемой информации
Омск	1. http://youwebcams.net/online/category/omsk/ [78] 2. https://www.geocam.ru/in/omsk/ [97]	10 % средств видеофиксации функционируют с перебоями в работе
Челябинск	1. https://stream1.is74.ru/on/ [87] 2. http://youwebcams.net/online/category/cheljabinsk/ [86]	На первом ресурсе имеются архивы с видеозаписями
Ростов-на-Дону	1. http://world-cam.ru/cams/rostov-on-don-webcam-online/ [81]	Все ресурсы имеют одни и те же средства видеофиксации
Уфа	1. http://maps.ufanet.ru/ufa/ [88]	Имеются платные услуги доступа к архивам видеозаписей
Волгоград	1. http://youwebcams.net/online/category/volgograd/ [68] 2. http://webcam.scs.com.ua/europe/russia/volgograd/ [73]	Имеется незначительное количество доступных ресурсов со средствами видеофиксации
Пермь	1. http://youwebcams.net/online/category/perm/ [80]	Недостаточное

Город	Электронный ресурс	Примечание
]	количество средств видеофиксации
Красноярск	1. https://www.geocam.ru/in/krasnoyarsk/4/ [95] 2. http://youwebcams.net/online/category/krasnoyarsk/ [72]	Недостаточное количество средств видеофиксации (10 % камер работают с перебоями или не работают)
Воронеж	1. http://world-cam.ru/cams/voronezh-webcam-online/ [65] 2. http://webcam.scs.com.ua/europe/russia/voronezh/ [74] 3. http://cam-web.ru/?p=604 [67]	Третий ресурс не осуществляет фактической трансляции записи
Казань	1. http://www.tatmvdcamera.ru/ [89] 2. http://youwebcams.net/online/category/kazan/ [71]	На первом ресурсе требуется дополнительная установка программы Adobe Flash Player для возможности просмотра
Саратов	1. http://youwebcams.net/online/category/saratov/ [84] 2. http://web-online24.ru/web-camera-saratova/ [85]	Часть средств видеофиксации не предоставляет необходимой информации

Выполненный анализ электронных ресурсов для видеоучёта позволяет утверждать, что использование метода видеонаблюдения сопряжено с определенным спектром сложностей: с каждым днем становится все меньше доступных онлайн-ресурсов со средствами видеофиксации, что значительно затрудняет процесс получения данных, имеется большое количество неработающих средств видеофиксации, существует необходимость дополнительного программного обеспечения для просмотра данных видеокамер.

3.3 Проведение натурных и дистанционных исследований транспортных потоков в различных метеорологических и дорожных условиях

В процессе разделения улиц на типы с учетом выявленных значимых факторов выполнен блок экспериментов по определению закономерностей изменения интенсивности во времени.

Расчеты необходимого числа замеров с учетом факторов изменчивости для получения достоверной информации по исследованным городам представлены в таблице Приложения АЗ.

При определении минимального количества замеров плотности транспортного потока методами математической статистики были учтены: типизация, состояния покрытия и количества полос движения (таблица 14).

Таблица 14 – Определение минимального количества замеров интенсивности и плотности транспортного потока

Количество городов	Число замеров с учетом типизации, n_T	Число замеров с учетом типизации и состояния покрытия, n_{TM}	Число замеров с учетом типизации, состояния покрытия и полосности, n_{TMR}
15	82500	660000	660000

Измерения проводились в различные дни недели (вторник, среда, четверг, пятница) при различной температуре наружного воздуха ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и состояниях поверхности покрытия (сухое – снежный накат).

В связи со снижением интенсивности в ночные часы диапазон фиксации исследуемых характеристик принят с 6:00 до 24:00. С привязкой к жизненному циклу города учтены часовые пояса районов Российской Федерации.

Для достоверного прогнозирования и назначения мероприятий по проектированию улично-дорожной сети необходимо выполнять мониторинг четыре раза в неделю, восемь раз в месяц для каждой исследуемой улицы посредством использования видеонаблюдения. Так, в частности, исследована интенсивность движения в 15 крупнейших городах и 5500 улиц с учетом их протяженности (таблица 15).

Таблица 15 – Деление отдельных городов Российской Федерации на часовые пояса

Тип	Город	Интервалы учета	Время пиковых интенсивностей
I	Москва, Рязань, Ярославль, Волгоград UTC+3	8:00-2:00	6:00-10:00 14:00-20:00
	Пермь, Челябинск, Тюмень UTC+5	6:00-24:00	
	Омск UTC+6	5:00-23:00	
	Новосибирск, Кемерово UTC+7	4:00-22:00	
	Иркутск UTC+8	3:00-21:00	
II	Москва, Рязань, Ярославль, Волгоград UTC+3	8:00-2:00	6:00-10:00 12:00-14:00 16:00-20:00
	Пермь, Челябинск, Тюмень UTC+5	6:00-24:00	
	Омск UTC+6	5:00-23:00	
	Новосибирск, Кемерово UTC+7	4:00-22:00	
	Иркутск UTC+8	3:00-21:00	
III	Москва, Рязань, Ярославль, Волгоград UTC+3	8:00-2:00	Убывающая интенсивность с 6:00 до 24:00
	Пермь, Челябинск, Тюмень UTC+5	6:00-24:00	
	Омск UTC+6	5:00-23:00	
	Новосибирск, Кемерово UTC+7	4:00-22:00	
	Иркутск UTC+8	3:00-21:00	
IV	Москва, Рязань, Ярославль, Волгоград UTC+3	8:00-2:00	Равномерная интенсивность с 6:00 до 24:00
	Пермь, Челябинск, Тюмень UTC+5	6:00-24:00	
	Омск UTC+6	5:00-23:00	
	Новосибирск, Кемерово UTC+7	4:00-22:00	
	Иркутск UTC+8	3:00-21:00	

Графические зависимости изменения интенсивности во времени представлены в Приложении Б.

Типизация выполнена с отнесением конкретных объектов к тому или иному типу, на основе закономерности распределения интенсивности в течение суточного активного жизненного цикла города.

В ходе набора базы данных о первичных и вторичных параметрах транспортного потока для повышения объективности снимаемых значений каждое состояние покрытия изучалось суммарно от 18 до 30 раз.

Анализ полученных графиков, представленных в теоретической части диссертации, позволил отнести улицы к одному из принятых типов. Для части графиков, отнесенных к I или II типу, определены значения отклонений от величины математического ожидания для обоснования числа пиковых значений (отнесения улицы к одному из разработанных типов) (таблица 16).

Таблица 16 – Математическое ожидание на примере характерных улиц (фрагмент таблицы)

Город	Улица	Значение пика			Среднее значение пика	Отклонение от среднего значения пика	Принадлежность к типу улицы
		утро	обед	вечер			
Москва	Волгоградская	1,34	1,05	1,27	1,31	-0,30	I
Санкт-Петербург	Проспект Невский	1,77	1,02	1,55	1,66	+0,05	I
Красноярск	Свободный проспект	2,05	1,01	1,76	1,91	+0,3	I
Пермь	Уральская-Вагановых	1,54	1,04	1,25	1,4	-0,21	II
	Куйбышева-Соловьева	1,21	1,04	1,54	1,38	-0,23	II
Воронеж	Солнечная	1,89	1,03	1,52	1,71	+0,1	I
Волгоград	Хиросимы	1,8	1,06	1,55	1,68	+0,07	I
Санкт-Петербург	Александра Невского	1,31	1,24	1,39	1,31	-0,15	II
Новосибирск	Ленина	1,27	1,2	1,21	1,23	-0,23	II
Уфа	Менделеева	2,1	1,83	1,31	1,75	+0,29	II
Красноярск	Металлургов	1,71	1,45	1,68	1,61	+0,15	II

Для части графиков, описываемых методом регрессии, выполнялось построение линии регрессии с последующим присвоением исследуемой улице III

или IV типов распределения интенсивности в течение суток. Фрагмент исследования представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Значения линейной регрессии (на примере типовых улиц)

(t)	Линейная регрессия (N)			
	г. Новосибирск (ул. Танковая)	г. Екатеринбург (пр. Ленина)	г. Красноярск (ул. Metallургов)	г. Воронеж (ул. Солнечная)
8	4925,09	2554,90	2894,37	1122,50
9	4693,68	2555,02	3205,70	1654,73
10	4462,28	2555,15	2441,00	994,06
11	4230,88	2555,27	1632,68	1231,48
12	3999,47	2555,39	4120,43	1232,56
13	3768,07	2555,51	4505,76	1389,61
14	3536,67	2555,64	3494,83	1302,79
15	3305,26	2555,76	2749,06	1305,94
16	3073,86	2555,88	2343,69	1174,07
17	2842,46	2556,00	4027,77	1615,23
18	2611,05	2556,13	4027,77	983,36
19	2379,65	2556,25	2456,53	764,56
20	2148,25	2556,37	2496,78	839,74
21	1916,84	2556,50	2496,99	1108,80
22	1685,44	2556,62	2375,30	512,06
23	1454,04	2556,74	986,08	508,23
24	1222,63	2556,86	1003,94	505,58
Тип	III	IV	II	I

Результаты распределения улиц и городских дорог по типам приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Типизация типовых улиц и городских дорог городов Российской Федерации (фрагмент)

Наименование города	Тип дорог и улиц			
	I	II	III	IV
Москва	пр. Волгоградский Бакинская Летняя Плеханова	Енисейская Поварская Большая Бронная Олонецкая	Пречистенка Онежская Газгольдерная Горчакова	Дмитровское шоссе Гжельский переулок пр. Апакова Джанкойская
Санкт-Петербург	Ильюшина Корнеева Маринеско пр. Морской	Парковая Садовая Синявинская Хлопина	Шаврова Школьная пр. Шуваловский Янковская	Ленская Литовская Газовая пр. Аптекарский
Екатеринбург	Бебеля Блюхера Свободы Тургенева	Фролова Рощинская Пирогова пр. Ленинский	Акулова Ангарская Даурская Короленко	8 марта Енисейская Дачная Воровского
Нижний Новгород	Детальная Зайцева Костылева Лышнова	Монтажная Орская Осенняя Алатырская	Двинская Аральская Грекова Чукотская	Рылеева Светлая Онежская Ляпина
Самара	Вольская Осипенко Ногина Садовая	пр. Масленникова Ульяновская Шостаковича Елизарова	Аминева Гагарина пр. Волжский Дзержинского	пл. Мочалова Рабочая Маяковского пр. Кирова
Омск	Ватутина Аврорская Бакинская Аптечный переулок	Волгоградская Комкова Крылова Марченко	Омская Молодежная Разина Рижская	Воровского Никитина Энгельса 8 Марта
Челябинск	Харлова Белозерская Широкая Прокатная	пл. Революции Репина Ташкентская Троицкий тракт	Дзержинского Ульяновская Фабричная Ачинская	Ленина Карла Маркса Белорусская Комсомольский
Ростов-на-Дону	Абаканская Городская Богданова Дизельная	Верхняя Западная Зрелищная Липовая	Лихачева Кочубея Мадояна Нефедова	пер. Нестерова Линейная Закатная Книжная
Уфа	Заставная Авторемонтная Кулибина Иркутская	Нестерова Летчиков Лунная Менделеева	Сакмарская Тубинская Луцкая Западная	пер. Заливной Ивановская Ясная Чайная Фабрика

На основе выполненного анализа в доверительном объеме исследования получена репрезентативная база, характеризующая статическое и динамическое состояние транспортного потока в различных транспортных, дорожных и метеорологических условиях.

3.4 Разработка функциональных зависимостей интенсивности и плотности движения транспортных потоков

По массиву экспериментальных данных были составлены диаграммы транспортного потока: по оси абсцисс – плотность потока, по оси ординат – интенсивность движения. После нанесения значений были разработаны уравнения зависимости интенсивности и плотности (приложение В) посредством использования MS Excel, далее методами математической статистики было выполнено сравнение по критерию величины отклонения расчётных значений от фактических.

Для графического изображения взаимного влияния факторов вариативности составлена диаграмма изменения интенсивности движения от плотности транспортного потока для различного числа полос движения и расчётных состояний покрытия (рисунок 22).

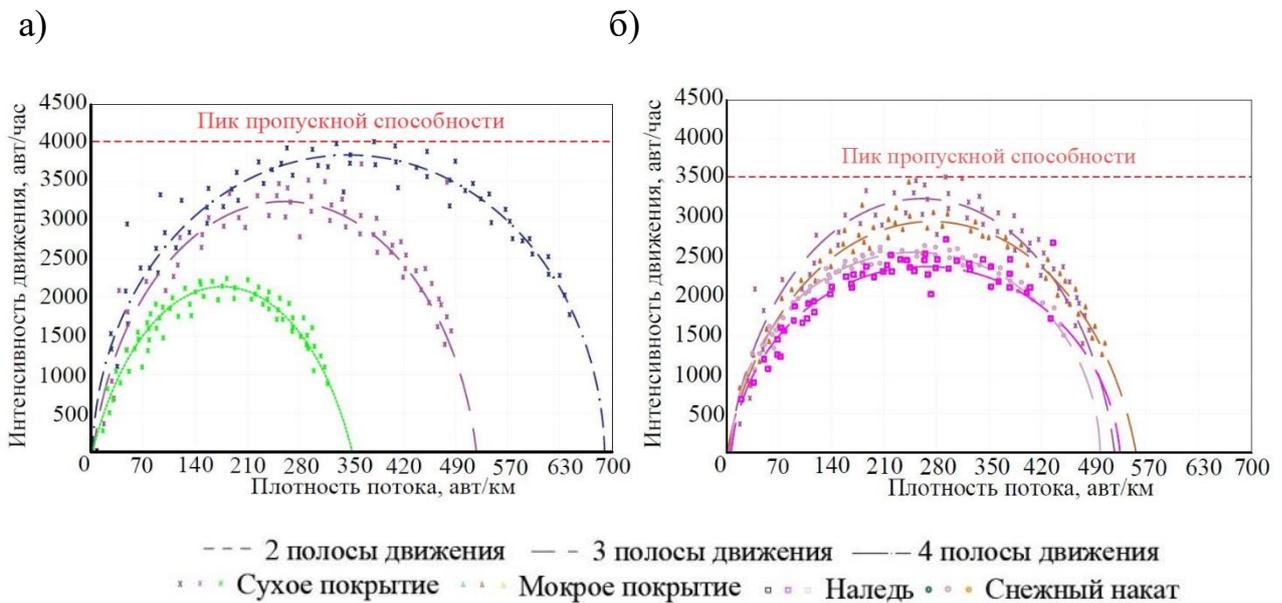


Рисунок 22 – Диаграммы зависимости интенсивности и плотности движения на примере I типа улиц (фрагмент): а) различное количество полос; б) различные состояния покрытия

Построенные графики демонстрируют значительные колебания числовых значений статических и динамических характеристик транспортного потока при различных расчётных состояниях дорожного покрытия (рисунок 22 а) и

полосностях (рисунок 22 б). При этом видно, что массив точек и особенности их распределения имеют схожий характер, и могут отображаться общей функциональной зависимостью. Данный факт обусловил необходимость разработки универсальной зависимости для каждого типа с учетом факторов вариативности: полосности и состояния покрытия, – для повышения эффективности функционирования улично-дорожной сети, удобства и безопасности движения, а также полноты и достоверности информации, обосновывающей проектные решения.

С целью выявления графических зависимостей, подчиняющихся общему закону распределения фиксированных значений для каждого типа, были разработаны мультипараметрические уравнения применительно к эталонным условиям, приводимых за счет функционала поправочных коэффициентов к расчетным состояниям.

Выбор эталонных базовых зависимостей для каждого типа базировался на трудах А.П. Васильева [28]. По аналогии с указанной методикой за эталонное принято движение одиночного автомобиля по сухому шероховатому покрытию на прямом горизонтальном участке, коэффициент сцепления которого в мокром состоянии не ниже 0,6, ровность не более 3,0 м/км, коэффициент сопротивления качению – 0,01-0,02.

Унифицированная многофакторная монозависимость включает в себя основные коэффициенты, определенные под конкретные условия, в связи с чем, выявлена необходимость разработки полного трёхфакторного эксперимента. Для определения интенсивности движения транспортного потока необходимо изучение влияния каждого фактора на данный показатель. Зависимость определяется формулой 15.

$$N = f(X_0; X_1; X_2; X_3), \quad (15)$$

где X_0 – функция зависимости интенсивности от плотности;

X_1 – функция зависимости интенсивности от разработанной типизации улиц и городских дорог;

- X_2 – функция зависимости интенсивности от количества полос движения;
 X_3 – функция зависимости интенсивности от состояния дорожного покрытия.

Зависимость функции от типизации не является определяющей для выявления характеристик процесса и была получена методом аналитической обработки данных эксперимента. Полосность движения может существенно повлиять на рассматриваемый процесс, однако данный фактор в планируемом эксперименте является независимым. Полный факторный эксперимент будет содержать в себе восемь вариантов опыта (при учёте для варьирования факторов в двух уровнях), сущность которых раскрывает матрица планирования, представленная в таблице 19.

Таблица 19 – Матрица планирования трехфакторного эксперимента

№ варианта	Планирование				Расчет			
	X_0	X_1	X_2	X_3	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$
1	+	–	–	–	+	+	+	–
2	+	+	–	–	–	–	+	+
3	+	–	+	–	–	+	–	+
4	+	+	+	–	+	–	–	–
5	+	–	–	+	+	–	–	+
6	+	+	–	+	–	+	–	–
7	+	–	+	+	–	–	+	–
8	+	+	+	+	+	+	+	+

Совокупный учет вышеперечисленных факторов представлен системой коэффициентов вариативных параметров, учитываемых подстановкой в базовое уравнение. Система коэффициентов и базовое уравнение определялись методами математической обработки и статистики.

Математический аппарат мультипараметрических уравнений:

а) для I типа:

$$N(\rho) = \frac{-0,0289 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^2 + 9,6731 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (16)$$

б) для II типа:

$$N(\rho) = \frac{-0,0285 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^2 + 13,316 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (17)$$

в) для III типа:

$$N(\rho) = \frac{-0,0415 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^2 + 16,494 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (18)$$

г) для IV типа:

$$N(\rho) = \frac{-0,0338 \cdot (S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho)^2 + 11,457 \cdot S_T^M \cdot P_{T,R}^M \cdot \rho}{S_T^M \cdot P_{T,R}^M} \quad (19)$$

где $P_{T,R}^M$ – коэффициент приведения расчетного числа полос в одном направлении (R_j), состояния покрытия (M_j), типа улиц (T_i) к эталонным значениям.

S_T^M – коэффициент приведения фактического состояния покрытия (M_j), типа улиц (T_i) к эталонному значению.

По результатам итерационных расчетов были определены коэффициенты приведения уравнений каждого типа (формулы 16 - 19) к фактическим условиям мониторинга. Их значения приведены в главе «Разработка рекомендаций по дистанционному мониторингу транспортных потоков улично-дорожных сетей».

Для данных, имеющих на сегодняшний день, алгоритм дешифровки описывается с применением вышеназванных коэффициентов (таблица 20).

Таблица 20 – Коэффициенты приведения числа полос к эталонному условию

Тип	Полосы движения	Состояние покрытия			
		Сухое, M_1	Мокрое, M_2	Наледь, M_3	Снежный накат, M_4
T_1	2, n_1	$\frac{P_{1,1}^1 = 1,0000}{p_{1,1}^1 = 1,0000}$	$\frac{P_{1,1}^2 = 1,0000}{p_{1,1}^2 = 1,0000}$	$\frac{P_{1,1}^3 = 1,0000}{p_{1,1}^3 = 1,0000}$	$\frac{P_{1,1}^4 = 1,0000}{p_{1,1}^4 = 1,0000}$
	3, n_2	$\frac{P_{1,2}^1 = 0,7346}{p_{1,2}^1 = 0,6963}$	$\frac{P_{1,2}^2 = 1,1218}{p_{1,2}^2 = 0,8140}$	$\frac{P_{1,2}^3 = 0,3036}{p_{1,2}^3 = 0,2756}$	$\frac{P_{1,2}^4 = 0,5234}{p_{1,2}^4 = 0,5110}$
	4, n_3	$\frac{P_{1,3}^1 = 0,3746}{p_{1,3}^1 = 0,3686}$	$\frac{P_{1,3}^2 = 0,2974}{p_{1,3}^2 = 0,3461}$	$\frac{P_{1,3}^3 = 3,1766}{p_{1,3}^3 = 3,3636}$	$\frac{P_{1,3}^4 = 0,4299}{p_{1,3}^4 = 0,5221}$
T_2	2, n_1	$\frac{P_{2,1}^1 = 1,0000}{p_{2,1}^1 = 1,0000}$	$\frac{P_{2,1}^2 = 1,0000}{p_{2,1}^2 = 1,0000}$	$\frac{P_{2,1}^3 = 1,0000}{p_{2,1}^3 = 1,0000}$	$\frac{P_{2,1}^4 = 1,0000}{p_{2,1}^4 = 1,0000}$
	3, n_2	$\frac{P_{2,2}^1 = 1,6333}{p_{2,2}^1 = 1,8065}$	$\frac{P_{2,2}^2 = 0,7798}{p_{2,2}^2 = 0,3389}$	$\frac{P_{2,2}^3 = 0,3059}{p_{2,2}^3 = 0,2168}$	$\frac{P_{2,2}^4 = 0,4194}{p_{2,2}^4 = 0,6174}$
	4, n_3	$\frac{P_{2,3}^1 = 0,4686}{p_{2,3}^1 = 0,5129}$	$\frac{P_{2,3}^2 = 0,4149}{p_{2,3}^2 = 0,6519}$	$\frac{P_{2,3}^3 = 0,3787}{p_{2,3}^3 = 0,3140}$	$\frac{P_{2,3}^4 = 0,4929}{p_{2,3}^4 = 1,4737}$
T_3	2, n_1	$\frac{P_{3,1}^1 = 1,0000}{p_{3,1}^1 = 1,0000}$	$\frac{P_{3,1}^2 = 1,0000}{p_{3,1}^2 = 1,0000}$	$\frac{P_{3,1}^3 = 1,0000}{p_{3,1}^3 = 1,0000}$	$\frac{P_{3,1}^4 = 1,0000}{p_{3,1}^4 = 1,0000}$
	3, n_2	$\frac{P_{3,2}^1 = 0,4771}{p_{3,2}^1 = 1,3121}$	$\frac{P_{3,2}^2 = 0,5510}{p_{3,2}^2 = 0,1732}$	$\frac{P_{3,2}^3 = 0,5665}{p_{3,2}^3 = 0,2478}$	$\frac{P_{3,2}^4 = 0,3633}{p_{3,2}^4 = 0,3637}$
	4, n_3	$\frac{P_{3,3}^1 = 0,4241}{p_{3,3}^1 = 0,5610}$	$\frac{P_{3,3}^2 = 0,3001}{p_{3,3}^2 = 0,3601}$	$\frac{P_{3,3}^3 = 0,5591}{p_{3,3}^3 = 0,3035}$	$\frac{P_{3,3}^4 = 0,4056}{p_{3,3}^4 = 0,7835}$
T_4	2, n_1	$\frac{P_{4,1}^1 = 1,0000}{p_{4,1}^1 = 1,0000}$	$\frac{P_{4,1}^2 = 1,0000}{p_{4,1}^2 = 1,0000}$	$\frac{P_{4,1}^3 = 1,0000}{p_{4,1}^3 = 1,0000}$	$\frac{P_{4,1}^4 = 1,0000}{p_{4,1}^4 = 1,0000}$
	3, n_2	$\frac{P_{4,2}^1 = 0,3402}{p_{4,2}^1 = 0,2122}$	$\frac{P_{4,2}^2 = 1,2609}{p_{4,2}^2 = 0,8856}$	$\frac{P_{4,2}^3 = 0,2941}{p_{4,2}^3 = 0,1834}$	$\frac{P_{4,2}^4 = 0,2615}{p_{4,2}^4 = 0,1862}$
	4, n_3	$\frac{P_{4,3}^1 = 0,4026}{p_{4,3}^1 = 0,2838}$	$\frac{P_{4,3}^2 = 0,3421}{p_{4,3}^2 = 0,4060}$	$\frac{P_{4,3}^3 = 0,3719}{p_{4,3}^3 = 0,3221}$	$\frac{P_{4,3}^4 = 0,1819}{p_{4,3}^4 = 0,1408}$

* над дробью – значение коэффициента, подставляемого в числитель базового уравнения; под дробью – значение коэффициента, подставляемого в знаменатель базового уравнения.

Разработанные коэффициенты приведения состояния покрытия к типу улиц представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Коэффициенты приведения состояния покрытия к эталонному условию

Тип	Состояние покрытия			
	Сухое, M_1	Мокрое, M_2	Наледь, M_3	Снежный накат, M_4
T_1	$\frac{S_1^1}{s_1^1} = 1,0000$	$\frac{S_1^2}{s_1^2} = 1,2338$	$\frac{S_1^3}{s_1^3} = 1,7627$	$\frac{S_1^4}{s_1^4} = 1,3609$
	$\frac{s_1^1}{s_1^1} = 1,0000$	$\frac{s_1^2}{s_1^2} = 0,7061$	$\frac{s_1^3}{s_1^3} = 0,834$	$\frac{s_1^4}{s_1^4} = 0,6915$
T_2	$\frac{S_2^1}{s_2^1} = 1,0000$	$\frac{S_2^2}{s_2^2} = 1,1005$	$\frac{S_2^3}{s_2^3} = 2,1564$	$\frac{S_2^4}{s_2^4} = 2,0239$
	$\frac{s_2^1}{s_2^1} = 1,0000$	$\frac{s_2^2}{s_2^2} = 0,8850$	$\frac{s_2^3}{s_2^3} = 2,2089$	$\frac{s_2^4}{s_2^4} = 0,9163$
T_3	$\frac{S_3^1}{s_3^1} = 1,0000$	$\frac{S_3^2}{s_3^2} = 1,3248$	$\frac{S_3^3}{s_3^3} = 0,3093$	$\frac{S_3^4}{s_3^4} = 2,0918$
	$\frac{s_3^1}{s_3^1} = 1,0000$	$\frac{s_3^2}{s_3^2} = 1,8210$	$\frac{s_3^3}{s_3^3} = 0,4671$	$\frac{s_3^4}{s_3^4} = 1,8159$
T_4	$\frac{S_4^1}{s_4^1} = 1,0000$	$\frac{S_4^2}{s_4^2} = 0,9909$	$\frac{S_4^3}{s_4^3} = 1,5928$	$\frac{S_4^4}{s_4^4} = 2,9980$
	$\frac{s_4^1}{s_4^1} = 1,0000$	$\frac{s_4^2}{s_4^2} = 0,9564$	$\frac{s_4^3}{s_4^3} = 1,3441$	$\frac{s_4^4}{s_4^4} = 2,4740$

Все вышеприведенные коэффициенты получены математическим преобразованием при детальном исследовании улиц и городских дорог.

3.5 Оценка достоверности полученных зависимостей

Для проверки применимости всех разработанных уравнений была рассчитана средняя ошибка аппроксимации, которая демонстрирует точность соответствия теоретического распределения фактическим значениям исследуемых величин. Расчет коэффициента представлен в формуле 20.

$$A = \frac{\sum |y_i - y_x| \cdot y_i}{n} \cdot 100 \quad \%, \quad (20)$$

где y_i – значение, полученное методом видеонаблюдения (авт/час);

y_x – расчетное значение, полученное с помощью уравнения (авт/час);

n – количество измерений.

В случае если значение ошибки аппроксимации принимает отрицательное значение, это свидетельствует о неадекватности рассматриваемой модели при положительных значениях и чем ближе величина к нулю, тем точнее уравнение описывает массив точек. Графические зависимости, коэффициент аппроксимации которых ниже 20, считаются достаточно точными. Расчетные значения коэффициента для всех проработанных зависимостей представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Результаты расчета величины отклонения расчетных значений интенсивности от фактических

N п/п	Условные обозначения	Вариативные факторы			Отклонения А, %
		Тип	Состояние покрытия	Количество полос	
1	2	3	4	5	6
1	$T_1M_1R_1$	1	Сухое	2	12,17
2	$T_1M_1R_2$	1	Сухое	3	10,30
3	$T_1M_1R_3$	1	Сухое	4	7,31
4	$T_1M_2R_1$	1	Мокрое	2	6,12
5	$T_1M_2R_2$	1	Мокрое	3	6,65
6	$T_1M_2R_3$	1	Мокрое	4	13,12
7	$T_1M_3R_1$	1	Наледь	2	12,89
8	$T_1M_3R_2$	1	Наледь	3	11,11
9	$T_1M_3R_3$	1	Наледь	4	14,89
10	$T_1M_4R_1$	1	Снежный накат	2	12,04
11	$T_1M_4R_2$	1	Снежный накат	3	10,84
12	$T_1M_4R_3$	1	Снежный накат	4	9,12
13	$T_2M_1R_1$	2	Сухое	2	14,17
14	$T_2M_1R_2$	2	Сухое	3	3,62
15	$T_2M_1R_3$	2	Сухое	4	10,11
16	$T_2M_2R_1$	2	Мокрое	2	7,61
17	$T_2M_2R_2$	2	Мокрое	3	5,32
18	$T_2M_2R_3$	2	Мокрое	4	5,99
19	$T_2M_3R_1$	2	Наледь	2	13,18
20	$T_2M_3R_2$	2	Наледь	3	15,02
21	$T_2M_3R_3$	2	Наледь	4	11,93
22	$T_2M_4R_1$	2	Снежный накат	2	2,04
23	$T_2M_4R_2$	2	Снежный накат	3	6,45
24	$T_2M_4R_3$	2	Снежный накат	4	9,51
25	$T_3M_1R_1$	3	Сухое	2	8,13
26	$T_3M_1R_2$	3	Сухое	3	13,16
27	$T_3M_1R_3$	3	Сухое	4	14,32
28	$T_3M_2R_1$	3	Мокрое	2	9,19
29	$T_3M_2R_2$	3	Мокрое	3	4,57
30	$T_3M_2R_3$	3	Мокрое	4	2,81
31	$T_3M_3R_1$	3	Наледь	2	14,01
32	$T_3M_3R_2$	3	Наледь	3	11,91
33	$T_3M_3R_3$	3	Наледь	4	8,19
34	$T_3M_4R_1$	3	Снежный накат	2	15,17
35	$T_3M_4R_2$	3	Снежный накат	3	8,85
36	$T_3M_4R_3$	3	Снежный накат	4	13,02
37	$T_4M_1R_1$	4	Сухое	2	9,17
38	$T_4M_1R_2$	4	Сухое	3	5,95
39	$T_4M_1R_3$	4	Сухое	4	6,25
40	$T_4M_2R_1$	4	Мокрое	2	7,44
41	$T_4M_2R_2$	4	Мокрое	3	8,18
42	$T_4M_2R_3$	4	Мокрое	4	10,92

1	2	3	4	5	6
43	$T_4M_3R_1$	4	Наледь	2	12,50
44	$T_4M_3R_2$	4	Наледь	3	14,28
45	$T_4M_3R_3$	4	Наледь	4	4,62
46	$T_4M_4R_1$	4	Снежный накат	2	3,72
47	$T_4M_4R_2$	4	Снежный накат	3	11,00
48	$T_4M_4R_3$	4	Снежный накат	4	11,24

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Выполнение замеров в установленном количестве позволило сформировать банк данных интенсивности и плотности. Для каждого вариативного состояния были составлены диаграммы транспортного потока.

Выполненное математическое планирование в процессе сбора массива значений интенсивности и плотности позволило установить графические закономерности исследуемых показателей. При этом разработана матрица планирования трехфакторного эксперимента, на основе которой составлены математические зависимости.

В процессе проверки адекватности выявленных зависимостей выполнено сравнение полученных данных с применением разработанной методики и фактических значений, полученных методом видеонаблюдения по критерию аппроксимации. Выполненное сравнение демонстрирует работоспособность зависимостей, повышающих полноту и достоверность информации, обосновывающей проектные решения и точность расчетов.

4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ДИСТАНЦИОННОМУ МОНИТОРИНГУ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ

4.1. Область применения, нормативные ссылки, определения

4.1.1 Область применения

Во второй главе доказано, что для определения интенсивности движения на сетевых объектах улично-дорожной сети наиболее оправданным с позиции минимизации ресурсных затрат является использование таких прогрессивных методов, как дистанционный спутниковый и метод видеонаблюдения [9]. Настоящая методика применима на различных стадиях проектирования.

В исследованиях агломерационных транспортных структур необходимы сведения о параметрах транспортных потоков в макро- и микромасштабах. В микромасштабе указанные параметры используются для планирования отдельных улиц, их элементов и объектов транспортной инфраструктуры. Исследования в макромасштабе выполняются при планировании сетевых систем (таблица 23).

Таблица 23 – Распределение объектов по масштабам исследования и уровням планирования

Уровни	Микромасштаб	Макромасштаб	Масштабность
Планирование дорог	Улицы местного значения	Многополосная улица непрерывного движения	Объекты
Планирование элементов	Паркинги, перекрестки, транспортные развязки	Системное управление транспортными развязками, транспортные объекты, расположенные на значительной площади (районе города)	
Планирование сети	УДС микрорайона	УДС дистрикта, УДС города	
-	Ремонт, реконструкция, строительство	Проектирование, управление, организация дорожного движения	Виды деятельности

При детальном рассмотрении проектной деятельности были классифицированы виды проектной деятельности, основанные на данных об интенсивности движения (таблица 24).

Таблица 24 – Виды проектной деятельности, основанные на данных об интенсивности движения

№ п/п	Вид проектной деятельности	Регламентирующий документ
Сетевые объекты		
1.	Проектирование нового населённого пункта	СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений; методические рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений
2.	Проектирование нового микрорайона	
3.	Реконструкция городских застроек	СП 35-105-2002. Реконструкция городской застройки с учетом доступности для инвалидов и других маломобильных групп населения.
Локальные объекты		
4.	Проектирование плана трассы, продольного и поперечного профилей	СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений; методические рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений
5.	Конструирование и расчет дорожной одежды	ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд; методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд.
6.	Обустройство автомобильной дороги	ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств; ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения

4.1.2 Нормативные ссылки

Ниже приведены нормативные ссылки, используемые при разработке диссертационного исследования.

1. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменением N 1).
2. ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах: Росавтодор, Москва, 2010.
3. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89.
4. Свод правил СП-396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования.

5. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.
6. ГКИНП-09-32-80 Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов.
7. ГОСТ Р 56670-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных городского пассажирского транспорта.
8. ОДМ Методика оценки сроков дорожно-строительных работ в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.
9. ГОСТ 8.539-85 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений разрешающей способности фотоматериалов.
10. Распоряжение от 21 января 2017 года N 87-р Об утверждении концепции развития системы видеонаблюдения в республике Татарстан в рамках реализации аппаратно-программного комплекса «Безопасный город».
11. СТО 56947007-29.200.10.235-2016 Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий электропередачи и энергетических объектов.
12. Постановление от 4 апреля 2005 года N 48-а «О нормативах метеорологических факторов, определяющих режимы работ в холодное время года на открытом воздухе и в закрытых необогреваемых помещениях, на территории Ярославской области».
13. ОДМ Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах, Министерство транспорта РФ, Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор), Москва 2003.
14. ГОСТ 16878-71 Штуцера бортовые пневмогидроаккумуляторов и амортизационных стоек шасси летательных аппаратов. Основные параметры и присоединительные размеры.

15. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (с Поправкой).
16. Методические рекомендации по проектированию улиц и дорог городов и сельских поселений, г. Москва, 1994.
17. СП 35-105-2002. Реконструкция городской застройки с учетом доступности для инвалидов и других маломобильных групп населения.
18. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд; методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд. Государственная служба дорожного хозяйства министерства транспорта РФ, г. Москва, 2001.
19. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91). Министерство транспорта РФ Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор), г. Москва, 2004.
20. ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств.
21. ГОСТ Р 50597-93 Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения.

4.1.3 Термины и определения

В диссертационном исследовании были использованы следующие термины:

Банк данных – система хранения материалов о состояниях транспортных потоков, разработанная посредством различных методов сбора информации (ручной, видеонаблюдение), составленная за n-ое количество времени.

Видеонаблюдение – процесс сбора данных, осуществляемый с применением оптико-электронных устройств, предназначенных для визуального контроля или автоматического анализа параметров транспортного потока.

Дистанционный мониторинг – авиационный или космический мониторинг, а также мониторинг за средой с помощью приборов, установленных в труднодоступных местах Земли, показания которых передаются в центры наблюдения с помощью методов дальней передачи информации: по радио, проводам, через спутники и прочее.

Дорожные условия – совокупность геометрических параметров, транспортно-эксплуатационных качеств дороги, дорожных покрытий, элементов обустройства и обстановки.

Интенсивность движения – количество автомобилей, проходящих через поперечное сечение дороги в единицу времени.

Метеорологические факторы – в настоящем исследовании означают различные погодные условия (дождь, снег), формирующие состояние покрытия.

Мультипараметрическое уравнение – уравнение зависимости интенсивности движения от плотности транспортного потока, включающее в себя факторы изменчивости.

Плотность движения – количество автомобилей, приходящихся на единицу длины дороги.

Преобразование статичного изображения в динамические характеристики – перевод данных, взятых со спутникового изображения, при помощи уравнений зависимости в параметры транспортного потока.

Пропускная способность – максимальное число автомобилей, которое может пропустить участок дороги в единицу времени в одном или двух направлениях в рассматриваемых дорожных и погодных-климатических условиях.

Разрешающая способность – способность оптической системы измерять линейное или угловое расстояние между близкими объектами, показывать предельно близко расположенные структурные элементы объекта, которые визуальным образом невозможно различить.

Репрезентативная информация – представительная информация, достаточная для того, чтобы считаться достоверной.

Ресурсы – в данном исследовании под ресурсами понимают самолёты, автожиры, беспилотные летающие аппараты, детекторы движения и другие средства получения информации.

Сетевой мониторинг – получение данных о параметрах транспортного потока с нескольких взаимосвязанных улиц одновременно

Спутниковый мониторинг – изучение параметров транспортного потока посредством получения информации с картографического ресурса.

Типизация городских улиц и дорог – разработанное и апробированное на реальных объектах автором категорийное распределение городских улиц и дорог с учетом критериев Гаусса и Гальтона, включающее в себя четыре различных типа улиц.

Транспортная сеть – совокупность всех транспортных путей на определенной территории.

Транспортные условия – результат метеорологических факторов, а именно различные состояния покрытия (сухое чистое, мокрое загрязненное).

Транспортные факторы – параметры межсистемных связей, определяющие капитальные затраты, потери энергии, годовые эксплуатационные расходы по межсистемным линиям передвижения; изменение расхода топлива на его транспорт; показатели удельных замыкающих затрат на топливо.

Улично-дорожная сеть – система объектов капитального строительства, включая улицы и дороги различных категорий и входящие в их состав объекты дорожно-мостового строительства (путепроводы, мосты, туннели, эстакады и другие подобные сооружения), предназначенные для движения транспортных средств и пешеходов, проектируемые с учетом перспективного роста интенсивности движения и обеспечения возможности прокладки инженерных коммуникаций.

Уровень видеотизации – количество средств видеонаблюдения, работающих в городской среде.

4.2 Разработка рекомендаций по дистанционному мониторингу транспортных потоков

Результат, полученный с помощью метода дистанционного мониторинга, заключается в продуктивном управлении транспортными объектами, назначении мероприятий по улучшению их транспортно-эксплуатационных качеств, планировании развития транспортной инфраструктуры на этапах инженерных изысканий, проектировании, строительстве и эксплуатации улиц и городских дорог.

Для возможности применения предлагаемой методики дистанционного мониторинга транспортных потоков на улично-дорожной сети необходимо выполнение работ в три этапа:

- I – формирование банка данных;
- II – определение типа и выбор расчетного аппарата;
- III – разработка программного продукта на основе полученных зависимостей и его применение для сокращения времени дешифровки.

4.2.1 Формирование банка данных для проектирования улиц и городских дорог

Значение минимального числа замеров интенсивности движения имеет высокий уровень зависимости от численности жителей рассматриваемого населенного пункта. Данные по минимальным значениям применительно к условиям движения приведены в таблице 24. Методика определения минимального количества замеров интенсивности в год представлена в Приложении А.4.

Таблица 24 – Минимальное количество замеров

Тип улицы	Количество полос	Диапазон минимального количества замеров
I	2	165 375 – 166 647
I	3	192 296 – 193 775
I	4	223 600 – 225 320
I	6	260 470 – 262 056
II	2	183 467 – 184 560
II	3	211 890 – 213 200
II	4	248 500 – 251 150
II	6	292 470 – 294 210
III	2	194 000 – 196 000
III	3	219 569 – 221 480
III	4	252 900 – 255 730
III	6	291 200 – 293 169
IV	2	137 500 – 138 210
IV	3	158 390 – 160 028
IV	4	180 077 – 182 015
IV	6	209 260 – 211 082

Сбор информации должен выполняться регулярно посредством ручного и видеонаблюдения на одних и тех же улицах рассматриваемого города. Подсчет интенсивности движения и плотности потока выполняется с 6:00 до 24:00 (ночные часы исключаются из процесса сбора данных, в силу особенностей суточного жизненного цикла города).

В условиях деления крупнейших городов Российской Федерации на часовые пояса замеры интенсивности должны выполняться согласно интервалам учета, представленным в таблице 25.

Таблица 25 – Деление городов Российской Федерации на часовые пояса

Часовой пояс	Город	Интервалы учета
UTC+3	Москва, Ярославль, Волгоград, Нижний Новгород, Казань, Ростов-на-Дону, Самара, Воронеж	8:00-2:00
UTC+5	Пермь, Челябинск, Екатеринбург, Уфа	6:00-24:00
UTC+6	Омск	5:00-23:00
UTC+7	Новосибирск, Красноярск	4:00-22:00

Для получения более точных данных фиксация часовой интенсивности движения и плотности транспортного потока производилась посредством использования видеокамер в начале каждого исследуемого часа.

Современный уровень развития картографических ресурсов позволяет получить достоверную надежную основу исходных данных в разные периоды года при различных расчетных состояниях поверхности покрытия.

Следующий этап работы заключается в подробном исследовании спутникового снимка и снятии статических данных, а именно: количества полос движения и плотности потока, – для дальнейшей дешифровки данных в динамические характеристики транспортного потока (в частности, интенсивность движения), структура их определения на основе статических данных представлена на рисунке 23.

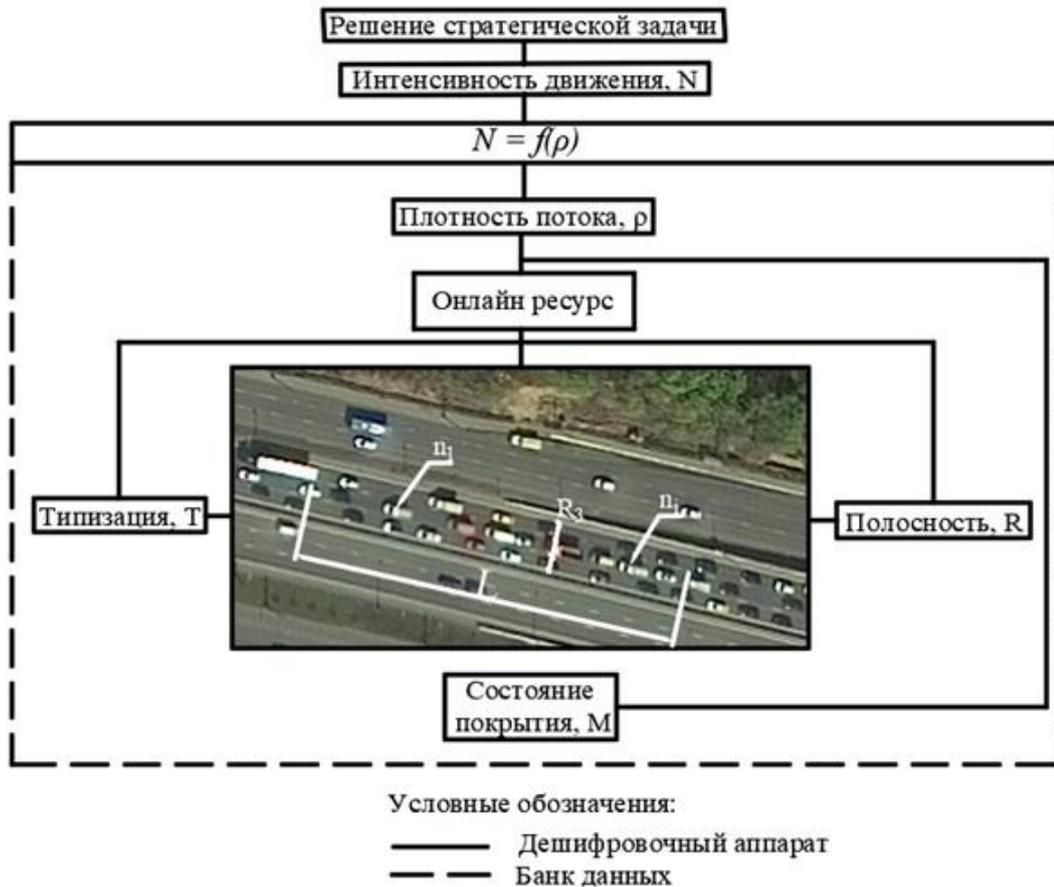


Рисунок 23 – Структура определения динамических характеристик транспортного потока на основе статических данных

Такой фактор вариативности, как состояние покрытия, невозможно получить со спутникового снимка, так как спутник фиксирует данные только в эталонных погодных условиях, в связи с чем этот параметр может

идентифицироваться с применением видеонаблюдения либо воспроизводиться источниками метеорологического прогнозирования хранения данных.

По полученным данным состояния покрытия строятся графики изменения интенсивности движения во времени, на основе которых определяется принадлежность улицы или городской дороги к одному из предложенных типов.

Для получения математического аппарата преобразования плотности потока в интенсивность движения на основе собранных данных строятся графики зависимости с учетом состояний дорожного покрытия (M) и полосности (R) исследуемого участка улицы (рисунок 24). Подробные графики зависимости и дисперсия статистических данных интенсивности от плотности транспортного потока представлены в приложениях В1-В5.

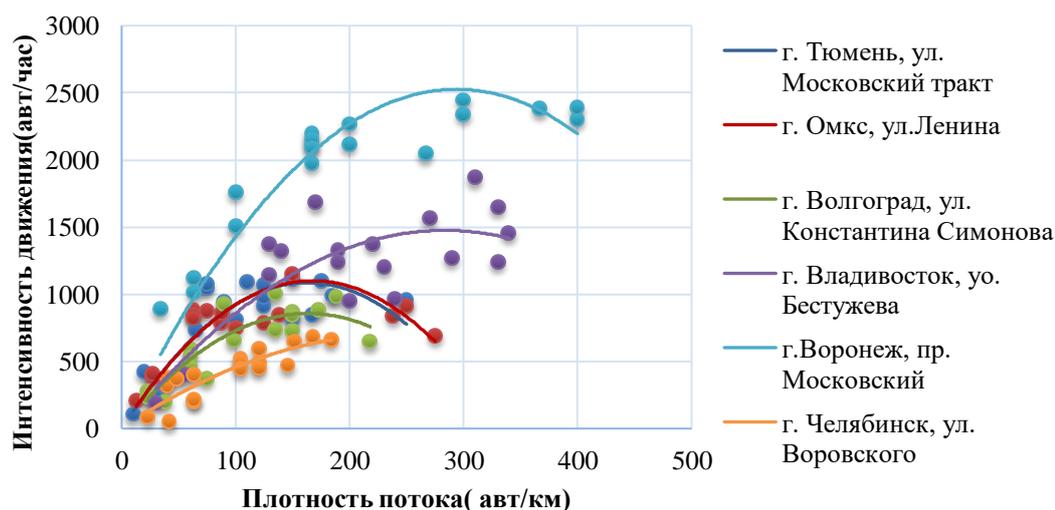


Рисунок 24 – График зависимости интенсивности и плотности на различных улицах

Для каждого полученного вида функции с применением программного комплекса Microsoft Office, в частности, программы Microsoft Excel, разработаны графики зависимости интенсивности движения от плотности транспортного потока. Построение графических зависимостей выполнялось в следующей последовательности:

а) собранные данные посредством видеонаблюдения заносятся в таблицу;

б) выводится график (курсором выделяются данные: панель инструментов – вкладка вставка – диаграмма – вид диаграммы – точечная диаграмма);

в) после наведения курсора на диаграмму в правом верхнем углу появляется знак плюс, выбираются дополнительные параметры;

г) в правой части экрана в появившемся рабочем интерфейсе ставятся галочки: полиномиальная, пересечение с кривой с осью ординат в точке 0.0, показать уравнение на диаграмме, поместить на диаграмму величину коэффициента ошибки аппроксимации (R^2), рассмотренной в главе 3.

Полученные зависимости позволяют разработать четыре мультипараметрические функции, с помощью которых становится возможным перейти от статического изображения к динамическим характеристикам транспортного потока.

4.2.2 Определение типа и выбор расчетного аппарата дешифровки

Выбор расчетного аппарата дешифровки спутникового снимка и отнесение исследуемого участка улицы к одному из предложенных типов выполнялись в следующей последовательности:

1. Сходимость графического изображения указанной зависимости с одним из разработанных типов распределения интенсивности движения в течение суток.

Для определения графической сходимости были выбраны 4 улицы в г. Москве, наиболее ярко представляющие разработанную типизацию улиц и городских дорог (рисунок 25).

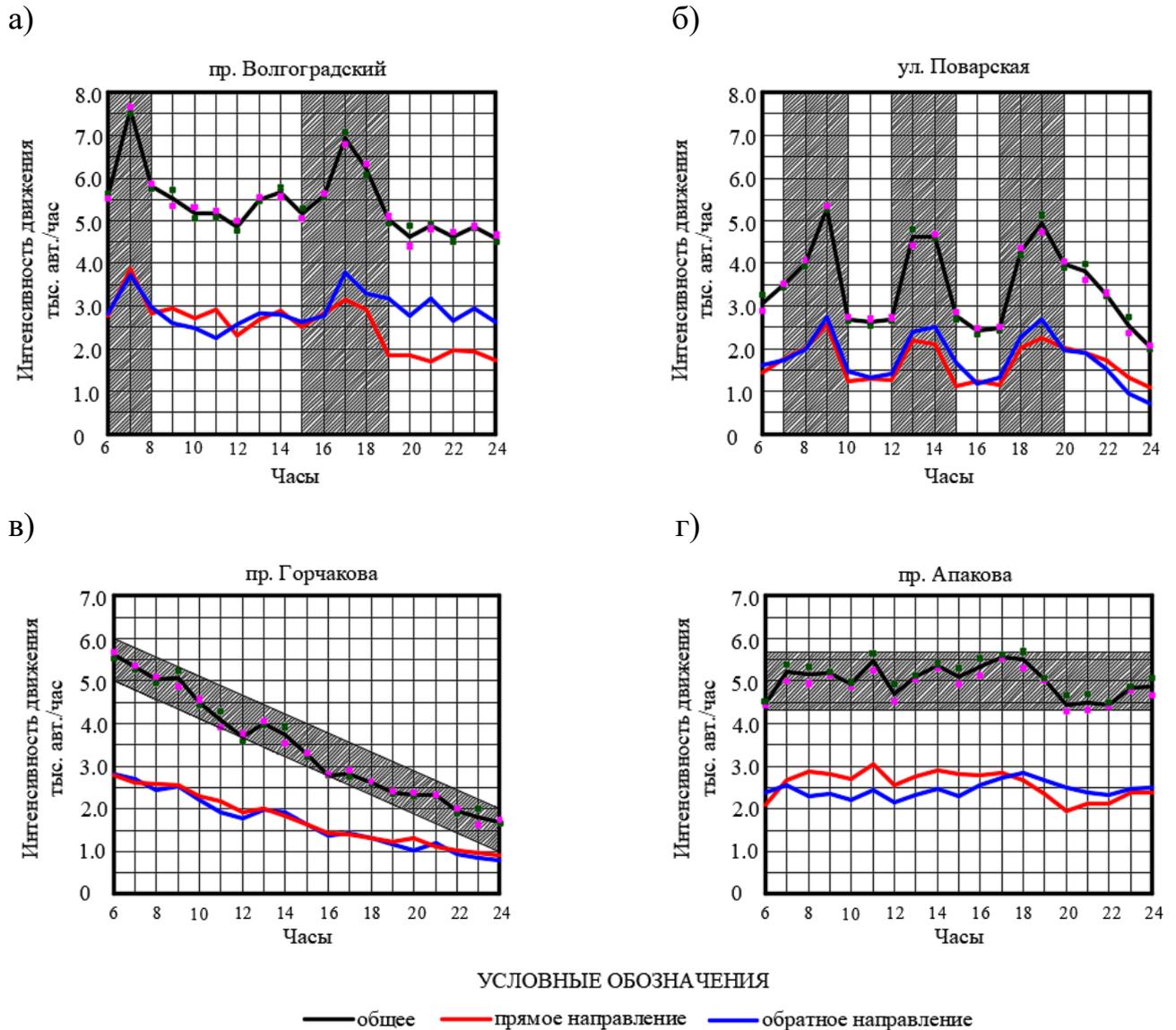


Рисунок 25 – Графическое представление типизации городских улиц и дорог

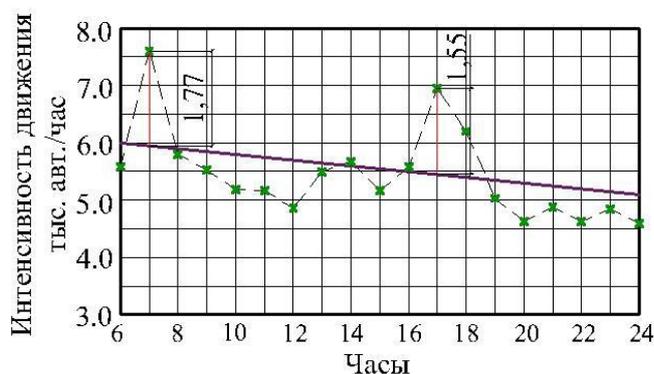
- а) I тип – пиковая интенсивность приходится на утренние и вечерние часы;
- б) II тип – пики интенсивности движения в утренние, вечерние и обеденные часы;
- в) III тип – равномерное изменение интенсивности (с утренних часов до вечерних);
- г) IV тип – равномерное распределение интенсивности в течение дня.

2. Математический закон, описывающий графическую зависимость.

После построения графической зависимости выполняется аналитический расчет для проверки отнесения рассматриваемой улицы к определенному типу.

Представленные графические зависимости наглядно демонстрируют отклонения фиксируемых значений по часам (рисунок 26).

а)



б)

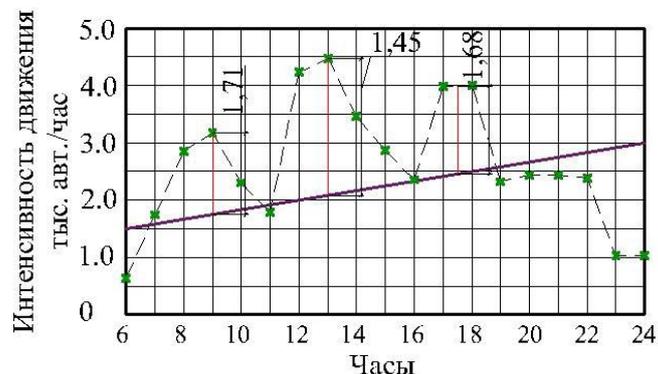


Рисунок 26 – Графическое изображение математического ожидания: а) бимодальная модель; б) полимодальная модель

Критерием выделения в самостоятельный тип улицы или городской дороги явилось превышение максимального значения над средним в 1,2-2,5 раза [16].

3. Расчет числовых значений математических величин, для конкретной улицы.

Для проверки закономерностей, определяемых отклонением математического ожидания (\bar{N}) от частных, использовался закон Гаусса (формула 21):

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i = \frac{1}{n} (N_1 + \dots + N_n), \quad (21)$$

где \bar{N} – случайная переменная часовой интенсивности движения, имеющая распределение вероятностей на выборке;

N_i – интенсивность движения i -го часа;

n – количество наблюдаемых значений с 6:00 до 24:00, $n=18$.

В процессе дешифровки параметров транспортного потока для получения достоверной информации необходимо использовать регулярно обновляемые картографические ресурсы. Детальный анализ картографических ресурсов показал, что самым достоверным является Google Maps.

Для изучения транспортных объектов производится съемка изображения улично-дорожной сети с информационного картографического ресурса, благодаря которому можно определить плотность транспортного потока ручным подсчетом в реальном времени (количество автомобилей на 1 километр дороги) с учетом определенного типа улицы и количества полос движения. На основании данных, снятых со статичного изображения, интенсивность движения рассчитывается по общей формуле 22.

$$N(\rho) = f(\rho, S_T^M, P_{T,R}^M), \quad (22)$$

где N – интенсивность движения, авт./час;

ρ – плотность движения, авт./км;

S_T^M – коэффициент приведения фактического состояния покрытия (M_i) и типа улиц (T_i) к эталонному значению (M_I);

$P_{T,R}^M$ – коэффициент приведения фактического числа полос в одном направлении (R_i), состояния покрытия (M_i) и типа улиц (T_i) к эталонным значениям (R_I).

Для определения плотности потока с помощью ранее упомянутых ресурсов производится снятие изображения и ведется ручной учет количества автомобилей на одном километре улицы. При использовании зависимости интенсивности движения от плотности по общей формуле 1 для каждого типа улиц (определяется исходя из базы данных), состояния покрытия (для которого производится расчет интенсивности) и числа полос (снимается с изображения участка дороги), определяется интенсивность движения. Искомый параметр позволяет определять производных параметры транспортного потока (скорости движения, уровня загрузки и т.д.). После чего необходимо выполнить проверку адекватности полученной зависимости по алгоритму, указанному в п. 3.4.

После завершения расчета интенсивности движения на исследуемом объекте по известным зависимостям теории транспортных потоков при необходимости выполняется определение вторичных параметров.

При отсутствии сведений о типизации конкретной улицы или городской дороги возникает необходимость отнесения его к типу по алгоритму, представленному в пункте 4.2.1.

4.2.3 Получение параметров транспортного потока с применением программного продукта

В настоящее время для автоматизации процессов и выполнения всего цикла работ, связанных с дешифровкой результатов дистанционного мониторинга материалов геоинформационных систем, на основе разработанных мультипараметрических уравнений создан программный продукт.

При выборе программной среды было исследовано множество программных языков. Исходя из различных критериев, был выбран язык C# и XAML. Суть программного комплекса заключается в возможности получения параметров транспортного потока с минимизацией временных затрат. Программа в реальном времени ведет расчет, учитывая множество параметров, заданных пользователем (тип улицы, состояние покрытия, количество полос движения в одном направлении и длину измеряемого участка).

Логистика программного продукта представлена на рисунке 27.

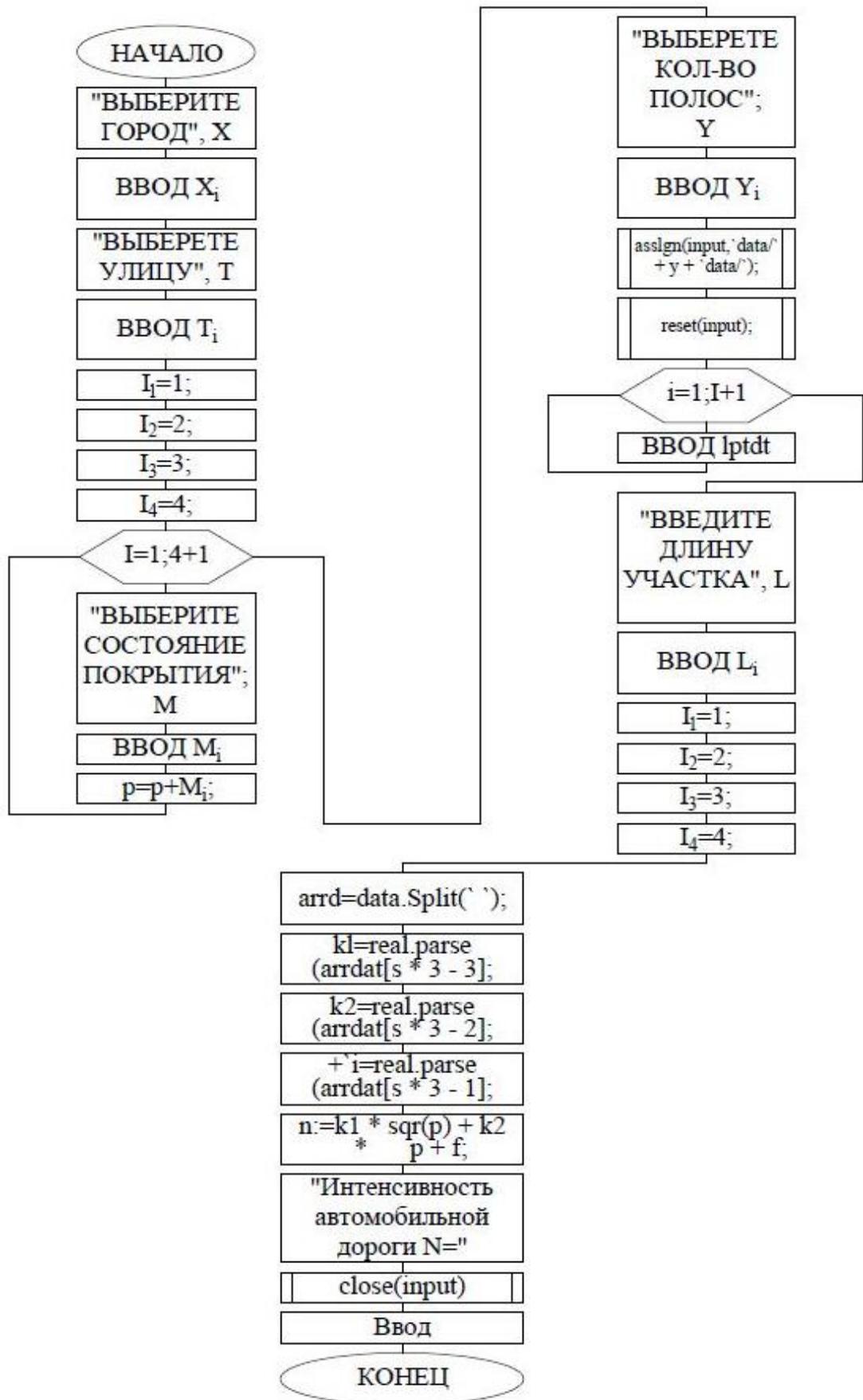


Рисунок 27 – Логистика программного продукта

Логистика работы программного продукта выполнялась по следующей схеме:

1. Загрузка спутникового снимка в программный продукт (рис 28).

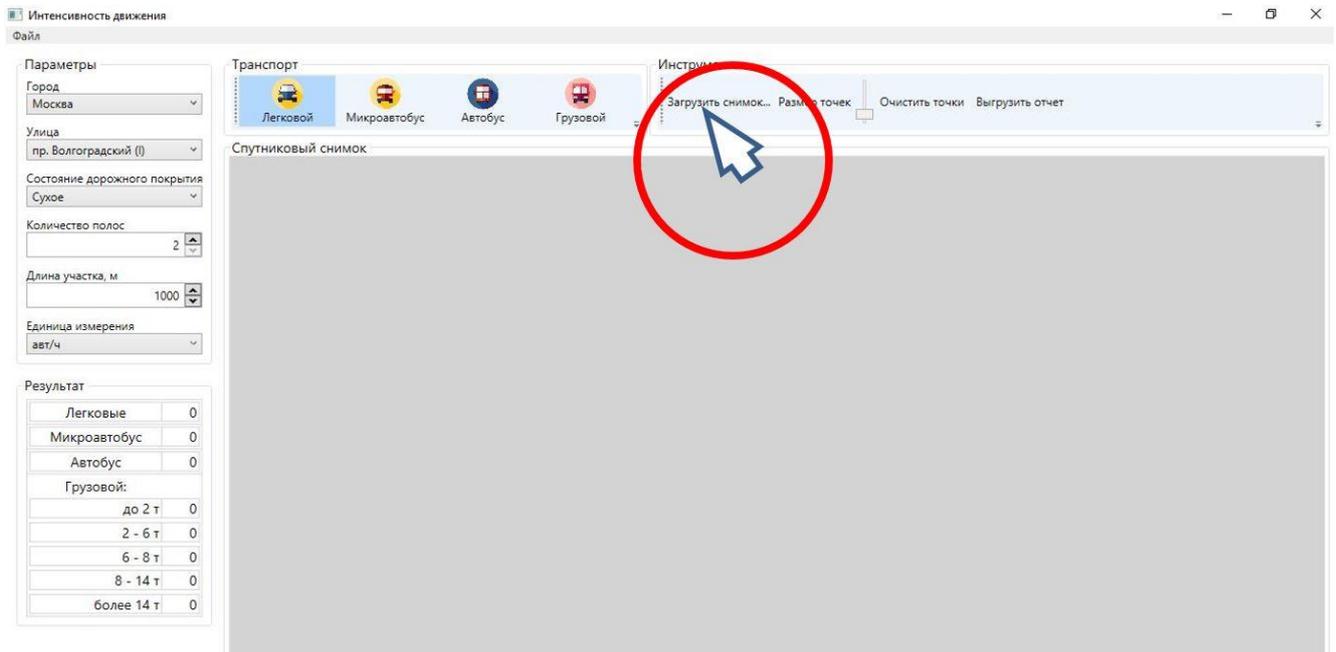


Рисунок 28 – 1 этап использования разработанного программного продукта

2. Ввод параметров рассматриваемого участка улицы: город расположения, название улицы из предложенных, количество полос движения, состояние покрытия и длина участка (рисунок 29).

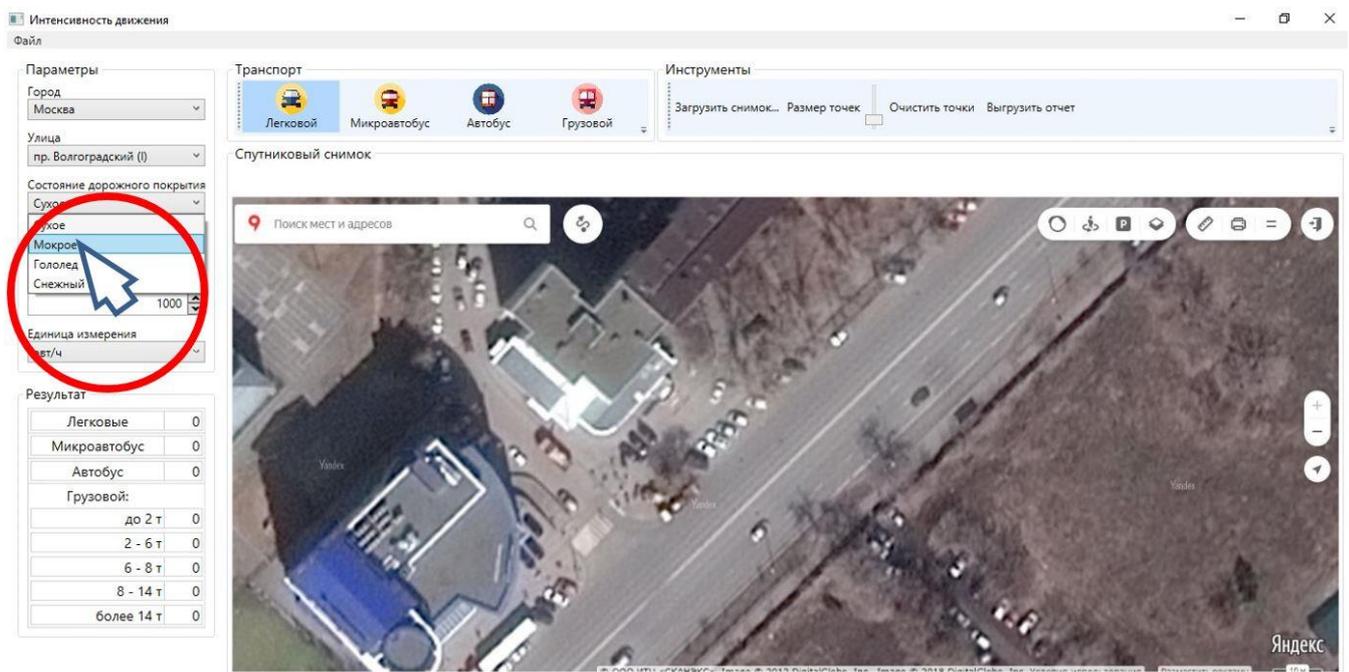


Рисунок 29 – Введение необходимых параметров для определения интенсивности

3. Выбор вида транспорта и его маркировка на загруженном спутниковом снимке при помощи специальных кнопок, отображаемых в границе рабочей зоны, (рисунок 30).

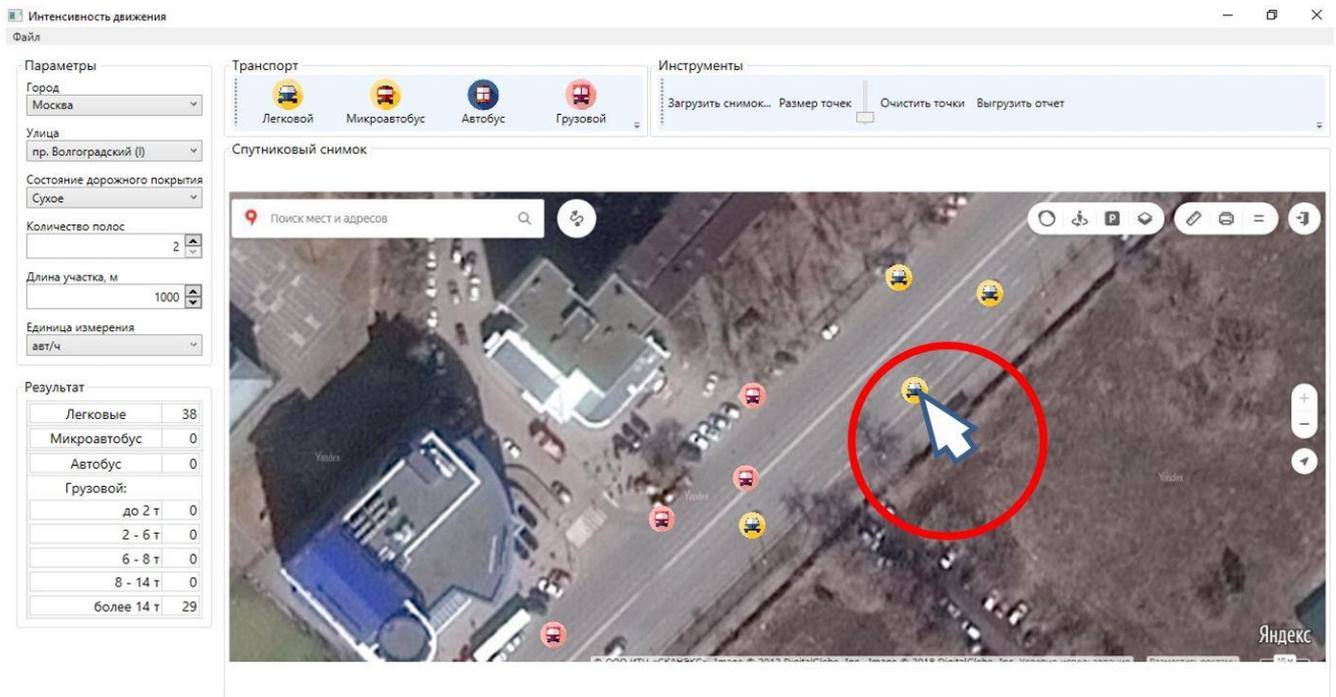


Рисунок 30 – Маркировка транспортных средств на спутниковом снимке

4. Отображение искомой величины интенсивности с учетом всех введённых в программный комплекс параметров в поле «Результат». Возможность вывода информации об исследуемом участке дорожной сети в формате Excel (для этого необходимо перейти по вкладке «Файл», далее «Выгрузить отчет») (рисунок 31).

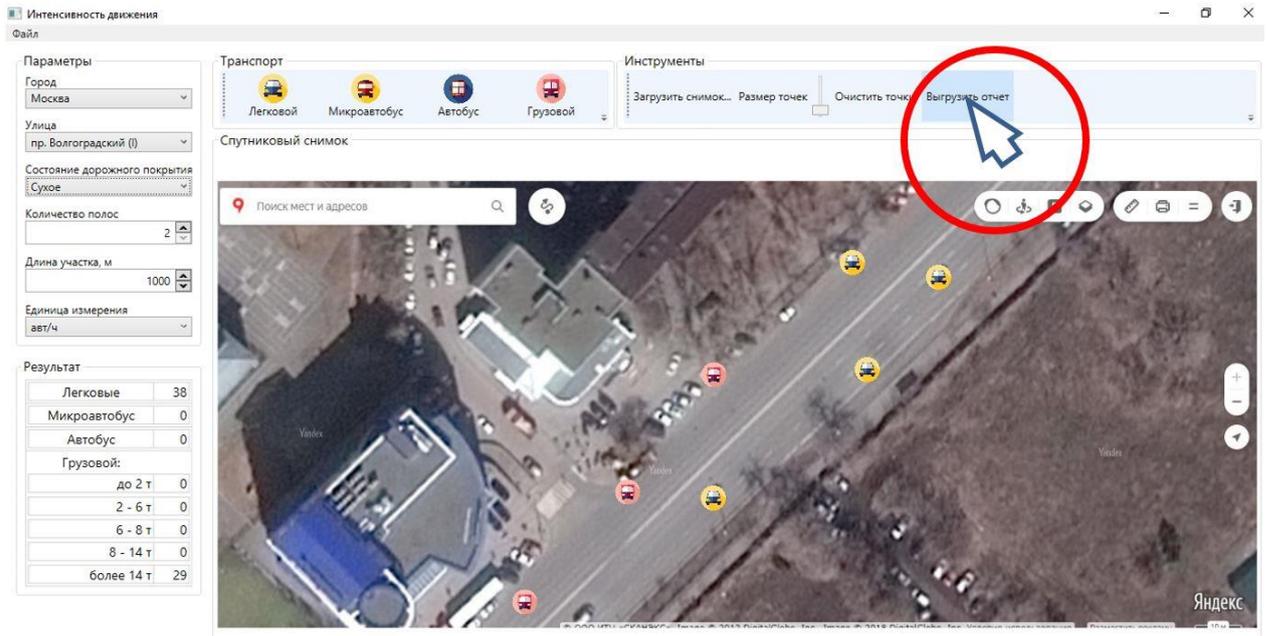


Рисунок 31 – Получение значений интенсивности движения

5. Выбор пути сохранения (рисунок 32).

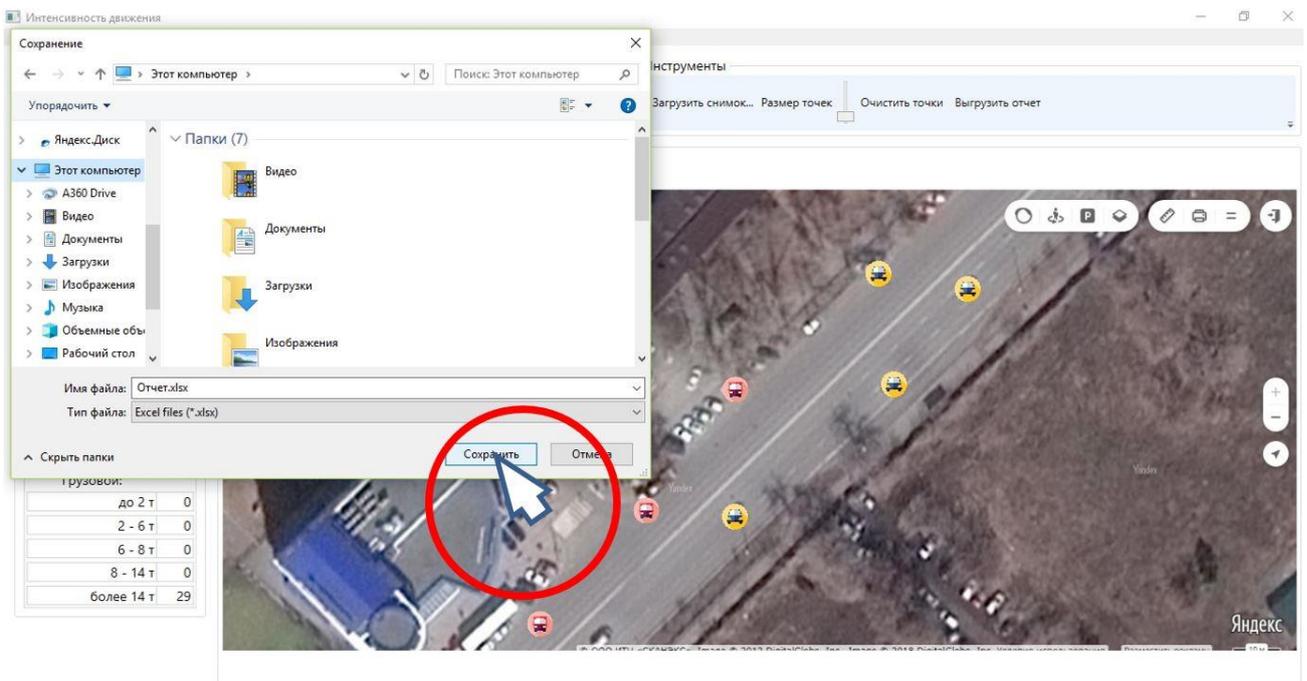


Рисунок 32 – Вывод искомым данных

Отчет представлен в виде таблицы в формате MS Excel (рисунок 33).

Город	Москва
Улица	пр. Волгоградский
Тип улицы	I
Состояние дорожного покрытия	Сухое
Кол-во полос	2
Длина участка, м	1000,00
Легковой	94
Микроавтобус	103
Автобус	38
Грузовой:	
До 2 т	121
2-6 т	94
6-8 т	103
8-14 т	48
более 14 т	121

Рисунок 33 – Общий вид результатов деятельности программного продукта

В сравнении с традиционным методом подсчета основных параметров улично-дорожной сети, данный программный продукт является более производительным и в то же время менее материально-затратным.

4.3 Оценка экономической эффективности предлагаемой методики

Для определения экономической эффективности были рассчитаны денежные (С) затраты за годовой и десятилетний период использования на монтаж (G), дешифровку (D) и съемку(Q) для различных методов мониторинга транспортных потоков (формула 23).

$$C = G_C + D_C + Q_C, \quad (23)$$

Данные рассчитаны для г. Москвы на примере метода видеонаблюдения

Определение стоимости монтажа:

Расчет стоимости монтажа для видеонаблюдения представлен в формуле 24.

$$G_C^V = F^V \cdot O^V, \quad (24)$$

Где F^V – стоимость монтажа одной видеокамеры, руб.;

O^V – количество видеокамер, шт.;

V – метод видеонаблюдения.

$$G_C^V = 1500 \cdot 3651 = 5476500 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости дешифровки при использовании видеонаблюдения представлен в формуле 25.

$$D_C^V = (E_C^V + M_C^V) \cdot O^V, \quad (25)$$

где E_C^V – заработная плата рабочего, определяющего искомые параметры (16 часов), руб. [103];

M_C^V – Затраты электроэнергии при работе с компьютером.

$$D_C^V = (1750 + 2,8) \cdot 1500 = 2629200 \text{ руб.}$$

Расчет стоимости съемки для видеонаблюдения:

$$Q_C^V = (M^V + A^V) \cdot O^V, \quad (26)$$

где M^V – затраты на электроэнергию (год);

A^V – затраты на техническое обслуживание камер (год).

$$Q_C^V = (60480 + 970) \cdot 1500 = 92175000 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты при использовании видеонаблюдения:

$$C^V = 5476500 + 2629200 + 92175000 = 100280700 \text{ руб.}$$

Представленные данные рассчитаны на первый год эксплуатации метода видеонаблюдения.

С учетом обновления данных спутниковых снимков результаты расчетов для всех видов представлены в приложении А.5. Данные, полученные методом видеонаблюдения в совокупности с использованием метода дистанционного мониторинга, будут действительны в течение 10 лет.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

Разработаны рекомендации по применению предлагаемой методики дистанционного мониторинга транспортных потоков улично-дорожной сети крупных городов на основе геоинформационных систем, а также создан программный продукт, позволяющий автоматизировать процессы по определению параметров транспортных потоков. В условиях отсутствия исследуемой улицы в статистическом банке данных, в диссертационном исследовании предлагается алгоритм отнесения улицы к одному из разработанных автором типов распределения интенсивности в течение суток.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Анализ применимости методов мониторинга и научных трудов по теории транспортных потоков позволил сформулировать актуальность рассматриваемой проблемы, подтвердить необходимость получения репрезентативных данных о параметрах транспортных потоков при рассмотрении города как сетевого объекта. Обоснована необходимость интеграции нескольких методов дистанционного мониторинга: аппаратно-ресурсных методов и разработки математической зависимости преобразования статической картины в динамическую с возможностью учёта объективных параметров улично-дорожной сети.

2. Установлен вид функции, который с наименьшей погрешностью (до 13,21 %) определяет уравнение транспортных потоков для каждого из разработанных типов улиц. Определена зависимость масштаба и разрешающей способности спутниковых снимков с целью идентификации транспортных потоков по составу. Разработана типизация улиц и городских дорог, классифицирующая транспортные и дорожные факторы, а также демонстрирующая особенности распределения интенсивности в течение суток для более точного ее определения. Выбраны значимые факторы, влияющие на изменение параметров транспортного потока, и разработана модель, учитывающая особенности жизненного цикла каждого сетевого объекта, полосность и состояние покрытия проезжей части.

3. Впервые разработаны мультипараметрические зависимости по определению интенсивности движения, учитывающие транспортные, дорожные и метеорологические факторы. Выполнено сравнение расчетных и фактических значений интенсивности, полученных методом видеонаблюдения по критерию аппроксимации, который демонстрирует работоспособность разработанных зависимостей, повышающих полноту и достоверность информации.

4. Разработан программный продукт, позволяющий автоматизировать процессы по определению параметров транспортных потоков на улично-дорожной сети крупных городов для реконструкции существующих объектов,

строительства улиц-дублеров и организации дорожного движения на улицах и городских дорогах.

Направлениями и перспективами дальнейшего исследования являются разработка метода экспресс-типизации не исследованных улиц и адаптация выявленных зависимостей с целью их применения на улицах с нерегулярным движением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нормативные документы:

1. ВСН 208-89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог / Минтрансстрой СССР. – Москва, 1990. – 120 с.
2. ГКИНП-09-32-80. Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. – Введ. 1980-04-25. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1980. – 18 с.
3. ГОСТ 16878-71. Штуцера бортовые пневмогидроаккумуляторов и амортизационных стоек шасси летательных аппаратов. Основные параметры и присоединительные размеры. – Введ. 1971-04-06. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1971. – 9 с.
4. ГОСТ Р 56670-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Подсистема мониторинга параметров транспортных потоков на основе анализа телематических данных городского пассажирского транспорта. – Введ. 2015-10-23. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 18 с.
5. ГОСТ 8.539-85. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственная поверочная схема для средств измерений разрешающей способности фотоматериалов. – Введ. 1985-12-20. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 6 с.
6. Макроэкономические индикаторы по Российской Федерации за 1991–1999 гг. // Вопросы статистики. – 2009. – № 3. – С. 51.
7. Методическое руководство по структуре, содержанию и оформлению выпускной квалификационной работы бакалавров, специалистов, магистров технических специальностей и направлений подготовки. – Москва : Министерство образования и науки Российской Федерации. Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2014. ??? с.
8. Пат. №2431201 Российская Федерация, МПК G08G1/123. Способ передачи данных о местоположении и состоянии средств в системах мониторинга транспорта / Щуров Андрей Владимирович. – номер заявки 2010127419/11; заявл. 02.07.2010 ; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 28

9. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. – Введ. 2012-02-01 – Москва: РОСАВТОДОР, 2012. – 148 с.
10. ОДМ 218.2.032-2013. Методические рекомендации по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах. – Введ. 2013-02-25 – Москва : ФГУП «РОСДОРНИИ», 2013. – 199 с.
11. ОДМ 218.4.005-2010. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – Введ. 2011-01-12. – Москва : РОСАВТОДОР, 2011. – 269 с.
12. ОДМ 218.4.024-2016. Методика оценки сроков дорожно-строительных работ в условиях воздействия дестабилизирующих факторов. – Введ. 2016-08-30. – Москва : РОСАВТОДОР, 1985. – 6 с.
13. ОДМ 218.8.002-2010. Методические рекомендации по зимнему содержанию автомобильных дорог с использованием специализированной гидрометеорологической информации (для опытного применения). – Введ. 2010-04-14. – Москва : РОСАВТОДОР, 2010. – 53 с.
14. ОДМ Руководство по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах. – Введ. 2003-06-16 – Москва : РОСАВТОДОР, 2003. – 170 с.
15. План мероприятий («Дорожная карта») «Развитие агломерации в Российской Федерации». – Введ. 2016-06-10 – Москва : Минэкономразвития России, 2016. – 13 с.
16. Государственная программа РФ «Космическая деятельность России на 2013-2020 годы Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 года №306». – Введ. 2014-04-15 – Москва : Правительство РФ, 2014. – 6 с.
17. Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов : постановление Правительства РФ от 25 декабря 2015 г. №1440 – опубликован на "Официальном интернет-портале правовой информации" (www.pravo.gov.ru).
18. О нормативах метеорологических факторов, определяющих режимы работ в холодное время года на открытом воздухе и в закрытых необогреваемых

помещениях, на территории Ярославской области : постановление от 4 апреля 2005 года N 48-а – опубликован на сайте: <http://docs.cntd.ru/document/934015372>.

19. Об утверждении изменения границы между городом федерального значения Москвой и Московской областью : постановление Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 13 июля 2011 г. N 347-СФ – опубликован на сайте: <http://docs.cntd.ru/document/902289478>.

20. Об утверждении концепции развития системы видеонаблюдения в республике Татарстан в рамках реализации аппаратно-программного комплекса «Безопасный город» : распоряжение от 21 января 2017 года N 87-р – опубликован на сайте: <http://docs.cntd.ru/document/446400417>.

21. Российский статистический ежегодник. – Москва : ФСГС, 2008. – 847 с.

22. Соглашение об изменении границы между субъектами Российской Федерации городом Москвой и Московской областью от 30 июня 2011 г. – г. Москва, 2011 г.

23. СП 34.13330-2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*. – Введ. 2013-07-01. – Москва : Госстрой России, 2013. – 111 с.

24. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89. – Введ. 2017-07-01. – Москва : РОСАВТОДОР, 2016. – 98 с.

25. СТО 56947007-29.200.10.235-2016. Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий электропередачи и энергетических объектов. – Введ. 2016-12-09. – Москва : Федеральная сетевая компания единой энергетической системы, 2016. – 96 с.

Учебные издания:

26. Вукан, В. Транспорт в городах, удобных для жизни [Электронный ресурс] : монография / Вукан Вучик. – Москва : ИД Территория будущего, 2011. – 576 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/7341.html>.

27. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учебное пособие для студентов вузов по направлению "Прикладные математика и физика" / А. В. Гасников [и др.] ; ред. А. В. Гасников. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : МЦНМО, 2013. – 426 с.

28. Домке Э. Р. Управление качеством дорог/ Э. Р. Домке. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2006. – 253 с.
29. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с.
30. Карась Ю. В. Транспортные потоки и безопасность движения на автомобильных дорогах : учебное пособие / Ю. В. Карась. – Казань : КХТИ им. С.М. Кирова, 1987. – 80 с.
31. Клинковштейн Г. И. Организация дорожного решения : учебник для автомобильно-дорожных вузов и факультетов / Г. И. Клинковштейн. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1981. – 240 с.
32. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах / А. Н. Красников. – Москва «Транспорт», 1988. – 111 с.
33. Маркуц В. М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц : практическое приложение /В. М. Маркуц. – Тюмень, 2008. –108 с.
34. Миртова И. А. Топографическое дешифрирование. Дешифрирование объектов земельного и городского кадастра : учеб. пособие /И. А. Миртова ; МИИГАиК, 2007. – 120 с.
35. Новиков Ф. А. Дискретная математика : учебник для вузов /Ф. А. Новиков. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2017. – 496 с.
36. Самодурова Т. В. Метеорологическое обеспечение зимнего содержания автомобильных дорог : /Т. В. Самодурова. – Москва : Ассоциация «РАДОР», 2003. – 183 с.
37. Семенов В. В. Смена парадигмы в теории транспортных потоках /В. В. Семенов. – Москва, 2006. – 32 с. – (Препринт/ ИПМ ; № 46).
38. Сильянов В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. вузов / В. В. Сильянов, Э. Р. Домке. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2008. – 352 с.
39. Сильянов В. В. Имитационное моделирование транспортных потоков в проектировании дорог /В. В Сильянов, В. М. Еремин, Л. И. Муравьева. – Москва : Ротапринт МАДИ, 1981119 с.

40. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения /В. В Сильянов. – Москва : Транспорт, 1977. — 303 с.
41. Трибунский В. М. Дорожные условия и характеристика движения потоков автомобилей / В. М. Трибунский // Труды МАДИ. – Москва, 1972. – Вып. 33. – С. 130-155.
42. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков /Ф. Хейт. – Москва : Мир, 1966. – 288 с.
43. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения : учебник для вузов / Я. В Я. В. Хомяк. – Киев : Высшая школа, 1986. – 271 с.
44. Хомяк Я. В. Проектирование оптимальных сетей автомобильных дорог : учебник для вузов / Я. В. Хомяк. – Москва : Транспорт, 1969. –144 с.
- Издания, выпущенные по теме исследования:*
45. Testeshev A.A., Timohovetz V.D. Methodology of traffic flows remote monitoring in the Ural Federal District largest cities using satellite monitoring data // AIP Conference Proceedings, 1800, 050006 (2017) (Web of Science)
46. Testeshev A.A., Timokhovets V.D., Loshchinina I.E., Chichilanova Y.I. The Study of Transport Systems of Urban Agglomerations of the Russian Federation by the Method of Remote Satellite Monitoring. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Vladivostok, 2019 – 7 p (Web of Science).
47. Testeshev A.A., Timohovetz V.D. Methodology of traffic flows remote monitoring in the Ural Federal District largest cities using satellite monitoring data – [AIP Conference Proceedings](#) 1800, 050006 (2017) (*Scopus*).
48. Testeshev A.A., Timohovez V.D., Mikeladze T.G. Development of harmonized multifactor mono-dependency to decipher satellite-based monitoring of traffic streams. Transportation Research Procedia – St. Petersburg, 2019. – 7 p (Web of Science).
49. Testeshev A.A., Timokhovets V.D. Mikeladze T.G. Development of multiparameter equations for satellite monitoring analysis of traffic flow. – Matec Web of Conferences with IF-0,12. - Tomsk, 2018. – 7 p (Web of Science).

50. Testeshev A.A., Timohovez V.D., Mikeladze T.G. Identification of the Composition of Transport Streams for Remote Satellite Monitoring. – IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Vladivostok, 2019– 7 p (Web of Science).
51. Закономерности изменения во времени интенсивности городского автомобильного движения [Текст] / Г. А. Менделев // диссертация кандидата тех. наук: 05.23.11: защищена 23.11.2001: утверждена: 21.08.2012 / Автор Григорий Аркадьевич. – М. 2001, – 166 с. – Библиогр.: с. 143-151.
52. Оценка влияния урбанизации на экономический рост в России [Текст] / Е. А. Коломак // Регион: экономика и социология : всероссийский научный журнал. - 2011. - № 4. - С. 51-69 : табл., схемы. - Библиогр.: 23 назв.
53. Мизин В. Е. Совершенствование методов геодезического обеспечения мониторинга линейных объектов. (ВАК) – диссертация на соискание степени кандидата технических наук. – Новосибирск, 2012.
54. Пат. 2019611026 Российская Федерация, Определение интенсивности транспортных потоков на основе дистанционного спутникового мониторинга /Лощина И. Е., Тестешев А. А., Тимоховец В. Д. – № 2019611026 ; заявл. дата 24.12.2018; опубл. 18.01.2019, Бюл. № 1.
55. Тестешев А. А. Полипараметрические уравнения для дешифровки результатов дистанционного спутникового мониторинга транспортных потоков / А. А. Тестешев, В. Д. Тимоховец, Т. Г. Микеладзе // Транспортное строительство. – 2018. – №5/12. – С. 19-22.
56. Тестешев А. А., Тимоховец В.Д., Микеладзе Т.Г. Development of multiparameter equations for satellite monitoring analysis of traffic flow // MATEC Web of Conferences 143, 04009 (2018). (*Scopus*)
57. Тимоховец В. Д. Оценка применимости существующей закономерности теории транспортных потоков для определения корреляции между плотностью и интенсивностью движения / В. Д. Тимоховец, Т. Г. Микеладзе // Организация и безопасность дорожного движения. – Тюмень, 2018. – Т.1. – С. 144-149.
58. Тимоховец В. Д. Выбор оптимальных функциональных зависимостей для определения взаимосвязей между интенсивностью и плотностью транспортного

потока / В. Д. Тимоховец, Т. Г. Микеладзе // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2018. – Т. 4. – С. 289-291.

59. Типизация улиц и дорог крупнейших городов Российской Федерации для дистанционного спутникового мониторинга транспортных потоков / В. Д. Тимоховец // Вестник гражданских инженеров. – Санкт-Петербург, 2018. – Вып.2 (67) – С. 246 -253.

60. Тимоховец В. Д. Выбор оптимального метода мониторинга транспортных потоков в условиях города / В. Д. Тимоховец, Д. А. Сысуев // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2018. – Т. 5. – С. 210-211.

61. Тимоховец В. Д. Типизация улиц и городских дорог крупнейших городов Российской Федерации / В. Д. Тимоховец, Д. А. Сысуев // Новые технологии - нефтегазовому региону : материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тюмень, 2017 – С. 335-338.

62. Тимоховец В. Д. Применение метода дистанционного спутникового мониторинга транспортных потоков для исследования параметров городской среды в рамках макромасштаба / В. Д. Тимоховец, Я. И. Чичиланова // Новые технологии – нефтегазовому региону. – Тюмень, 2018. – Т. 5. – С. 61-63.

63. Тимоховец В. Д. Разработка функциональной зависимости для определения оптимального скоростного режима транспортного потока / В. Д. Тимоховец, Я. И. Чичиланова // Организация и безопасность дорожного движения. – Тюмень, 2019. – Т. 2. – С. 109-113.

Электронные источники:

64. Автокредитование возвращается [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dengi.72.ru/text/business/301412.html>. (дата обращения 17.11.2017).

65. Бесплатные веб камеры Воронежа онлайн. Видео российских городов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://world-cam.ru/cams/voronezh-webcam-online/>, свободный (дата обращения 20.10.2017).

66. Васильев А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 т. [Электронный ресурс] /А. П. Васильев. – Режим доступа: <http://www.studmed.ru/vasilev-ap->

ekspluatatsiya-avtomobilnyh-dorog-v-2-t-tom-1_53e08cf2d91.html ([дата обращения 19.01.2018](#)).

67. Веб камеры (Webcam) Воронеж смотреть онлайн в режиме реального времени [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cam-web.ru/?p=604> ([дата обращения 20.10.2017](#)).

68. Веб камеры Волгограда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/volgograd/> ([дата обращения 20.10.2017](#)).

69. Веб камеры Екатеринбурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/ekaterinburg/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).

70. Веб камеры Екатеринбурга онлайн – виды уральского города [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://world-cam.ru/cams/webcam-online-ekaterinburg/>, свободный. ([дата обращения 20.10.2017](#)).

71. Веб камеры Казани [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/kazan/>, свободный. ([дата обращения 20.10.2017](#)).

72. Веб камеры Красноярска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/krasnoyarsk/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).

73. Веб-камеры мира. Веб-камеры Волгограда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webcam.scs.com.ua/europe/russia/volgograd/>, свободный. ([дата обращения 20.10.2017](#)).

74. Веб-камеры мира. Веб-камеры Воронежа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webcam.scs.com.ua/europe/russia/voronezh/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).

75. Веб камеры Москвы онлайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/russia/moscow/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).

76. Веб камеры Нижнего Новгорода [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/nizhnij-novgorod/>, свободный. ([дата обращения 20.10.2017](#)).
77. Веб камеры Новосибирска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/novosibirsk/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
78. Веб камеры Омска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/omsk/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
79. Веб камеры онлайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cam-web.ru/?p=150>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
80. Веб камеры Перми [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/perm/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
81. Веб камеры Ростова-на-Дону онлайн- крупные города РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://world-cam.ru/cams/rostov-on-don-webcam-online/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
82. Веб камеры Самары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/samara/>, свободный. ([дата обращения 20.10.2017](#)).
83. Веб камеры Санкт-Петербурга онлайн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/russia/sankt-peterburg/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
84. Веб камеры Саратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/saratov/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
85. Веб камеры Саратова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web-online24.ru/web-camera-saratova>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).

86. Веб камеры Челябинска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://youwebcams.net/online/category/cheljabinsk/>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
87. Интерсвязь Челябинск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stream1.is74.ru/on/>, свободный (дата обращения 20.10.2017).
88. Камеры. Офисы Уфанет. Городская среда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://maps.ufanet.ru/ufa>, свободный ([дата обращения 20.10.2017](#)).
89. Камеры Казань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tatmvdcamera.ru/>, свободный. ([дата обращения 20.10.2017](#)).
90. Каталог публикаций: Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3abfce, свободный. ([дата обращения 01.07.2019](#)).
91. Математический форум Math Help Planet. Обсуждение и решение задач по математике, физике, химии, экономике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mathhelpplanet.com/viewtopic.php?f=22&t=38966>, свободный ([дата обращения 12.03.2018](#)).
92. [Онлайн-веб камеры Москвы](#) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geosam.ru/in/moscow/>, свободный. [Дата обращения 20.10.2017](#)
93. Онлайн-проекты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://topspb.tv/online-projects/42/>, свободный. [Дата обращения 20.10.2017](#)
94. Онлайн веб-камеры Екатеринбурга [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geosam.ru/in/yekaterinburg/>, свободный. [Дата обращения 20.10.2017](#)
95. Онлайн веб-камеры Красноярска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geosam.ru/in/krasnoyarsk/4/>, свободный. [Дата обращения 20.10.2017](#)
96. Онлайн веб-камеры Новосибирска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geosam.ru/in/novosibirsk/>, свободный. [Дата обращения 20.10.2017](#).
97. Онлайн веб камеры Омска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geosam.ru/in/omsk/>, свободный. [Дата обращения 20.10.2017](#).

98. Онлайн веб-камеры Самары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geocam.ru/in/samara/>, свободный. Дата обращения 20.10.2017
99. Онлайн веб-камеры Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geocam.ru/in/st-petersburg/>, свободный. Дата обращения 20.10.2017.
100. Поток ПДД – аппаратно-программный комплекс «ПОТОК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rossi-potok.ru/ru/products/potok-pdd>, свободный. Дата обращения 06.11.2018.
101. Программа утилизации автомобилей 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://xn---7sbabl1agaca2aiayoqc5bs0e.xn--p1ai/>. Дата обращения 19.11.2017.
102. Сайт о странах, городах, статистике населения и пр. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.statdata.ru/goroda-millionniki-rossii-po-naseleniu>. Дата обращения 11.10.2017, 20.05.2018.
103. Средняя заработная плата рабочего в Тюмени [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tyumen.trud.com/salary/880/76696.html>, свободный. Дата обращения: 06.11.2018.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Таблица А.1 – Характеристики крупнейших городов Российской Федерации

Город	Численность населения, тыс. чел. 2017 2025	Средняя заработная плата, тыс. руб. 2017 2025	Протяженность пешеходных дорог, км	Ср. время перемещения	Общая площадь территории	Количество районов	Схема УДС	Протяженность УДС, км	Количество очагов аварийности	Наличие видов транспорта			Уровень автомобилизации, кол-во машин на 1000 чел. 2017/2025	Темпы прироста	
										Троллей	Трамвай	Метро		Численности населения, %	Уровня автомобилизации (авто/1000 чел.)
Москва	<u>12 380,7</u> 13 418	<u>40</u> 58	13,85	58	2511	125	Радиально-кольцевая	3600	344	+	+	+	308/372	39,4	308
Санкт-Петербург	<u>5 281,6</u> 5 364	<u>45</u> 68,7	11,16	64	1439	18	Смешанная	3302	1184	+	+	+	316/388	5,6	316
Новосибирск	<u>1 603</u> 1 655	<u>26</u> 37,5	6,3	45	502,1	10	Прямоугольная	1708	60	+	+	+	308/380	12,3	308
Екатеринбург	<u>1 456</u> 1 501	<u>40</u> 64	7	45	468	7	Радиально-кольцевая	1327	651	+	+	+	243/299	11,6	243
Нижний Новгород	<u>1 248,5</u> 1 223	<u>23</u> 33	3,3	60	460	8	Кольцевая	1500	150	+	+	+	224/277	-0,1	224
Самара	<u>1 163,5</u> 1 153	<u>28</u> 41,3	1,7	45	466	9	Прямоугольная	1087	881	+	+	+	339/419	-0,05	339
Омск	<u>1 178,4</u> 1 184	<u>23</u> 32,3	4,3	40	573	5	Прямоугольная	1432	65	+	+	-	266/327	0,02	266
Челябинск	<u>1 199</u> 1 224	<u>29</u> 43,7	1,77	35	530	7	Прямоугольная	1103	236	+	+	-	253/306	7,7	253
Ростов-на-Дону	<u>1 125,3</u> 1 159	<u>18,5</u> 27,8	6,5	47	354	8	Прямоугольно-диагональная	1372	390	+	+	-	285/346	11,1	285
Уфа	<u>1 115,6</u> 1 124	<u>33,5</u> 55,6	3,9	42	708	7	Прямоугольно-диагональная	1528	82	+	+	-	237/290	2,5	237
Волгоград	<u>1 015,6</u> 1 021	<u>23</u> 32,3	1,57	40	859	8	Прямоугольная	1258	113	+	+	+	307/376	1,8	307
Пермь	<u>1 048</u> 1 049	<u>26</u> 36,7	2,3	42	800	7	Радиально-кольцевая	1621	159	+	+	-	178/218	0,04	178
Красноярск	<u>1 083</u> 1 171	<u>25</u> 34,1	3,6	43	348	7	Прямоугольная	1053	97	+	+	-	461/576	23,5	461
Воронеж	<u>1 040</u> 1 084	<u>23</u> 32,6	4,26	41	597	6	Радиально-кольцевая	1278	361	+	-	-	296/363	16,3	296
Казань	<u>1 232</u> 1 273	<u>28</u> 40,4	7,6	40	516	7	Радиально-кольцевая	1730	194	+	+	+	261/325	12,6	261
Тюмень	<u>744,5</u> 821	<u>50</u> 74,7	6,31	52	699	4	Прямоугольная	1194	74	-	-	-	312/384	53,2	312
Краснодар	<u>881,5</u> 957	<u>30</u> 40,7	2,9	47	339,3	4	Радиально-кольцевая	1734	356	+	+	-	304/371	40,8	304

Тольятти	$\frac{710,6}{735}$	$\frac{23}{32,6}$	2,11	34	314,8	3	Радиально кольцевая	984	137	+	-	-	339/419	12,9	339
Барнаул	$\frac{633,3}{643}$	$\frac{22}{31,1}$	1,6	37	321	5	Прямо угольная	529	155	+	+	-	241/292	5,6	241
Саратов	$\frac{844,8}{836}$	$\frac{22,5}{31}$	1,9	38	394	6	Прямоугольная	1877	82	+	+	-	401/487	-0,05	401
Ижевск	$\frac{648,2}{664}$	$\frac{21}{30,3}$	1,4	35	315	6	Прямоугольная	890	27	+	+	-	296/349	0,3	296
Ульяновск	$\frac{626,5}{642}$	$\frac{22,5}{31}$	1,5	35	316	8	Прямоугольно- диагональная	1006	149	+	+	-	327/385	0,32	327
Иркутск	$\frac{623,9}{625,5}$	$\frac{32,6}{45}$	1,2	29	277	6	Прямоугольная	547,4	108	+	+	-	283/335	0,02	283
Хабаровск	$\frac{618,2}{625}$	$\frac{39}{62}$	1,85	37	383	5	Прямоугольная	939,6	20	+	+	+	227/283	0,31	227
Ярославль	$\frac{608,7}{613}$	$\frac{26}{35,5}$	1,17	27	205	6	Прямоугольно- диагональная	987,4	76	+	+	-	256/295	0,11	256
Владивосток	$\frac{604,9}{592}$	$\frac{31}{54}$	1,8	38	331	5	Прямоугольная	621,4	27	+	+	+	437/541	-0,28	437
Махачкала	$\frac{596,4}{617}$	$\frac{25}{34}$	1,8	40	468	3	Прямоугольная	914,4	90	+	-	+	171/216	0,57	171
Томск	$\frac{574}{585}$	$\frac{29,2}{42}$	1,5	36	294	4	Радиальная	786,8	6	+	+	-	281/337	0,22	281
Оренбург	$\frac{564,7}{567}$	$\frac{23,7}{32}$	1,32	35	259	4	Свободная	1 510,8	93	+	-	-	314/376	0,06	314
Кемерово	$\frac{559}{575}$	$\frac{22,5}{31}$	1,6	38	294	5	Прямоугольная	904,4	54	+	+	-	234/289	0,37	234
Новокузнецк	$\frac{553,6}{562}$	$\frac{23}{31,5}$	1,8	41	424	6	Прямоугольно- диагональная	508,8	86	+	+	-	234/289	0,22	234
Рязань	$\frac{539}{550}$	$\frac{26,5}{36}$	1,7	34	224	4	Прямоугольно- диагональная	899,3	18	+	-	-	324/382	0,25	324
Астрахань	$\frac{533,9}{546}$	$\frac{42,8}{66}$	1,5	31	208	4	Прямоугольная	467,6	23	-	-	-	270/331	0,27	270
Набережные Челны	$\frac{532,5}{552}$	$\frac{25,5}{33}$	1,06	26	161	3	Прямоугольная	1023,6	12	-	+	-	307/363	0,5	307
Пенза	$\frac{523,6}{522,8}$	$\frac{22,9}{31,5}$	1,38	34,5	288	4	Прямоугольно- диагональная	881,2	10	+	-	-	265/329	-0,03	265
Липецк	$\frac{509,7}{503}$	$\frac{34}{56}$	1,6	38	330	4	Прямоугольная	773,2	43	+	+	-	304/371	-0,14	304

Таблица А.2 – Оценка видов и объемов мониторинга ТП на примере г. Москвы

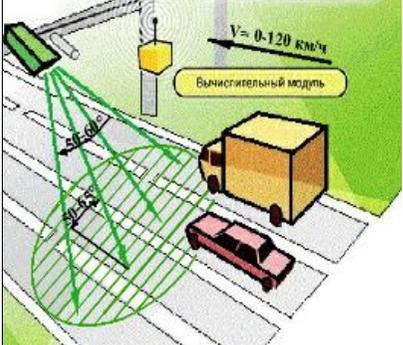
№ п/п	Метод	Фото	Достоинства	Недостатки
1	Индуктивные датчики		<p>+ Данные подаются на специальное устройство, где компьютер разбивает автомобили по массе</p>	<p>– Высокая стоимость датчиков – Большое количество в черте города – Замеры возможны только при заданных значениях</p>
2	Аэровидеосъемка		<p>+ Высокая скорость и точность съемки местности</p>	<p>– Высокая стоимость летательных аппаратов – Затраты на организацию полетов (пилот) – Возможность проведения исследования в определенных условиях</p>
3	Видеомониторинг		<p>+ Легкость дешифровки транспортных средств + Удобен в использовании</p>	<p>– Не на все участки и не во всех городах имеются online камеры видеонаблюдения – В пасмурную погоду и ночное время суток плохое качество изображения – Нет разделения по параметрам массы автомобиля – Перевод все больше количества камер в платные ресурсы</p>

Таблица А.3 – Формулы определения производных параметров интенсивности движения

№	Формула	Что определяет	Пояснение	
Конспект лекций по дисциплине «Теория и моделирование транспортных потоков и систем»/ сост. П.Н. Малюгин. Рукопись, электронный вариант. – Омск: СибАДИ, 2012. 45с.				
1	$\lambda = V \cdot \rho$	Интенсивность	Основное уравнение транспортного потока	V- скорость транспортного потока ρ -плотность транспортного потока
2	$k_3 = \lambda_{\phi} / \lambda_{\pi}$	Коэффициент загрузки движением		λ_{ϕ} -фактическая интенсивность движения λ_{π} -пропускная способность дороги
3	$p(n) = (e^{-\lambda t}) \cdot (\lambda \cdot t)^n / n!$ Справедливо при $\lambda = 180$ авт/ч на одной полосе движения	Применяется для отображения распределения частоты автомобиля p(n). (а также распределение частоты временных интервалов p(t))	Закон Пуассона (выражает вероятность прохождения n автомобилей через сечение дороги от переменной n при постоянных значения λ и t.)	n- число автомобилей, проходящих через сечение дороги λ - интенсивность движения, авт/ч t- интервал времени, ч.
4	$p(n) = (e^{-\mu \lambda t}) \cdot (\lambda \cdot t)^n / n!$ $p(n) = (e^{-\mu \lambda t + \Delta p}) \cdot (\lambda \cdot t)^n / n!$ $p(n) = (e^{-k \lambda t + \Delta p}) \cdot (\lambda \cdot t)^n / n!$ Позволяет описывать распределения до $\lambda = 250$ авт/ч на двухполосных дорогах (125 авт/ч на полосе)	Применяется при : -оценке эфф-ти планировочных решений и средств регулирования -оценке пропуск. Способности -выбора оптимального режима работы светофорных объектов -оценке аварийности движения	Поправки к закону Пуассона	μ -поправочный коэффициент Δp –функция влияния, учитывающая условия движения k- коэффициент, учитывающий естественную ограниченность интервала $k = (t - t_{min}) / (t_{cp} - t_{min})$ t_{cp} -среднее значение интервала, заданное интенсивностью λ t_{min} -минимальное значение интервала между автомобилями
Пособие Реконструкция автомобильных дорог. Технология и организация работ. Учебное пособие Московский государственный автомобильно - дорожный институт (технический университет) А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев , М. С. Коганзон , А.Я. Тулаев, П.П . Петрович , М.Г. Горячев				

№	Формула	Что определяет	Пояснение	
5	$N_T = N_H (1 + q)^{T-1};$	перспективная интенсивность движения к концу срока службы дорожной одежды	в случае роста интенсивности движения по геометрической прогрессии	<p>N_T - интенсивность движения в год T, который принимают равным сроку службы T с л дорожной одежды, авт / сут;</p> <p>N_H - начальная интенсивность движения, соответствующая году сдачи реконструированной дороги в эксплуатацию, авт / сут;</p> <p>q - расчетный показатель ежегодного прироста интенсивности движения, определяемый как средний годовой прирост по данным измерения фактической интенсивности движения за ряд предыдущих лет (измеряется в относительных величинах), в случае снижения интенсивности движения величина q является отрицательной.</p>
6	$N_T = N_H [1 + q (T - 1)],$	перспективная интенсивность движения к концу срока службы дорожной одежды	в случае роста интенсивности движения по линейной зависимости	

Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения В.В. Сильянов

7	$p(k_p) = 0,48^2 \cdot k_p e^{-0,48k_p},$ $k_p = N_{\text{час}}/N_{\text{ср.с}}$	Характер изменения интенсивности движения в течения часа с учетом колебаний в часы пик	Распределение Эрланга	k_p -показатель часа пик $N_{\text{час}}$ - часовая интенсивность авт/ч $N_{\text{ср.с}}$ - среднегодовая суточная интенсивность авт/ч
8	$\Delta N_T = at^b + ct^d,$	Изменение темпов роста интенсивности движения с годами для одной и той же дороги		a, b, d -эмпирические коэффициенты t -годы
9	$\Delta N_T = a + \frac{b}{\sqrt[t-1]{t}},$ <p>Применяется при интенсивностях более 250 авт/сут</p>	Эмпирическая зависимость для определения ежегодного темпа относительного прироста интенсивности	Автор Н.Ф. Хорошилов	a и b -эмпирические коэффициенты
10	$N_t = N_1 \prod_{1}^{t-1} \left(1 + \frac{\Delta N_t}{100}\right)$	Перспективная интенсивность движения	Метод Союздорнии, предложенный Н.Ф.Хорошиловым	N_1 -интенсивность в первый год эксплуатации дороги ΔN_t - темпы относительного прироста

№	Формула	Что определяет	Пояснение	
11	$N_t = \left\{ 1 + 0,01 \left[a(t-1) + \sum_{t=2}^{t=T_c} b(t-1)^{-\frac{1}{3}} \right] \right\}$	Перспективная интенсивность движения	(1.20) Уравнение Ю.М. Ситникова на основе ур-я(1.19)	a и b - эмпирические коэффициенты T_c - срок службы дороги
12	$N_t = \frac{at^2}{b + t^2}$	Перспективная интенсивность движения на краткосрочный период	(1.26) Упрощенная версия расчета, применяется в отдельных случаях	a и b - эмпирические коэффициенты
13	$N = \frac{n_B + n}{t_1 + t_2}$ $T_{cp} = t_2 - \frac{n}{N}$	Применяется при анализе условий движения на маршрутах большого протяжения (N -интенсивность, T_{cp} -средняя продолжительность поездки)	Метод подвижного наблюдателя	$n = n_6 - n_m$ n_6 - среднее число автомобилей, обогнавших автомобиль с наблюдателем (по результатам нескольких заездов) n_m - среднее число автомобилей, которые обогнал автомобиль с наблюдателем n_B - число встреченных автомобилей t_1 - продолжительность заезда в одном направлении t_2 - продолжительность заезда в другом направлении
14	$N_p = q_{max} v_B = 626 + 5,17p + 0,0065p^2$	Интенсивность движения на участке рассасывания потока автомобилей	В.М. Трибунским была установлена зависимость скорости распространения волны от состава потока автомобилей $v_B = 7,6 + 0,052p$	
Проектирование автомобильных дорог В.Ф. Бабков О.В. Андреев Москва «Транспорт» 1987				
15	$E_{общN} = \frac{E_{экв.ст}}{a + b \cdot \lg N}$	Общий (эквивалентный) модуль упругости дорожной одежды при воздействии N (авт/сут) по одной полосе	Применяется для расчета толщины нежестких дорожных одежд	$E_{экв.ст}$ - эквивалентный модуль только что построенной дороги, рассчитанный из условия статического действия нагрузки a, b - параметры, хаактеризующие естественное старение одежды интенсивность накопления в ней деформации, значение которых для

№	Формула	Что определяет	Пояснение
			современных составов движения колеблется в сравнительно узких пределах
16	$v = v_0 - \alpha N,$	Скорость транспортного потока с учетом увеличения интенсивности	v_0 -скорость движения одиночного автомобиля при отсутствии помех, км/ч, которая зависит от дорожных и погодных условий, α – коэффициент снижения скорости, который зависит от состава движения
17	$n = \frac{N\varepsilon}{zN_{пр}}$	Общее число полос движения на многополосных автомобильных магистралях	N – интенсивность движения, авт/ч, приведенная к легковым автомобилям ε – коэффициент сезонной неравномерности движения z – коэффициент загрузки, соответствующий необходимому для данной дороги уровню удобства $N_{пр}$ – типичная пропускная способность дороги данной категории
18	$L = 50 + 8,8lgN$	Уровень шума от оси ближайшей полосы движения [дБА] у бровки земляного полотна при среднем значении ширины земляного полотна в 7,5м	$N_{л}$ - приведенная интенсивность движения легковых автомобилей, авт/ч. g – ускорения свободного падения $v_{п}$ – средняя скорость транспортного потока, км/ч ω – средняя скорость ветра, м/с
Пути сообщения, технологические сооружения Э.Р. Домке, Ю.М. Ситников, К.С. Подшивалова Москва Издательский центр «Академия» 2013			
19	$Q_{CO} = 0,006N_{л} - 91gv_{п} - 0,3\omega + 17$	Средняя концентрация оксида углерода мг/м ³	$N_{л}$ - приведенная интенсивность движения легковых автомобилей, авт/ч. g – ускорения свободного падения $v_{п}$ – средняя скорость транспортного потока, км/ч ω – средняя скорость ветра, м/с
Отраслевые дорожные нормы Проектирование нежестких дорожных одежд ОДН 218.046-01			

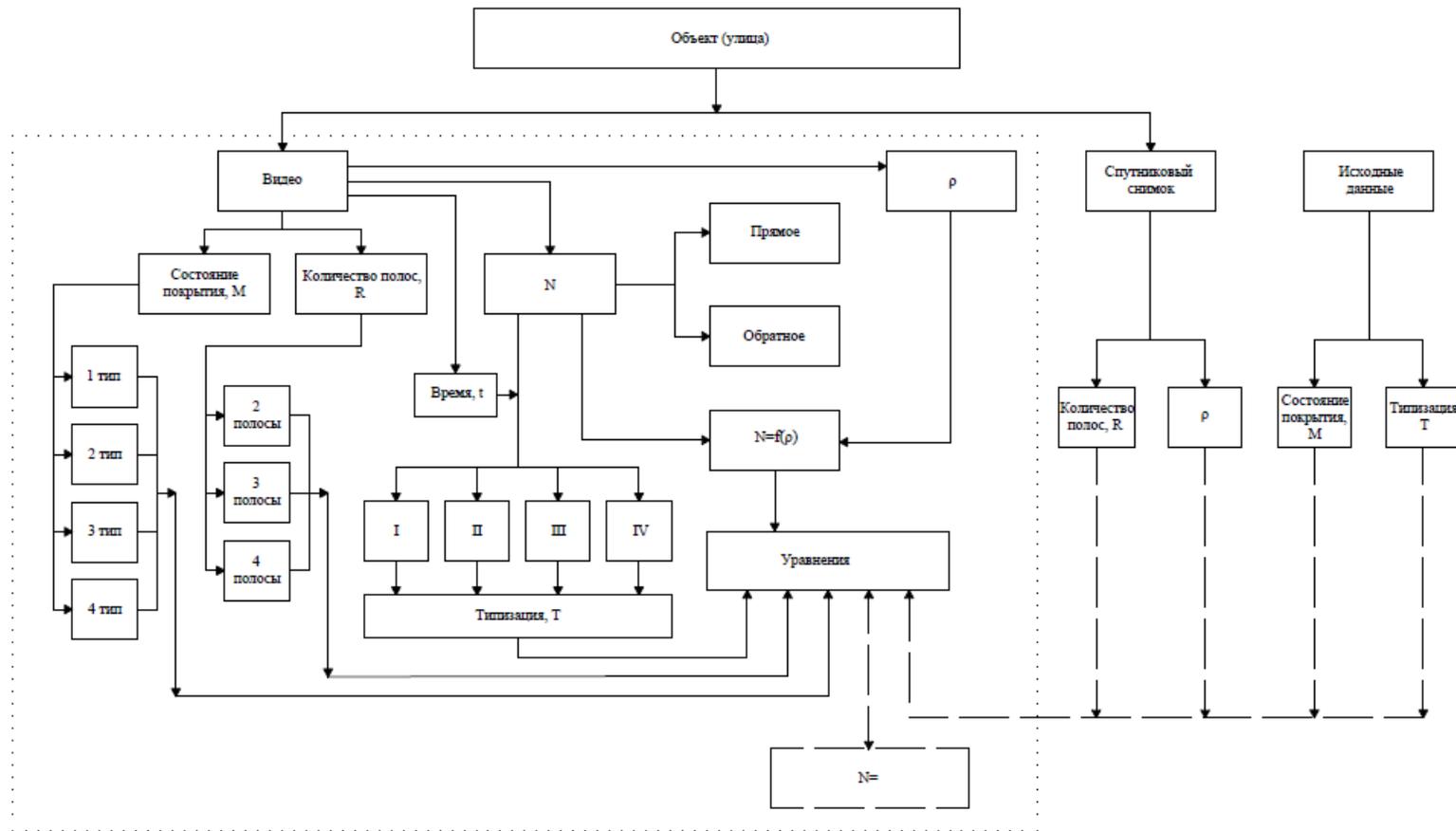
№	Формула	Что определяет	Пояснение	
20	$f_{\text{пол}} \sum_{m=1}^n (N_{1m} K_c T_{\text{пдг}} 0,7) S_{\text{тсум}} k_n$	<p>Суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы</p>	<p>Применяется для расчета дорожных одежд на прочность</p>	<p>n – число марок автомобилей N_{1m} – суточная интенсивность движения автомобилей m-й марки в первый год службы, авт/сут N_p – приведенная интенсивность на последний год срока службы, авт/сут K_c – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого k_n – коэффициент суммирования</p>

Таблица А.4 – Определение минимального количества замеров интенсивности движения в год

Город	Количество улиц	Количество исследованных улиц	Фрагмент улицы	Δ	ξ	σ	ν	α	t_α	\bar{N}	n
Москва	3651	390	пр. Волгоградский	0,11	9892,1	31245,7	0,262	0,9	1,66	95426	16
			Онежская		9765,2	29012,2	0,255			88345	18
Санкт-Петербург	4323	528	пр. Невский		4892,1	14987,1	0,256			45234	15
			пр. Литейный		4845,99	14592,1	0,258			44123	15
Новосибирск	1723	382	пр. Ленина		6475,3	16287,2	0,258			56782	11
			Танковая		5785,2	15378,2	0,257			48276	14
Екатеринбург	1061	254	пр. Ленина		7652,2	24235,2	0,254			76524	15
			8 марта		2782,1	8976,2	0,248			28453	12
Нижний Новгород	1368	234	пр. Ленина		9792,1	29281,1	0,31			89281	14
			Дружбы		7649,7	24227,7	0,303			76453	14
Казань	1783	379	Чистопольская		7142,5	19784,3	0,291			65234	13
			Беломорская		4855,2	14622,1	0,31			44512	11
Челябинск	1076	386	Воровского		2708,2	8875,4	0,301			28123	11
			Энгельса		6287,4	16087,1	0,286			54185	13
Омск	1329	402	Ленина		2453,2	8231,2	0,34			24234	15
			Карла Маркса		1875,2	5621,1	0,36			14587	17
Самара	673	202	Вольская		7083,2	19453,2	0,301			64763	14
			Победы		6452,3	16345,8	0,285			55342	13
Ростов-на-Дону	2182	452	Текучева		7272,1	20187,4	0,302			66892	14
			Тургеневская		3396,5	10185,4	0,285			34542	13
Уфа	1199	386	Менделеева	6654,2	17098,5	0,291	58762	13			
			Чайная Фабрика	4382,1	12554,2	0,289	41895	13			
Красноярск	915	315	Металлургов	5282,1	15921,2	0,318	50098	14			
			Свободы	2302,4	8104,3	0,325	24122	14			
Пермь	1476	428	Уральская-Вагановых	10098,4	33891,1	0,315	110892	14			
			Куйбышева-Соловьева	9454,3	28912,2	0,318	88102	14			
Воронеж	925	423	пр. Московский	7306,1	22189,6	0,313	70894	14			
			Солнечная	2206,4	7384,2	0,331	21604	15			
Волгоград	1704	276	Константина Симонова	3002,1	8521,1	0,332	25453	15			
			30 лет Победы	3098,6	8604,3	0,309	26897	14			
			Большая Горная	8523,2	26267,4	0,333	78532	15			

Таблица А.5 – Денежные затраты при использовании различных видов мониторинга транспортного потока

Вид Параметр		Спутниковый мониторинг		Аэрофотосъемка				Видеосъемка		Индуктивные датчики	
				БПЛА		ЛА					
		1 год	10 лет	1 год	10 лет	1 год	10 лет	1 год	10 лет	1 год	10 лет
Время, час.	На монтаж	–	–	–	–	–	–	5 476,5	5 476,5	189 852	1 898 520
	На съемку	–	–	46,03	460,3	31,28	312,8	69 369	69 369	69 369	693 690
	На дешифровку	627	6 270	2 511	25 110	2 511	25 110	11 927	11 927	–	–
Финансовые затраты, тыс. руб.	На монтаж	–	–	–	–	–	–	5 476	5 476	41 531	415 310
	На съемку	–	–	35 154	351 540	100 440	1 004 400	27 383	27 383	5 696	56 960
	На дешифровку	79	790	314	3 140	313	3 313	1 491	1 491	–	–
Суммарные затраты		79	790	35 468	354 680	100 754	1 007 540	34 350	343 500	47 226	472 260



Условные обозначения:
 Типы линий:

———— I этап - формирование
 базы данных;

----- II этап - Применение
 разработанной
 зависимости для
 определения параметров
 транспортного потока
 методом дистанционного
 спутникового
 мониторинга.

Рисунок А.6 – Экспериментальные исследования по определению параметров транспортного потока

Приложение Б

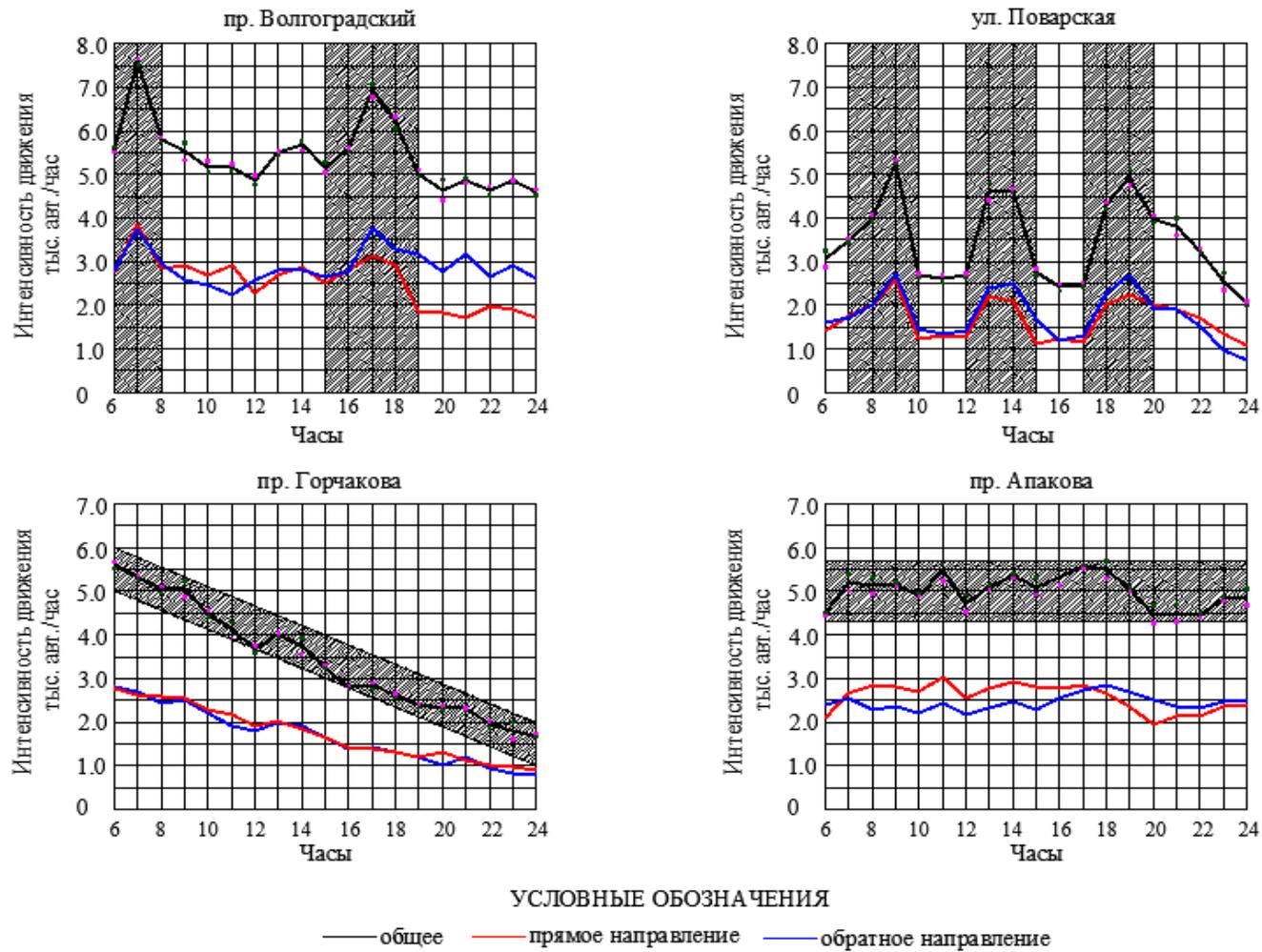
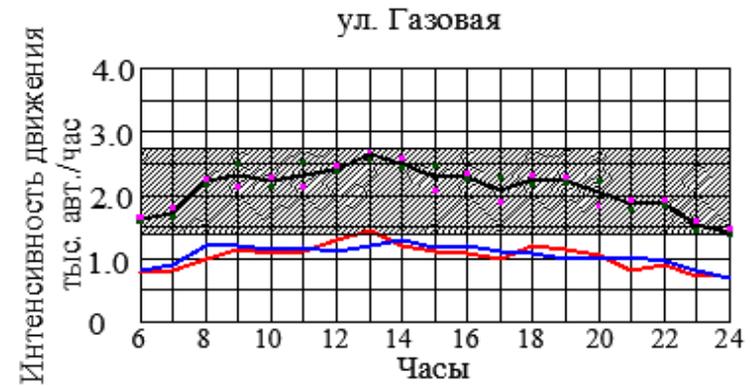
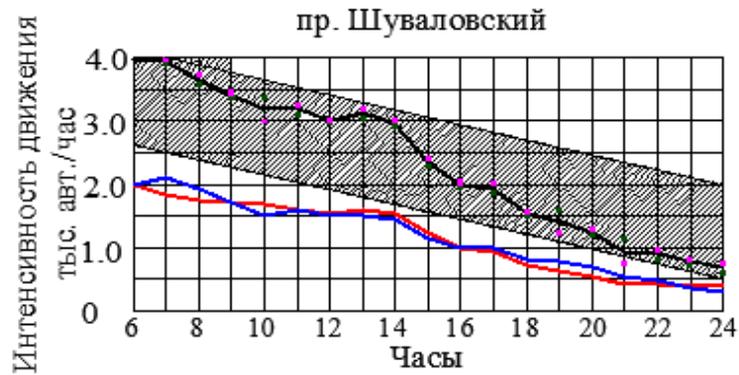
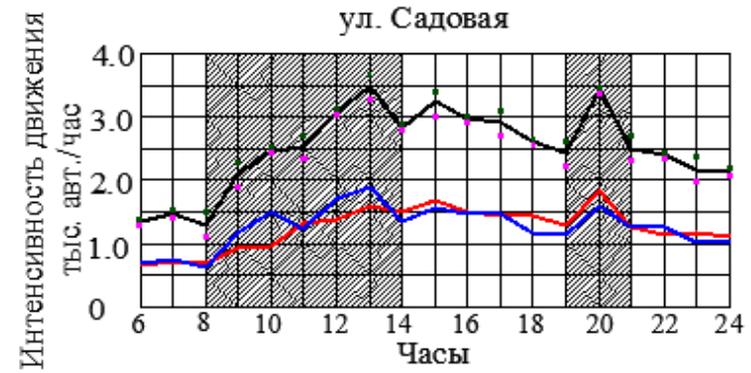
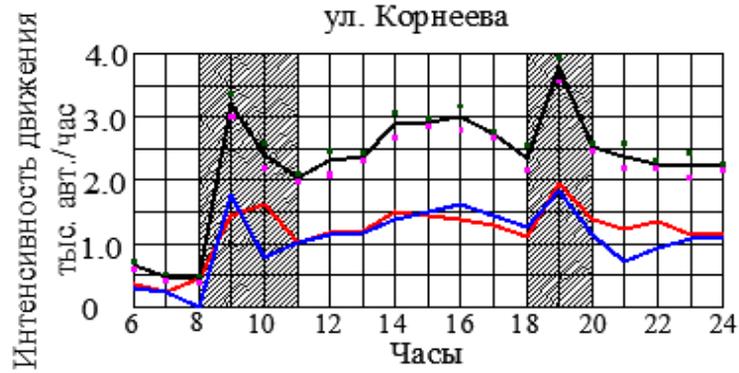


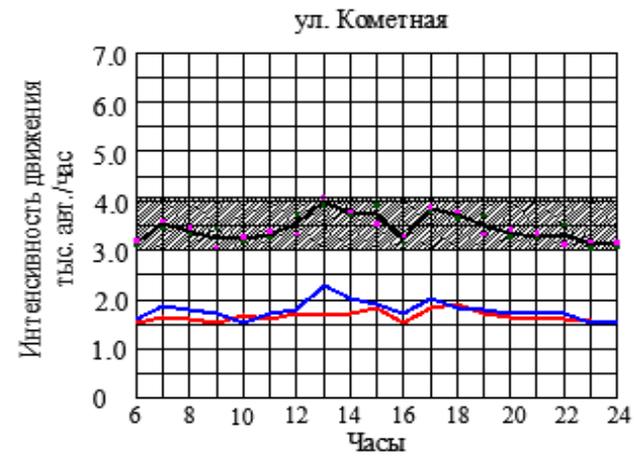
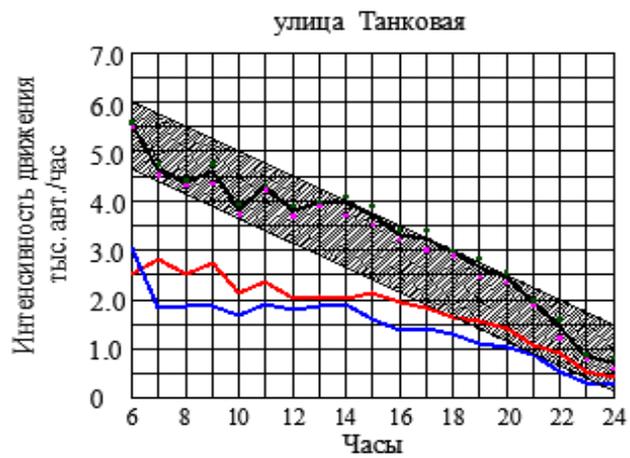
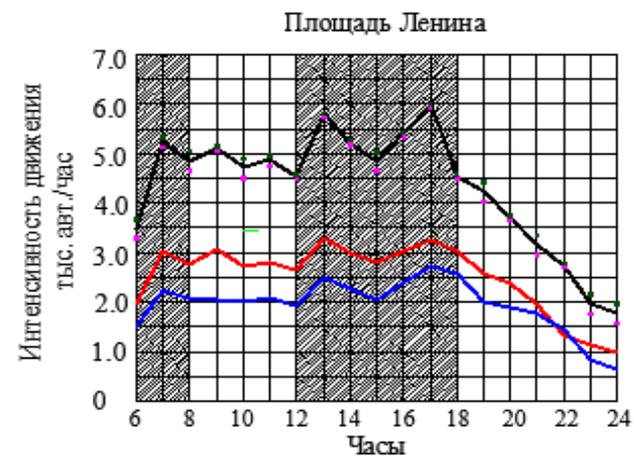
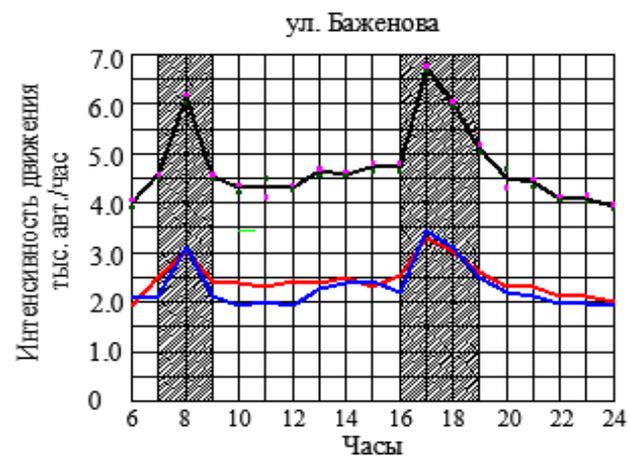
Рисунок Б.1 – Типизация городских улиц и дорог (г. Москва)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— общее — прямое направление — обратное направление

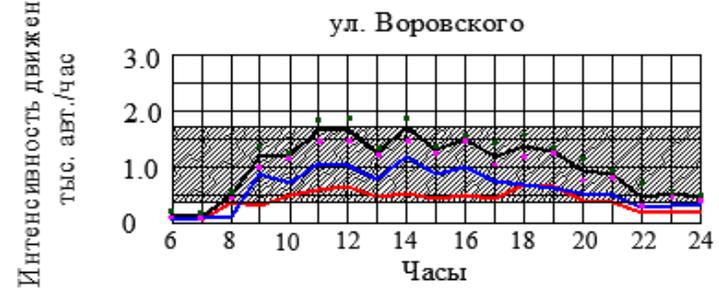
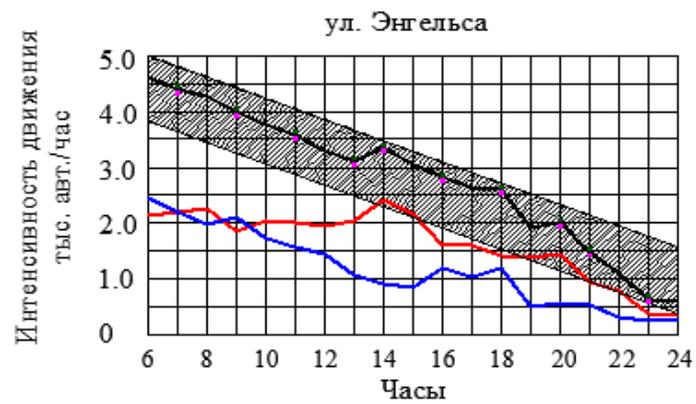
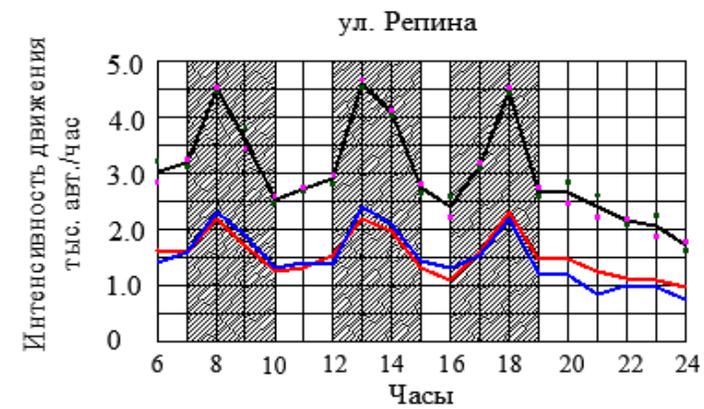
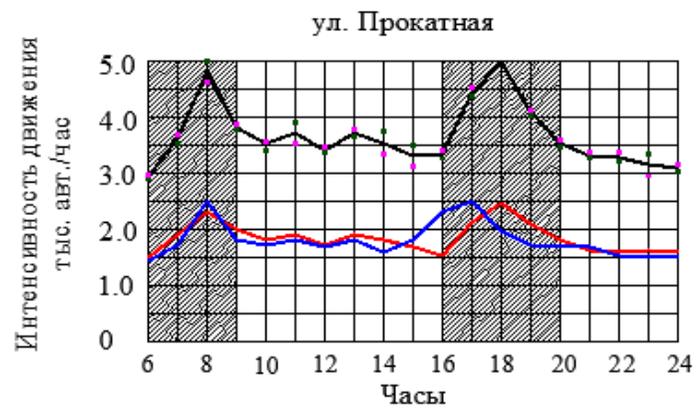
Рисунок Б.2 – Типизация городских улиц и дорог (г. Санкт-Петербург)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— общее — прямое направление — обратное направление

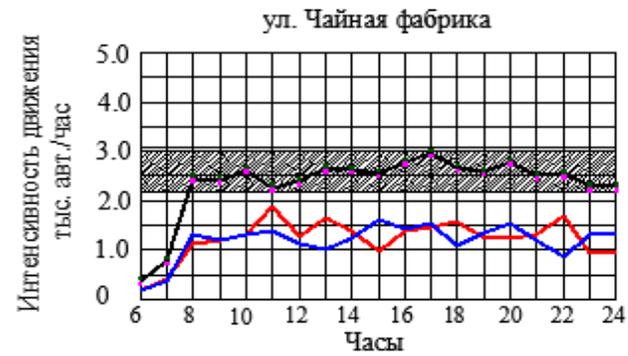
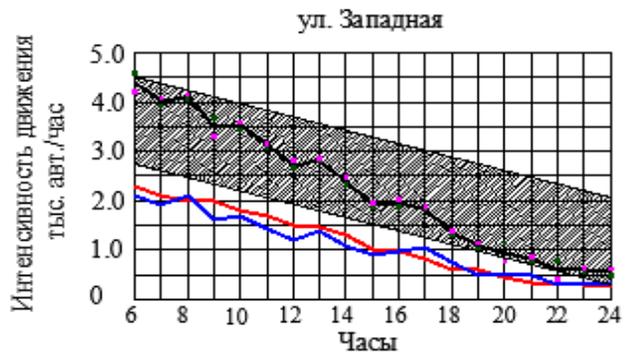
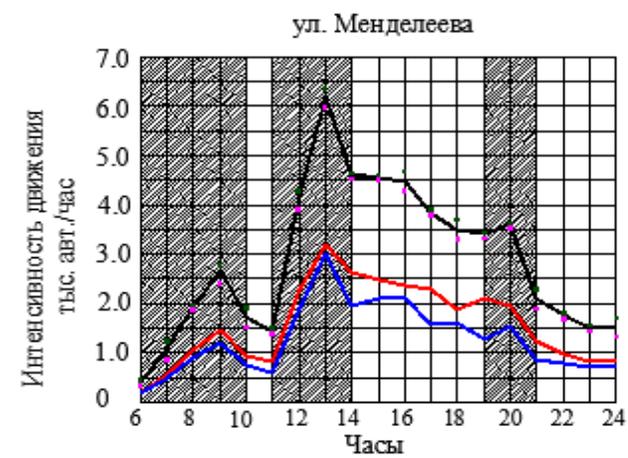
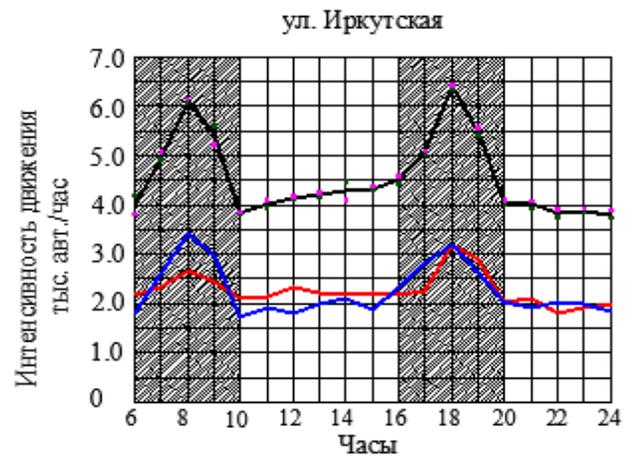
Рисунок Б.3 – Типизация городских улиц и дорог (г. Новосибирск)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— общее — прямое направление — обратное направление

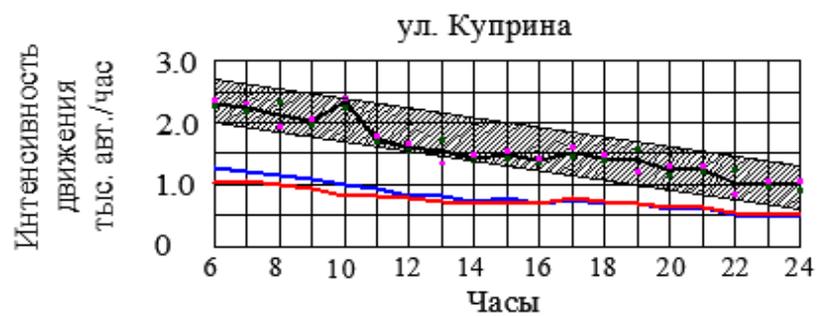
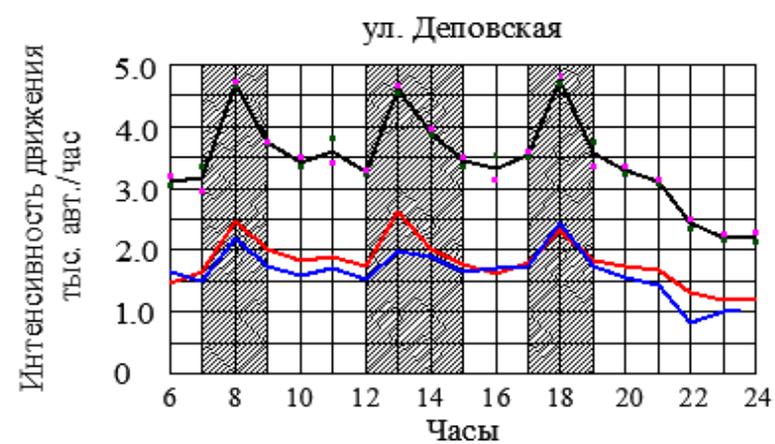
Рисунок Б.4 – Типизация городских улиц и дорог (г. Челябинск)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— общее — прямое направление — обратное направление

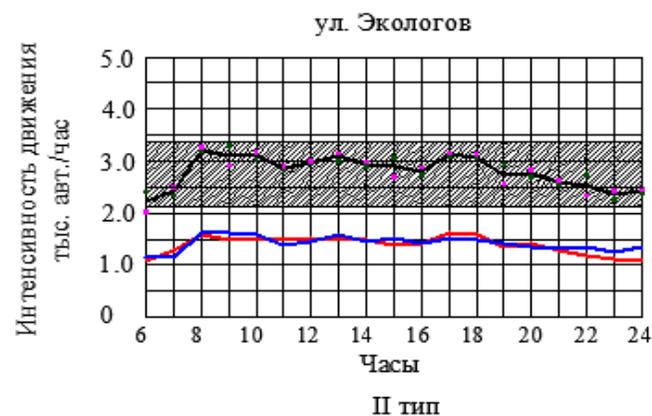
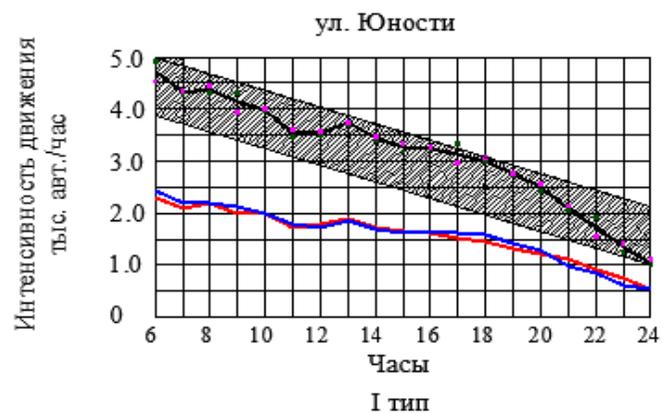
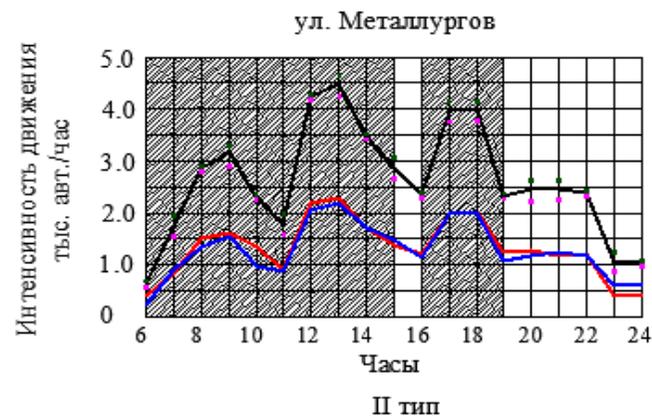
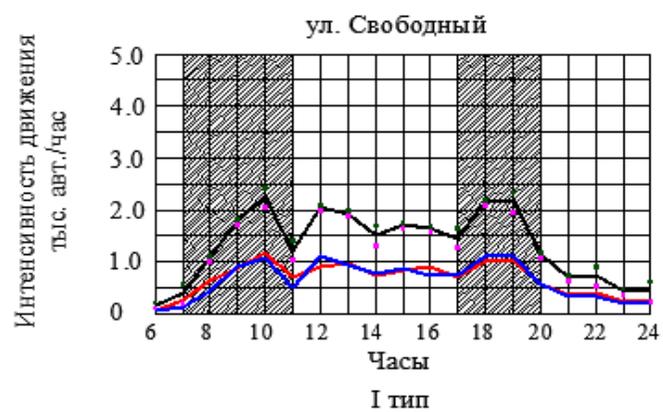
Рисунок Б.5 – Типизация городских улиц и дорог (г. Уфа)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— общее — прямое направление — обратное направление

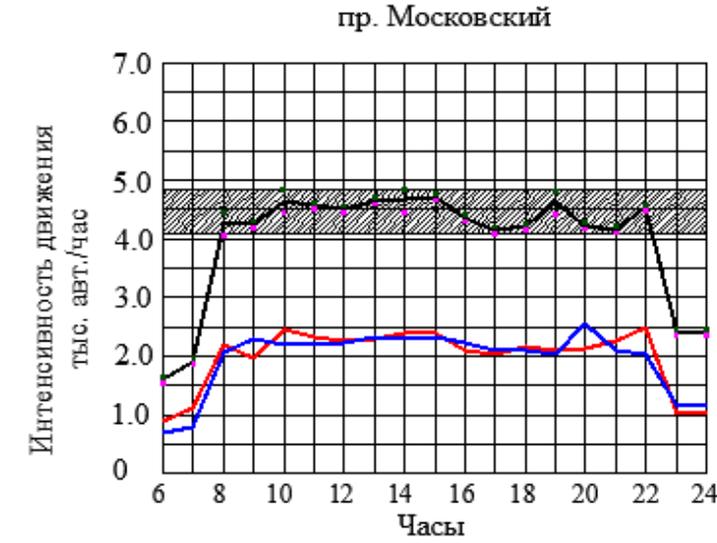
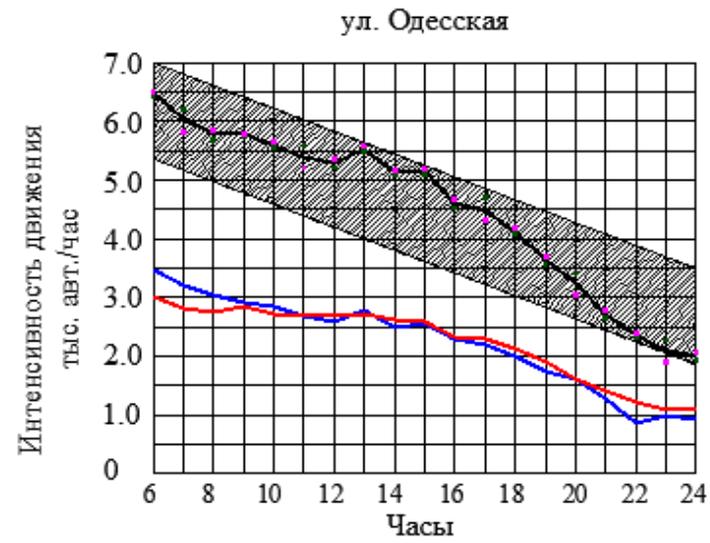
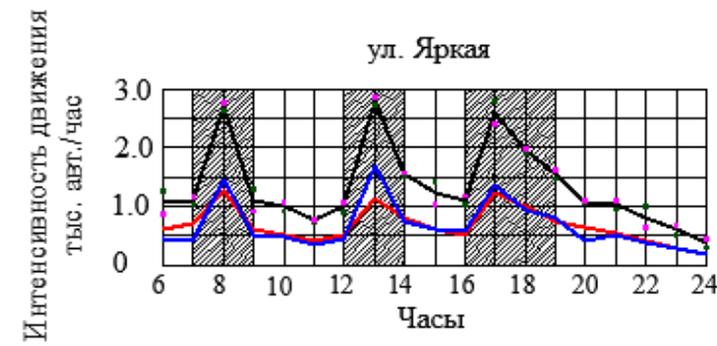
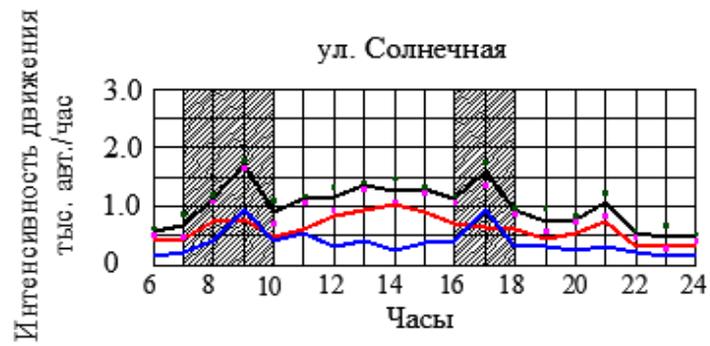
Рисунок Б.6 – Типизация городских улиц и дорог (г. Волгоград)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

— общее — прямое направление — обратное направление

Рисунок Б.7 – Типизация городских улиц и дорог (г. Красноярск)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- общее
- прямое направление
- обратное направление

Рисунок Б.8 – Типизация городских улиц и дорог (г. Воронеж)

Приложение В

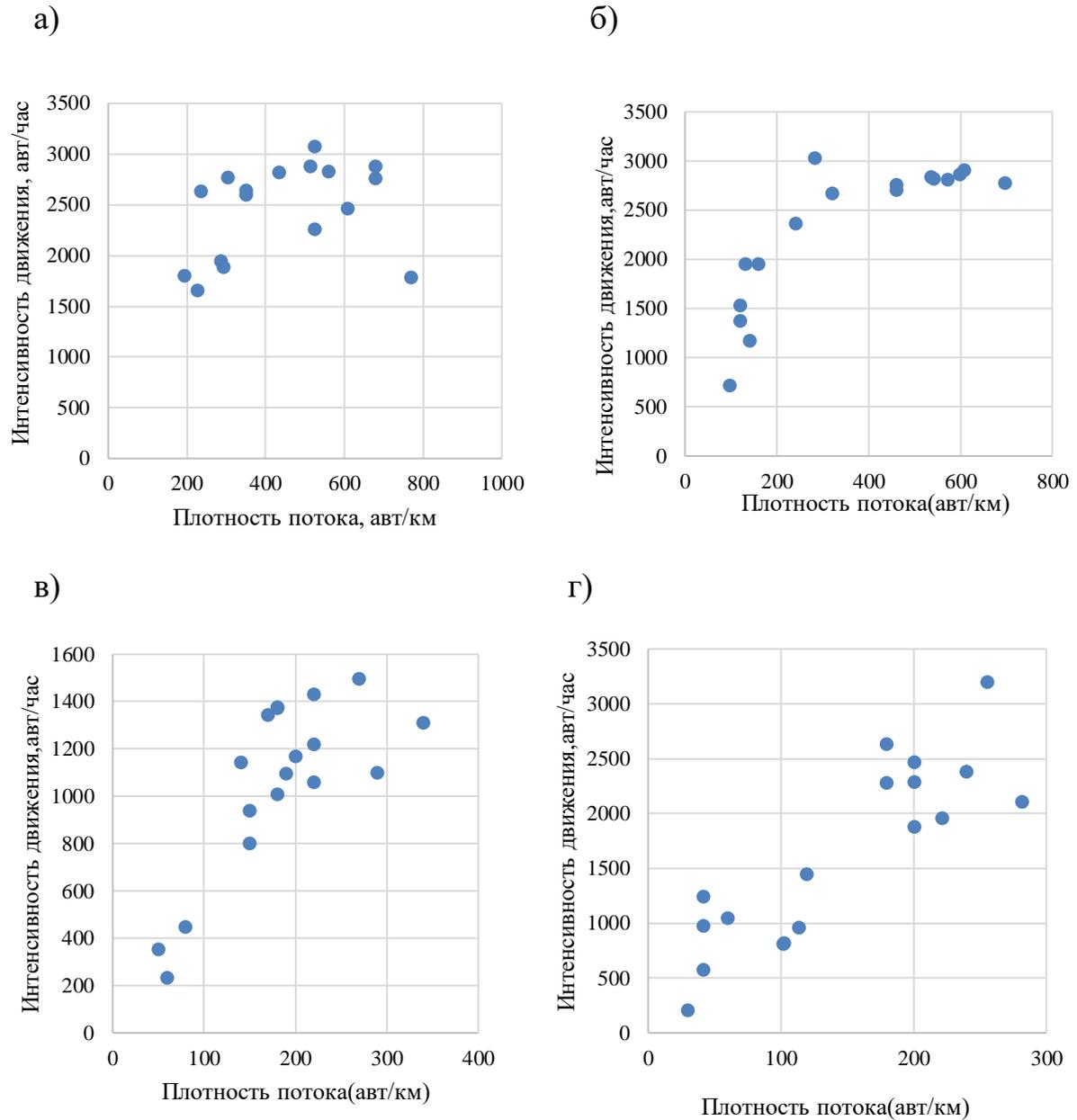
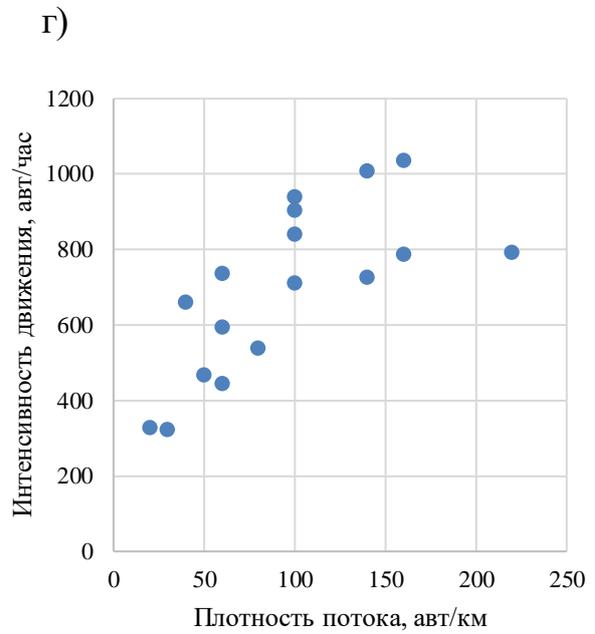
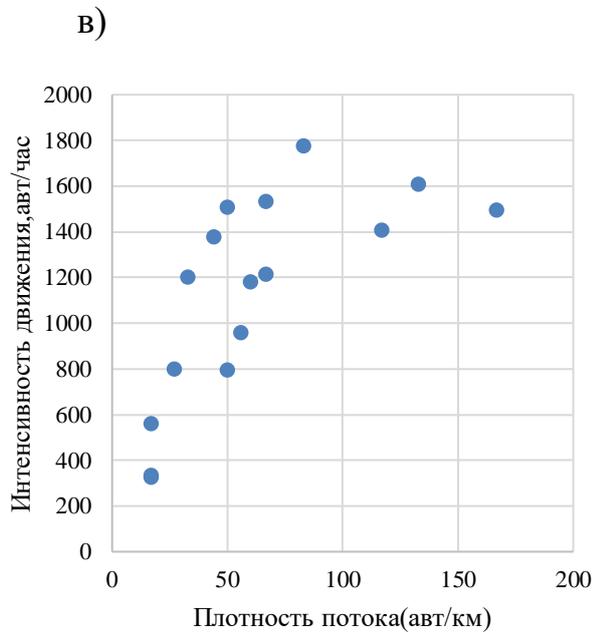
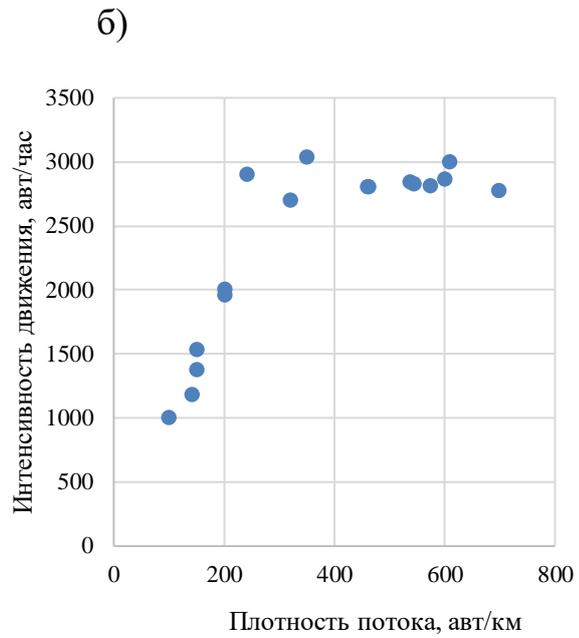
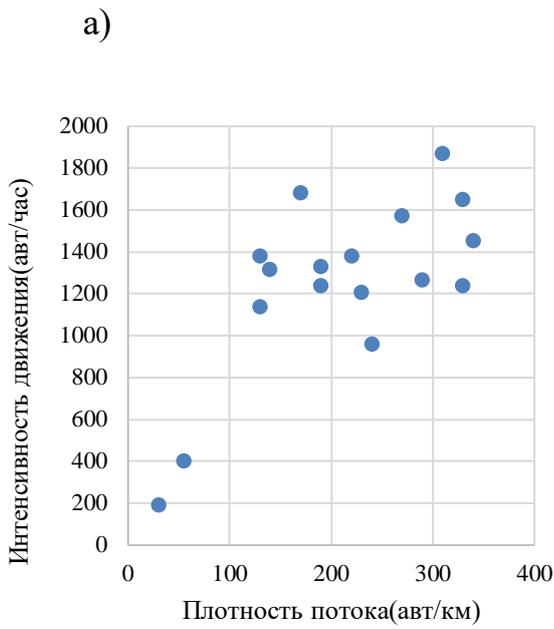


Рисунок В.1 – Дисперсия статистических данных интенсивности движения и плотности ТП

- а) г. Москва, Волгоградский проспект; б) г. Москва ул. Воровского
в) г. Новосибирск, ул. Танковая; г) г.Новосибирск, Невский проспект;

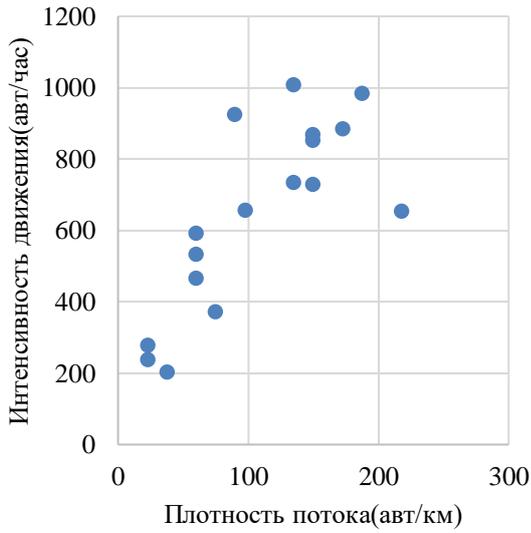


а) г. Уфа, ост. Чайная фабрика; б) г. Уфа, ул. Менделеева

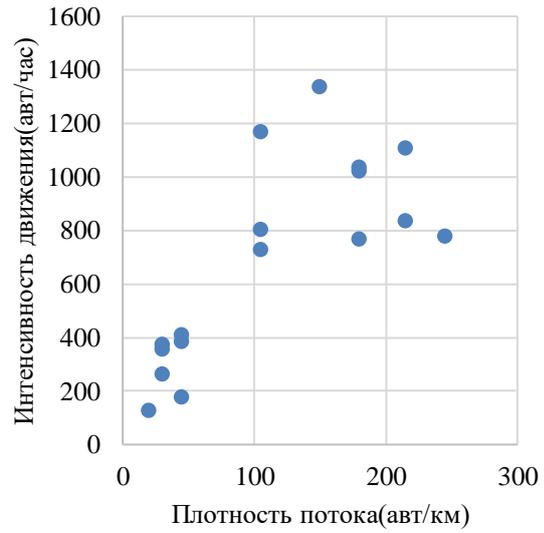
в) г. Воронеж, проспект Московский; г) г. Воронеж, ул. Солнечная

Рисунок В.2 – Графики зависимости интенсивности движения и плотности

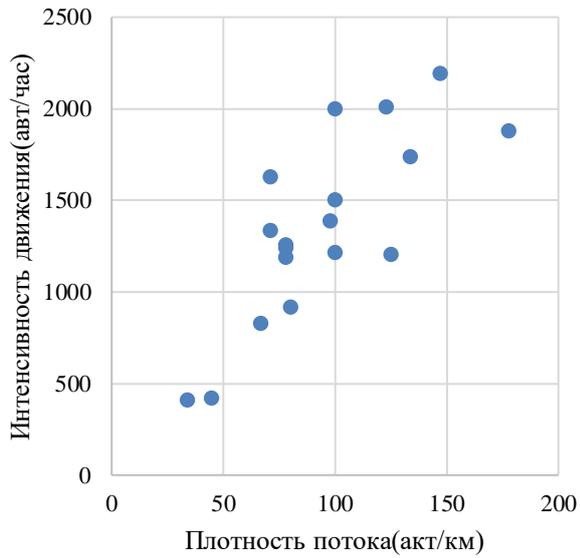
а)



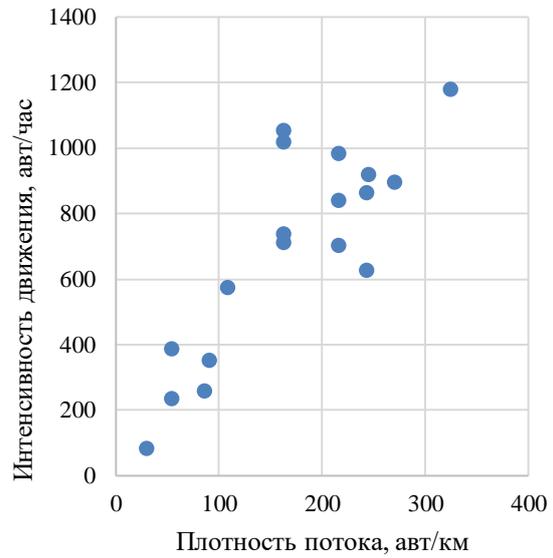
б)



в)



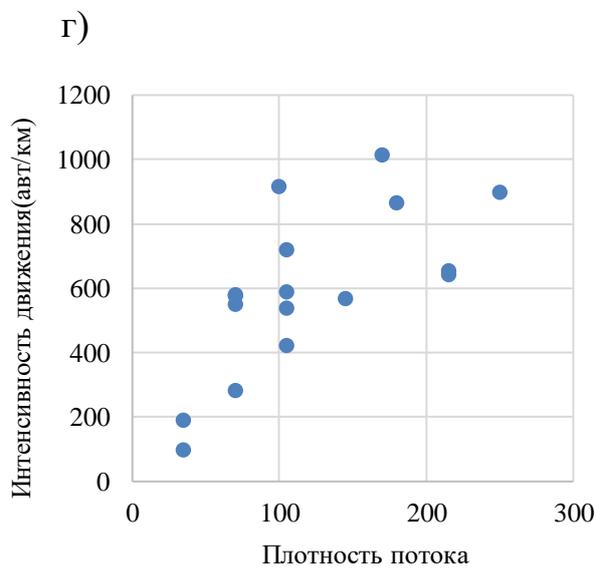
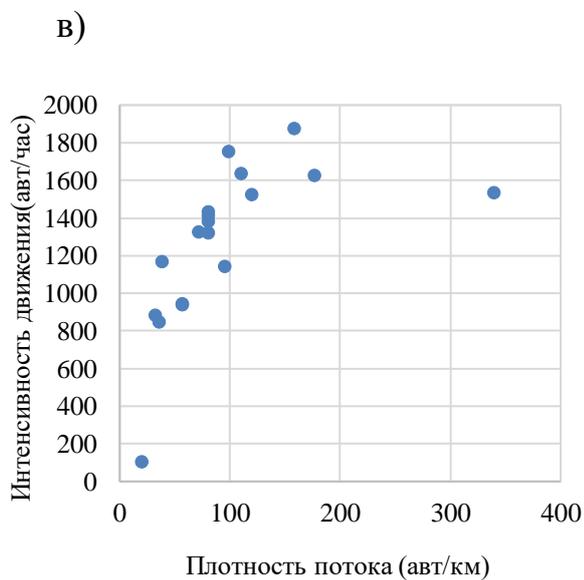
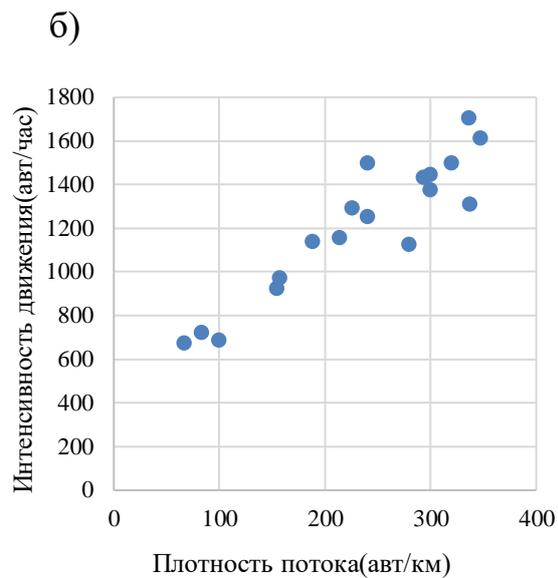
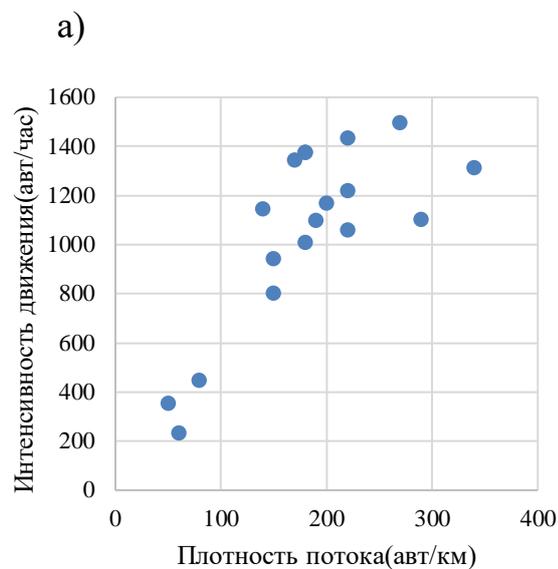
г)



а) г. Волгоград, ул. Константина Симонова; б) г. Волгоград, ул. 30 лет победы;

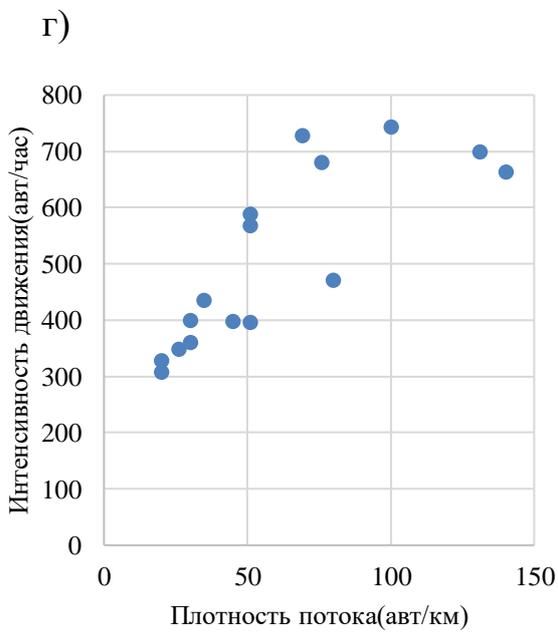
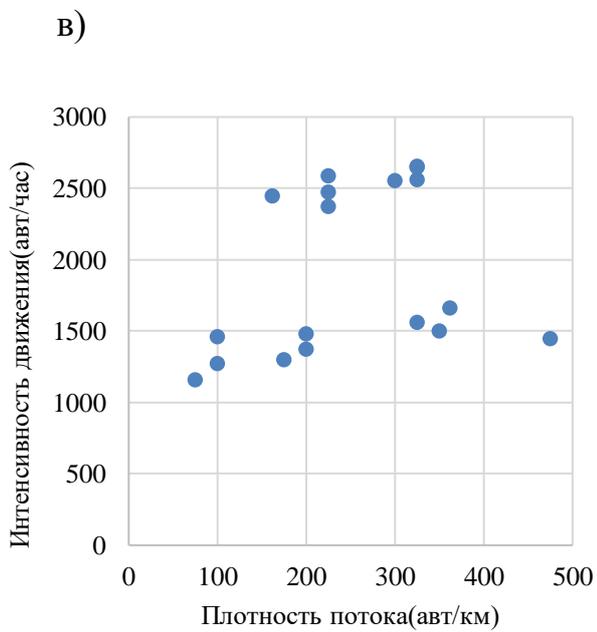
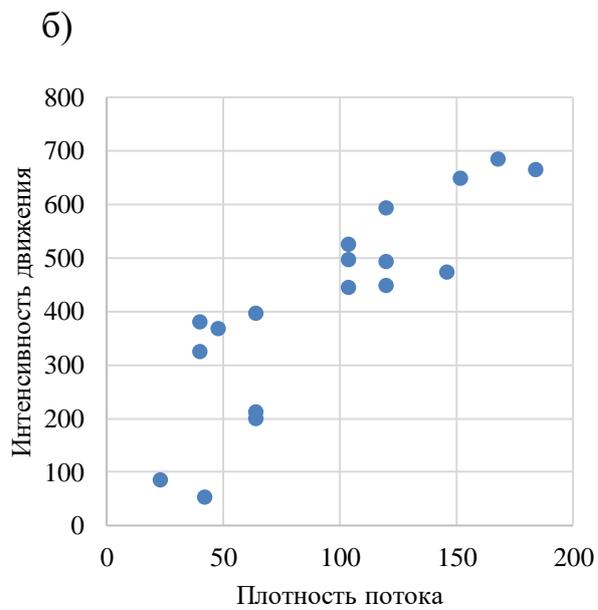
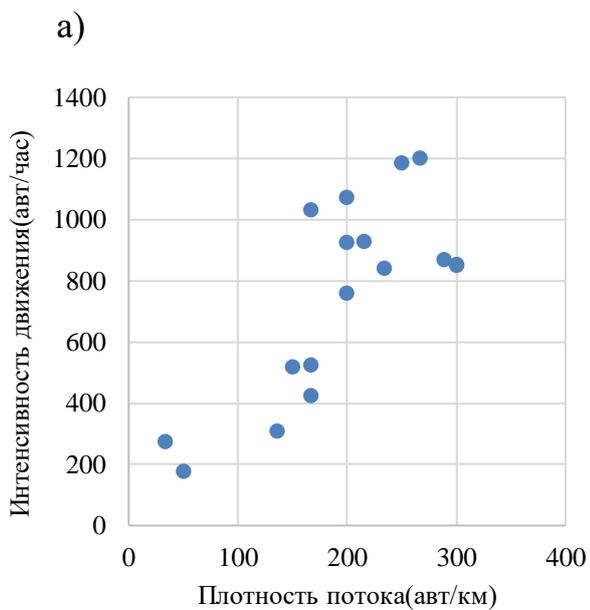
в) г. Красноярск, проспект Metallургов; г) г. Красноярск, ул. Свободная

Рисунок В.3 – Графики зависимости интенсивности движения и плотности



а) г. Санкт-Петербург, Невский проспект; б) г. Санкт-Петербург, проспект Литейный;
 в) г. Владивосток, ул. Верхнепортовая; г) Владивосток, ул. Бестужева

Рисунок В. 4 – Графики зависимости интенсивности движения и плотности



а) г. Челябинск, ул. Комунны; б) г. Челябинск, ул. Воровского;

в) г. Омск, проспект Карла Маркса; г) г. Омск, ул. Ленина

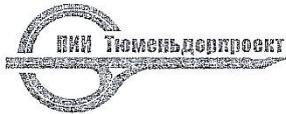
Рисунок В.5 – Графики зависимости интенсивности движения и плотности

Приложение Г



Рисунок Г.1 – Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

Приложение Д



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
«ТЮМЕНЬДОРПРОЕКТ»

625007 г. Тюмень, ул. Депутатская, 91 тел./факс: 8(3452)79-00-52 e-mail: dorproekt_office@mail.ru

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационного исследования

Выдан Тимоховец Вере Дмитриевне для предоставления в диссертационный Совет, свидетельствующий о том, что результаты исследования на тему: «Дистанционный мониторинг транспортных потоков улично-дорожных сетей крупнейших городов Российской Федерации на основе спутникового наблюдения» внедрены в практическую деятельность при выполнении работ на участках автомобильных дорог, улицах и городских дорогах:

- «Ремонт путепровода через железнодорожную магистраль в створе ул. Пермякова»;
- «Реконструкция ул. Московский тракт»;
- «Реконструкция совмещенного моста через р.Туру по ул. Мельникайте»;
- «Реконструкция развязки на пересечении ул. Пермяково – ул. Федонинского»

Генеральный директор
ОАО «ПИИ Тюменьдорпроект»



Р.Н. Мещеряков

Тюмень, 2017 г.

Рисунок Д.1 - Акт внедрения результатов диссертационных исследований в ОАО
Проектно-изыскательный институт «ТЮМЕНЬДОРПРОЕКТ»