

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Г. ШУХОВА (БГТУ им. В.Г. Шухова)

На правах рукописи



ЛОКТИОНОВА АЛИНА ГЕННАДЬЕВНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С
УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., доцент,
Шевцова А.Г.

Белгород 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ.....	11
1.1 Оценка мировых показателей.....	11
1.2 Основные методы повышения эффективности функционирования ТС.....	18
1.3 Основные составляющие системы первичных данных.....	25
1.4 Выводы по главе 1.....	33
1.5. Цель и задачи исследования.....	34
ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ.....	36
2.1 Исследование разнородности транспортных потоков.....	36
2.2 Характеристика транспортного потока в г. Белгород.....	41
2.3 Динамическая характеристика марок ЛА в ТП г. Белгород.....	50
2.4 Выводы по главе 2.....	73
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К УЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ.....	75
3.1 Формирование алгоритма по расчету управляющих параметров.....	75
3.2 Работа светофорного объекта по классической методике.....	82
3.3 Определение режима работы светофорного объекта с использованием разработанной методики.....	88
3.4 Моделирование и валидация объекта исследования.....	91
3.5 Выводы по главе 3.....	96
ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	98
4.1 Изменение величины задержки транспортных средств.....	98
4.2 Оценка изменения расхода топлива.....	100
4.3 Снижение потерь от загрязнения воздуха.....	104

4.4 Выводы по главе 4.....	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	110
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	129
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Существующие сегодня условия для развития транспортной инфраструктуры городов, и высокие экономические показатели многих регионов, обуславливают изменение численности транспортных средств. Статистические показатели численности автотранспортных средств в Российской Федерации подтверждают преобладание легковых автомобилей в потоках в преимущественном значении – 80–90% от общего числа. Стоит отметить, что за последние десятилетия значительно изменились технические параметры легковых автомобилей в том числе и динамические. Данное изменение, в первую очередь улучшение динамических показателей, оказывает влияние на процесс движения транспортных потоков, что требует обязательного учета при организации дорожного движения, в частности, при использовании систем светофорного регулирования и определении параметров их работы.

В соответствии с Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, внедрению новых технологий комплексного управления транспортной системой, отводится особое внимание. Такими технологиями являются применение систем светофорного регулирования и разработка различных программно-аппаратных комплексов, с возможностью интеграции в адаптивные системы управления, что приводит к повышению нормативных требований, особенно при анализе первичных данных, в том числе и состава транспортного потока.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью развития методов расчета управляющих параметров при использовании систем светофорного регулирования с учетом изменения динамических показателей автотранспортных средств.

Степень разработанности темы. Наибольший вклад в теорию транспортных потоков, методов организации дорожного движения, обеспечения безопасности дорожного движения и управления транспортными потоками внесли такие отечественные и зарубежные ученые как Л.Л. Афанасьев,

В.Ф. Бабков, В.Н. Басков, В.Е. Веревкин, В.М. Власов, Ю.А. Врубель, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И. Клинковштейн, А.Ю. Кременец, А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.А. Поляков, В.В. Сильянов, А.Г. Шевцова, Ф.В. Вебстер, Д. Дрю, Т.М. Метсон, А.Д. Миллер, В. Хаддор, К. Джетто и др.

Анализ многих известных научных и практических работ, результатов теоретико-прикладных исследований в области организации дорожного движения, позволил определить недостаточную степень разработки в сфере управления движением транспортных потоков в городских транспортных системах. Развитие практико-ориентированных подходов к повышению эффективности процесса управления городскими транспортными потоками с учетом использования динамических показателей легковых автомобилей при расчете эффективных управляющих параметров требует проведения научных исследований.

Цель исследования - снижение времени задержки автотранспортных средств при проезде перекрестков посредством корректировки светофорного регулирования с учетом динамических показателей автомобилей.

Для достижения цели исследования, определены **основные задачи**:

1. Выполнить анализ теоретических и научно-практических подходов к применению основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения с учетом использования первичных данных – технических параметров легковых автомобилей.

2. Исследовать основные характеристики городского транспортного потока с определением разнородности состава легковых автомобилей и установить динамические параметры определенных моделей легковых автомобилей, входящих в состав городского транспортного потока.

3. Разработать математическую модель определения параметров калиброванного автомобиля и автоматизировать процесс расчета данных параметров путем разработки программно-аппаратного комплекса.

4. Теоретически обосновать связь между параметрами калиброванного автомобиля и пропускной способностью управляемых участков в городской

улично-дорожной сети и усовершенствовать алгоритм расчета управляющих параметров.

5. Осуществить оценку эффективности разработанных математических моделей, алгоритма расчета управляющих параметров, программно-аппаратного комплекса с помощью определения эколого-экономических показателей.

Объект исследования – состав городского транспортного потока на регулируемых перекрестках.

Предмет исследования – динамические показатели легковых автомобилей в городском транспортном потоке при расчете параметров управления светофорного регулирования.

Научная новизна исследования:

1. Введено понятие «калиброванный автомобиль» как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели технических и динамических параметров транспортных средств, преобладающей в транспортных потоках. Применение данного показателя позволяет расширить ранее используемое понятие расчетного автомобиля в плане динамических параметров, применительно к процессу управления городскими транспортными потоками при использовании светофорного регулирования.

2. Разработана математическая модель определения динамических параметров калиброванного автомобиля, на основании данных о существующем составе легковых автомобилей в городском транспортном потоке.

3. Разработана математическая модель определения пропускной способности регулируемого участка улично-дорожной сети с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля.

Положения, выносимые на защиту:

1. Структурная схема основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения с учетом использования первичных данных – технических параметров легковых автомобилей.

2. Результаты исследования характеристик городского транспортного потока и разнородности состава легковых автомобилей, обобщенные результаты расчета динамических параметров, характеризующие «калиброванный автомобиль».

3. Математическая модель определения параметров калиброванного автомобиля, как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели динамических параметров транспортных средств, преобладающей в транспортных потоках.

4. Программно-аппаратный комплекс, позволяющий автоматизировать процесс расчета параметров калиброванного автомобиля.

5. Математическая модель определения пропускной способности регулируемого участка с учетом динамических параметров калиброванного автомобиля и усовершенствованный на ее основе алгоритм расчета параметров управления городским транспортным потоком.

6. Результаты оценки эффективности предложенных математических моделей, усовершенствованного алгоритма расчета управляющих параметров, программно-аппаратного комплекса с помощью эколого-экономических показателей.

Теоретическая значимость работы состоит во введении понятия «калиброванный автомобиль», как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели технических и динамических параметров транспортных средств, преобладающей в транспортных потоках; разработке математической модели определения параметров калиброванного автомобиля; разработке математической модели определения пропускной способности регулируемого участка с учетом динамических параметров калиброванного автомобиля и усовершенствованного на ее основе алгоритма расчета параметров управления городским транспортным потоком.

Практическая значимость работы заключается в разработке программно-аппаратного комплекса и применении результатов исследования органами исполнительной власти и федеральными структурами на уровне субъекта, что подтверждено актами внедрения, выданными: муниципальным бюджетным учреждением «Управление Белгородского областного благоустройства» (МБУ «УБГБ»),

Министерством автомобильных дорог и транспорта Белгородской области (МИНТРАНС Белгородской области), ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова».

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование выполнено на основе трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации дорожного движения, в числе которых Л.Л. Афанасьев, В.Ф. Бабков, В.Н. Басков, В.Е. Вережкин, В.М. Власов, Ю.А. Врубель, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И. Клинковштейн, А.Ю. Кременец, А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.А. Поляков, В.В. Сильянов, А.Г. Шевцова, Ф.В. Вебстер, Д. Дрю, Т.М. Метсон, А.Д. Миллер и многих других специалистов. Теоретико-методологической основой исследования стали натурные наблюдения, статистический анализ, математическое и имитационное моделирование и системный анализ полученных результатов.

Информационная база исследования. Нормативно-правовые и законодательные акты, Постановления Правительства РФ, Транспортная стратегия РФ, Федеральные и региональные целевые программы развития транспортных систем, нормативные документы федеральных и региональных органов власти и управлений, статистические данные.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов выполненного исследования подтверждается теоретически - обеспечивая обоснование поставленных цели и задач исследования; и экспериментально - на основании применения математических методов расчета управляющих параметров систем светофорного регулирования и апробации на улично-дорожной сети г. Белгород публикациями автора в изданиях, рецензируемых ВАК РФ, Scopus/Web of Science.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Выполненные исследования отвечают паспорту научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пунктам: 3 «Исследование закономерностей, разработка моделей, алгоритмов и специального программного

обеспечения в решении задач проектирования, организации, планирования, управления и анализа транспортного процесса»; 8 «Исследования в области технологий организации дорожного движения, развития технических средств организации дорожного движения».

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на конференциях и форумах: «Образование. Наука. Производство» (Белгород, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023); «Организация и безопасность движения» (Тюмень, 2018, 2019); «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2022); «Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ)» (Курск, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023); «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 2022); Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых (Вологда, 2020); «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации» (Омск, 2021); «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2020, 2021, 2022, 2023); «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021) (Орёл, 2021); «Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее» (Орёл, 2022); 2022 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMSTECH) (Вена (Австрия), 2022); «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» (Донецк, 2022); «Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования» (Орёл, 2023).

Результаты исследований использованы при реализации следующих научно-исследовательских работ и хозяйственных работ НИР: 2021.04.02 «Разработка планов координации светофорного регулирования путем методики расчета параметров цикла светофора на основании качественной оценки транспортного потока», выполняемой при поддержке Правительства Белгородской области; МК-4803.2022.4 «Прецизионное управление движением транспортных потоков посредством технических средств организации дорожного движения на

территории Арктической зоны Российской Федерации», выполняемой при поддержке совета по грантам Президента Российской Федерации.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 26 статьях, в том числе 9 – в ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 4 – в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных SCOPUS/ Web of Science, получено 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка принятых сокращений и условных обозначений, списка литературы из 126 наименований и 5 приложений. Текст диссертации изложен на 148 страницах машинописного текста и включает 31 таблицу и 42 рисунка.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

1.1 Оценка мировых показателей

Российская Федерация (РФ) является самым большим государством в мире, площадь которого составляет 17 098 246 км². Именно поэтому транспорт играет огромную роль в перевозке грузов и пассажиров. Территория РФ имеет самую большую и сложную транспортную систему в мире, позволяющую выполнять многоплановые транспортные связи при помощи технических средств, имеющихся путей сообщения и налаженной службы перевозки.

Транспортную систему страны определяют факторы такие как (рисунок 1):

1. Большие расстояния перевозки грузов и пассажиров;
2. Сложные климатические условия (5 дорожно-климатических зон ДКЗ);
3. Высокий уровень развития инфраструктуры, состоящий из: различных видов путей для осуществления перевозок (автомобильные дороги, ж/д пути, магистральные трубопроводы; линии авиасообщений, водные трассы), терминалов, транспортных средств, организаторов и участников пассажироперевозок и грузоперевозок;
4. Выполнение третьей части услуг населения (привлечение 1/10 государственных фондов и необходимость вовлечения в транспортную отрасль около 4 млн. человек);
5. Низкая транспортная подвижность населения, вызванная труднодоступностью мест проживания.



Рисунок 1 – Факторы транспортной системы Российской Федерации

Транспортная система РФ играет важную роль в экономической, социальной, политической сферах страны. Транспорт позволяет образовать связь между регионами страны в единое целое, определяя основу государственной безопасности. Показатели 2021 г. доказывают важность транспортной отрасли экономики и функционирования транспортной системы (рисунок 2):

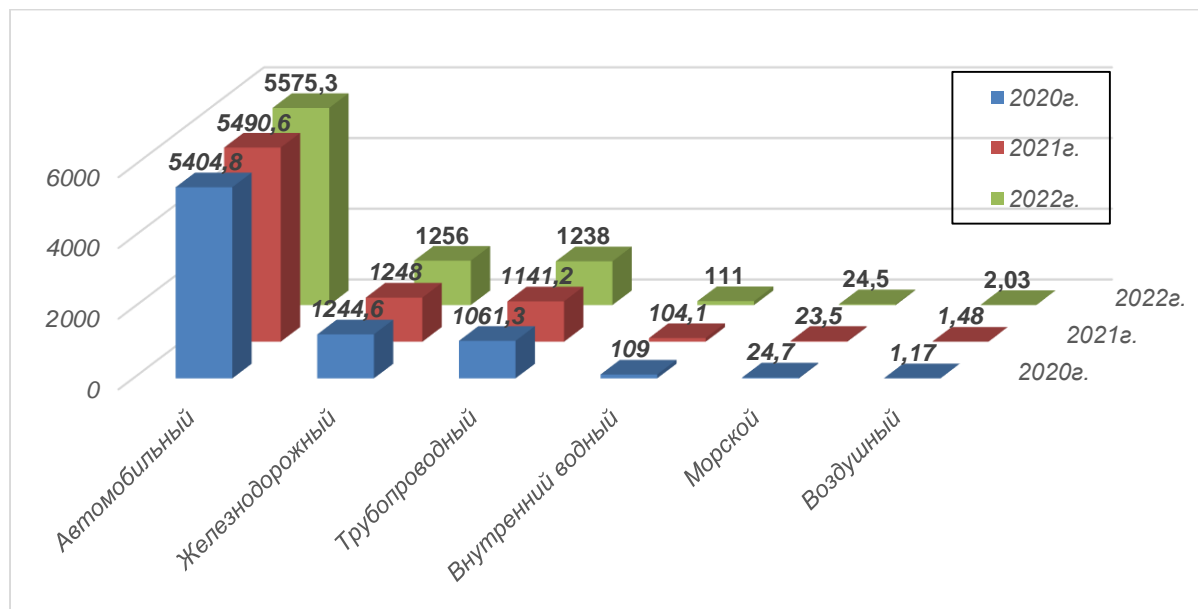


Рисунок 2 – Динамика грузовых перевозок различными видами транспорта

Наибольшее количество перевозок в РФ совершается автомобильным транспортом. Данный вид транспорта является мобильным, обладает большой скоростью, и возможность доставки точно из пункта «А» в пункт «В». Однако, все как пассажироперевозки, так и грузоперевозки совершаются на относительно небольшие расстояния, отличаются дороговизной и наиболее высокой степенью аварийности.

На период 2022 г. протяженность автомобильных дорог в стране составляет 1,6 млн. км. Руководствуясь ФЗ №257 от 08.11.2007г. «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» существуют дороги: федеральные (63 699,2 км) регионального и муниципального значения (503 356,4 км), местного значения (999 089,5 км) и частные [1,2ТТТ]. Дороги с твердым покрытием составляют 1 107 512,8 км – около 70% общей протяженности дорог, с

улучшенным покрытием 687 097,5 км. Основное число автомобильных дорог расположено в экономически развитых районах страны. Однако, общее состояние автодорог в таких районах имеет неудовлетворительное состояние. Большая часть дорог имеет однополосный режим движения для транспортных средств в разных направлениях, создавая высокую нагрузку на дороги. В таблице №1 представлены данные протяженности дорог, количества зарегистрированных транспортных средств и числа дорожно-транспортных происшествий и в зависимости от региона РФ за 2021г.

Таблица 1 – Характеристика ФО РФ в 2021г.

<i>Наименование округа</i>	<i>Протяженность дорог общего пользования, км</i>	<i>Число зарегистрированных транспортных средств, тыс. шт.</i>	<i>Число ДТП, тыс. шт.</i>
Центральный федеральный округ	359 049,5	329,3	85,5
Северо-Западный федеральный округ	146 807,5	330,9	103,3
Южный федеральный округ	151 108,0	327,5	88,7
Приволжский федеральный округ	357 851,6	338,4	101,6
Уральский федеральный округ	105 588,3	385,6	91,6
Северо-Кавказский федеральный округ	92 086,7	235,9	59,4
Сибирский федеральный округ	225 519,8	309,4	91,6
Дальневосточный федеральный округ	128 133,9	339,0	106,8

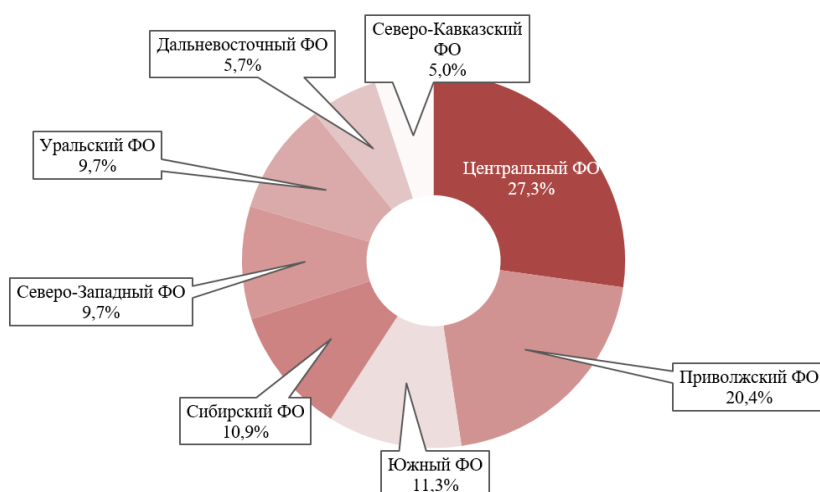


Рисунок 3 – Распределение легковых ТС по ФО РФ

Наибольшее количество легковых автомобилей по итогам 2021 года зарегистрировано в Центральном ФО (рисунок 3), которому принадлежит 27,3% от всего парка. Вторую позицию в рейтинге занимает Приволжский ФО, на долю которого приходится каждый пятый автомобиль. Доля автомобилей в 11,3%, состоящих на учете в ГИБДД, числится в Южном федеральном округе, еще 10,9% - в Сибирском федеральном округе.

Для решения существующих проблем необходимо комплексное рассмотрение транспортной системы и выявление проблемных вопросов в ее работе.

Транспортная отрасль представляет транспортные объекты и субъекты транспортной инфраструктуры (промышленные, административные, образовательные и научные организации в сфере транспорта). *Транспортная система* – это система, которая связывает между собой объекты, субъекты, средства транспортного комплекса перевозочными процессами [3,4,5]. Благодаря транспортной системе повышается экономическая способность государства и качество жизни населения [6,7]. Понятия, описывающие транспортный комплекс закреплены в Федеральном законе РФ от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» [8].

Объекты транспортной инфраструктуры – это технологический комплекс, состоящий из: автомобильных дорог, мостов, тоннелей, эстакад, автобусных станций, железнодорожных путей и станций, трамвайных путей, водных внутренних путей, аэропорты, аэродромы и прочие здания, и сооружения устройства и оборудования, обеспечивающие функционирование транспортного комплекса [8].

Субъекты транспортной инфраструктуры это – физические, юридические лица, индивидуальные предприниматели – собственники объектов транспортных средств и объектов инфраструктуры [8].

Таблица 2 - Элементы транспортной системы РФ

<i>Транспортная система РФ</i>	
<i>Транспорт общего пользования</i>	<i>Транспорт необщего пользования</i>
Автомобильный	Транспорт отраслей материального производства (сельское хозяйство, строительство, промышленность)
Железнодорожный	
Морской	Транспорт организаций сферы обслуживания и управления
Воздушный	
Внутренний водный	Транспорт населенных пунктов (общественный и индивидуальный)
Трубопроводный	

Классифицируется транспортная отрасль по различным признакам, определяя техническую классификацию к объектам транспортной системы и функциональную классификацию, показывающую транспортные связи [9-15].

Для максимального удовлетворения человеческих потребностей, имея минимальные затраты, единая транспортная система позволяет функционировать и согласованно развиваться всем видам транспортных средств [16].

Комплекс транспортной системы состоит из железнодорожного (44,4%), автомобильного (4,6%), трубопроводного (46,4%), речного (3,9%), морского (0,6%) авиационного (0,1%) видов транспорта (рисунок 4).

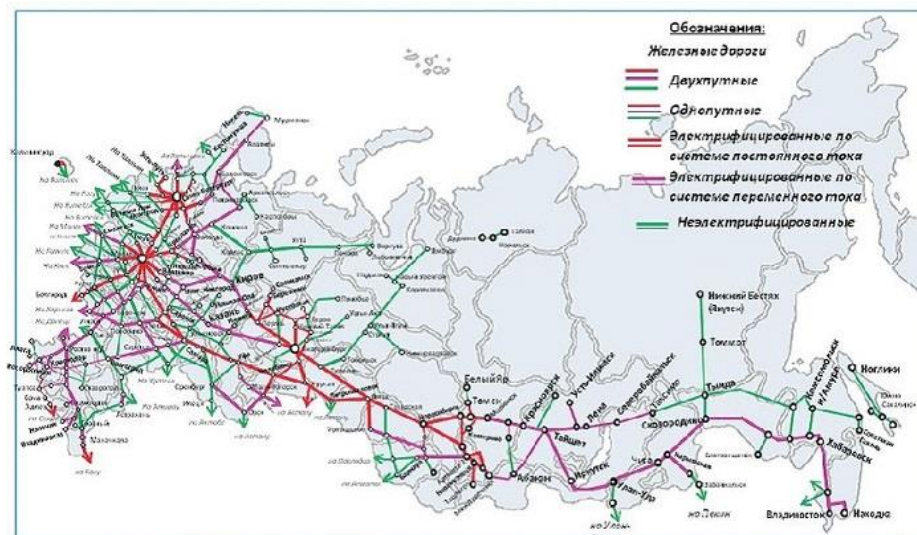


Рисунок 4 – Комплекс Транспортной системы РФ

За функционирование транспортной системы несет ответственность Министерство транспорта Российской Федерации (Минтранс РФ). В рамках стратегического развития транспортного комплекса страны, разработанного до 2030 года, особое внимание уделяется внедрению новых технологий для

комплексного управления транспортной системой. Одним из перспективных направлений развития данных технологий является совершенствование подходов к управлению транспортными потоками с помощью светофорного объекта [17].

Функционирование и слаженная работа городских транспортных систем возможна благодаря комплексу основных методов, включающих в себя такие направления как: планирование, организация, контроль и управление. Разработанная структурная схема основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения (рисунок 5) наглядно подтверждает, что существование методов вне зависимости друг от друга не представляется возможным, а первичные данные – подметод, является основным в функционировании транспортной системы. В рамках каждого направления установлены основные методы повышения эффективности организации дорожного движения, определено что многие из них подразумевают использование первичных данных – исходных данных, определяемых на этапе управления транспортной системой и взаимосвязанных с основными направлениями и методами разработанной структурной схемы (зеленые блоки на рис. 5). Первичные данные используются при реализации каждого из методов, так, например, на этапе планирования - при создании программ комплексного развития ТИ (ПКРТИ), комплексных схем ОДД (КСОД), на этапе организации – при создании единого транспортного пространства и повышении уровня БТС, на этапе контроля – при исполнении правил дорожного движения (ПДД) [17]. Первичными данным являются как характеристики улично-дорожной сети, так и геометрические и технические характеристики транспортных средств, требующие постоянного контроля и учета. В частности, первичные данные используются при определении параметров систем светофорного регулирования, которые основываются на технических показателях расчетного автомобиля.

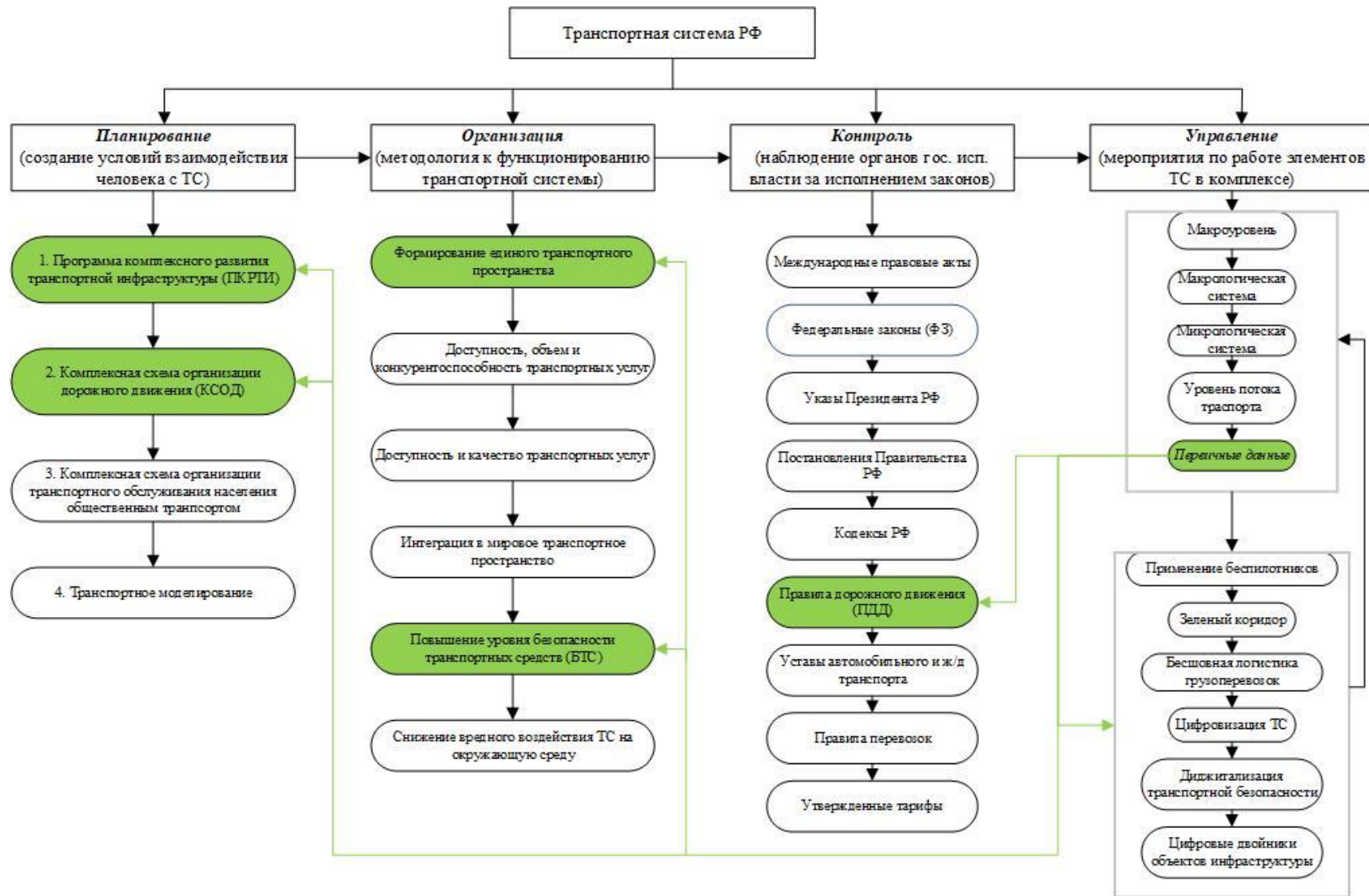


Рисунок 5 – Структурная схема основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения

1.2 Основные методы повышения эффективности функционирования ТС

Планирование ТС. Под транспортным планированием в широком смысле понимается создание условий взаимодействия человека с транспортной системой. Это деятельность позволяющая развивать транспортную систему территорий субъектов РФ, городских агломераций, муниципальных образований, а также развивать транспортную инфраструктуру, организации комплексного обслуживания населения транспортом и организовывать дорожное движение. В узком смысле, транспортное планирование — это определение и создание условий развития транспортной системы города по обеспечению потребностей в перемещении населения и грузов по территории города.

Целью планирования является совершенствование инфраструктуры и поиск наиболее оптимальных решений для обеспечения нужд населения в перемещениях.

Задачами транспортного планирования являются:

- взаимодействие субъектов транспортной инфраструктуры;
- согласованное распределение финансовых, территориальных, организационных и материальных ресурсов;
- социально-экономическое развитие территорий: разработка оптимальных планов перевозок грузов и пассажиров с минимальными затратами и минимальным временем нахождения в пути; формирование плана перевозок с планированием расходов и доходов транспорта, прибыли и рентабельности перевозок.

Планированием транспортной системы занимаются большое количество специалистов в области строительства, организации движения (проектировщики, дорожные строители, архитекторы-градостроители, инженеры по организации движения и другие специалисты в области ОДД).

Транспортное планирование в Российской Федерации осуществляется на основании Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры (ПКРТИ), комплексной схемы организации дорожного движения (КСОДД), комплексной схемы организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом (КСОТ) и последующим созданием прогнозных

транспортной модели. ПКРТИ – основной документ, отражающий все мероприятия по проектированию, развитию, реконструкции транспортной инфраструктуры на определенной территории, рассматривающий так же вопросы безопасности и качественного обслуживания населения экономических субъектов. КСОДД – документ, описывающий систему мероприятий по обеспечению и повышению БДД, а также по улучшению и созданию благоприятных условий перемещения транспортных средств и пешеходов. КСОТ - документ, отражающий схему ОДД общественного транспорта (городского, междугороднего, пригородного) повышающий качество обеспечения населения транспортом [17].

В современных реалиях транспортное планирование осуществляется на основании транспортного моделирования - построении масштабных транспортных моделей. РФ отстает от развитых Европейских стран как в автомобилизации городов, так и в транспортном моделировании из-за проблем в формировании городской системы управления, которые заключаются в малом уделении внимания муниципальными и государственными органами вопросам управления городским хозяйством и транспортной системой, считая это экономически нецелесообразным и очень затратным направлением. Однако, в настоящее время, на примере наиболее развитых городов РФ (Москва, Санкт-Петербург, Белгород, Воронеж и др.) наблюдается противоположная тенденция, интерес к транспортному планированию и полное понимание того, что транспортная система не сможет самоорганизоваться в результате чего с течением времени нагрузка на дорожной сети увеличится и приведет к полной остановке движения. Начинают внедряться успешные мировые практики показывающие хорошие результаты.

При осуществлении территориального транспортного планирования перед инженерами стоит важная задача — узнать потребности населения и мнение представителей власти, чтобы найти компромисс. Даже самому опытному специалисту будет трудно учесть все данные, поэтому использование транспортных моделей позволяет решить все трудности, учесть пожелания населения и заказчика, определить рациональную и экономически эффективную транспортную систему.

Планирование транспортной системы заключается в создании прогнозных транспортных моделей городов. Моделирование отображает и прогнозирует процессы комплексного взаимодействия различных видов транспорта [18].

В зависимости от поставленных задач прогнозирования транспортные модели подразделяются на две группы: прогнозирование во времени и пространстве. Моделирование осуществляется на макрокопическом, мезоскопическом и микроскопическом уровнях. Макроскопическое моделирование позволяет создавать модель транспортных потоков местности (программный продукт EMME INRO, PTV Vision Visum, Aimsun, Avenue APP). Мезоскопическое моделирование описывает выборочные процессы в транспортной потоке – зависимость плотности и интенсивности (Inro — Dynameq, CUBE Avenue, NeXTA/DTAlite). Микроскопическое моделирование создает модель выборочного процесса в транспортном потоке учитывая психофизиологические факторы.

Структура транспортной модели отражена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Структура транспортной модели

1. *Исходные данные.* Исходными данными являются: - транспортное предложение, представляющее пути движения транспортных средств и условия их движения, интенсивность движения транспортных средств и пропускную

способность УДС, тип улицы и дороги; - транспортный спрос, характеризующийся сведениями о составе населения и количестве рабочих мест.

2. *Моделирование транспортного спроса.* Отражает потребности населения в количестве и качестве перемещений из пункта А в пункт Б. Составляются матрицы корреспонденций индивидуального транспорта и общественного.

3. *Моделирование транспортного предложения.* Включает в себя элементы системы моделируемого города, удовлетворяющего транспортный спрос и определяет объем спроса, соответствующий требованиям транспортной системы.

4. *Этап моделирования движения грузового транспорта.* Определяется число перемещений населения на индивидуальном и общественном транспорте, с учетом функционирования грузового транспорта.

5. *Модель пиковой загрузки.* Построение данной модели происходит на основании суточной модели и учитывает интенсивность движения транспортного потока по направлениям в часы «пик».

6. *Верификация и калибровка транспортной модели.* Заключительный и самый важный этап создания прогнозной модели. Целью калибровки является максимальная близость моделируемых результатов и данных, полученных в ходе натурных исследований. Способность оценить модель на соответствие с выбранными начальными значениями.

2. Организация ТС. Организация транспортной системы подразумевает применение методологии к функционированию транспортной системы. В РФ процесс организации функционирования транспортной системы осуществляется на основании проекта Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, целью развития которой являются [2,3]:

1) формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного развития эффективной транспортной инфраструктуры;

2) обеспечение доступности, объема и конкурентоспособности транспортных услуг по критериям качества для грузовладельцев на уровне потребностей инновационного развития экономики страны;

- 3) обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения в соответствии с социальными стандартами;
- 4) интеграция в мировое транспортное пространство и реализация транзитного потенциала страны;
- 5) повышение уровня безопасности транспортной системы;
- 6) снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду.

В соответствии с Транспортной стратегией мероприятия по организации транспортной системы осуществляются на основании принципов развития транспортного комплекса способных решить задачи, связанные со снижением выброса вредных веществ в окружающую среду.

Реализация принципа, решающего задачи, связанные со снижением выброса вредных веществ в окружающую среду, требует некоторых изменений в самой структуре транспортной системы. К таким изменениям относятся: повышения экологического класса транспортного средства (которое подразумевает постепенный запрет использования автомобилей низкого экологического класса, массовое внедрение электротранспорта, внедрение программ поддержки транспортного машиностроения, внедрение цифровых технологий повышающих энерго эффективность автотранспорта); снижение негативного воздействия транспортных средств на человека и окружающую среду в городских агломерациях (правовое распределение условий пользования личным автотранспортом и развития пассажирского транспорта, преимущественное пользование внеуличным и городским электротранспортом, реорганизация дорожного движения позволяющая снизить заторовые ситуации и перепробег автотранспорта в городах, развитие улично-дорожных сетей города, распределение основных транспортных потоков на магистральных улицах с высокой пропускной способностью вне жилых застроек, проведение мероприятий по шумовому загрязнению (установка шумовых экранов, уменьшение скорости движения автотранспорта на участках с высокой плотностью населения, внедрение цифрового контроля уровня шума)); мероприятия повышающие экологическую эффективность транспортного комплекса (разработка и внедрение стандартов и рекомендаций по охране

окружающей среды, увеличение маршрутизации перевозок, цифровизация маршрутов грузовых и пассажирских перевозок, создание и контроль экологических зон).

Исследование транспортного потока и уточнение его расчетных характеристик являются неотъемлемой частью метода повышения организации и безопасности движения. Вне зависимости от того, действующее пересечение или проектируемое, основными этапами проектирования является обследование существующих транспортных потоков или же их прогнозирование [16].

3. Контроль ТС. Осуществления контроля и надзорной деятельности являются средством по осуществлению управления транспортом и функционирования всей транспортной системы в комплексе. Под контролем системы понимается наблюдение специализированных органов государственной власти за исполнением законов и правил на транспорте, а также проведение организационно-технической оценки автотранспортной деятельности.

Контроль (надзорная деятельность) транспортной системы осуществляет Федеральная служба по надзору в сфере транспорта посредством федерального государственного контроля на разных уровнях, регионального государственного контроля, муниципального контроля.

Контроль в транспортной системе производится на основании нормативно правовой документации. Так существуют: Федеральный закон от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ «О техническом регулировании», Федеральный закон от 24 июля 1998 года № 127-ФЗ "О государственном контроле за осуществлением международных автомобильных перевозок и об ответственности за нарушение порядка их выполнения" [18,19,20] и др.

Контрольно-надзорную деятельность так же совершают таможенные и пограничные органы, Ространснадзор.

4. Управление ТС. Управление транспортной системой представляет комплекс мероприятий по эффективному функционированию системы путем координации, организации и упорядочивания составляющих частей системы.

Управление транспортной системой представляет контроль над системой отдельных технических устройств и приспособлений (сигналы светофора и др.), финансирования системы (платные дороги, налоги на топливо и др.)

Управление проводится отдельно на каждом уровне управления: макроуровень, макрологические системы, микрологические системы, уровень потока транспорта, уровень отдельного транспортного средства.

Реализуется управление транспортной системой при помощи развития цифровых сервисов на транспорте – цифровизации транспорта. Под цифровизацией понимается процесс использования цифровых технологий, в результате которого оптимизируется большинство процессов, улучшается деятельность, услуги и продукты транспортной организации.

Минтранс РФ в период с 2021 по 2030 гг. выделило шесть основных проектов цифровой трансформации транспортной отрасли [22]:

- «Беспилотники для пассажиров и грузов» - формирование безопасной инфраструктуры для применения безбилетников на различных видах автотранспорта по всей России, что позволит создать условия применения беспилотников для частных и коммерческих перевозок;

- «Зеленый цифровой коридор пассажира» - необходимость создания условий для поездок без использования наличных расчетов и предоставления бумажных документов, подтверждающих льготу на проезд и (или) существующий трафик;

- «Бесшовная грузовая логистика» - использование транзитного потенциала РФ с целью ускорения перевозок и снижения их себестоимостей, увеличение бюджета РФ и транспортных предприятий;

- «Цифровое управление транспортной системой РФ» - онлайн контроль всей транспортной инфраструктуры, интернет-мониторинг транспорта и использование беспилотников, интегрирование данных с системой управления;

- «Цифровизация для транспортной безопасности» - «диджитализация», повышение информационной безопасности транспортного комплекса исключит утечку персональных и биометрических данных пассажиров методом

отслеживания потоков информации, мониторинг в режиме онлайн за уровнем защиты транспортной сферы;

- «Цифровые двойники объектов транспортной инфраструктуры» - заключающееся в создании 3D-моделей объектов ТИ с внедрением BIM-технологий (Building information modeling) для проведения всестороннего анализа элементов транспортной инфраструктуры.

Цифровизация транспорта в области управления ДД выполняется на основании использования интеллектуальных транспортных средств (ИТС) [23,24,25,26]. ИТС оказывает положительный момент на БДД, эффективность работы и снижение затрат. Однако, уровень загрузки транспортных сетей, особенно в городах, остается достаточно высоким. От эффективности функционирования изолированного участка зависит эффективность работы транспортной сети как отдельно взятого города, так и всей транспортной системы страны. Поэтому для создания эффективной транспортной системы города необходимо проводить качественный сбор первичных данных.

Следующим этапом исследования является рассмотрение системы сбора первичных данных и определение основных составляющих этих параметров оказывающих влияние при расчете параметров управления городским транспортным потоком.

1.3 Основные составляющие системы первичных данных

Основной составляющей транспортной системы города являются автомобильные дороги. От эффективной реализации мероприятий по проектированию и строительству автомобильных дорог, организации и управления дорожным движением зависит эффективная и слаженная работа всей транспортной инфраструктуры города в целом. Правила по проектированию, строительству автомобильных дорог, организации и эффективному управлению дорожным движением закреплены в нормативных документах: СП 34.13330.2021 [27] и ОДМ 218.6.003-2016 г. [28,29]. Данные документы закрепляют правила и методы расчета по созданию эффективной транспортной системы на всех стадиях строительства

автомобильной дороги и последующего принципа управления дорожным движением на ней.

В большей степени первичные данные - параметры транспортного потока применяются при организации мероприятий в методах управления. В городских транспортных системах является основным метод управления, учитывающий также первичные данные – это параметры легковых автомобилей, наиболее часто встречающихся в транспортных потоках [30,31].

Для проектирования и строительства проезжей части, а также последующих расчетов в области организации дорожного движения (поток насыщение, принудительное управление и др.) в соответствии с нормативной документацией используются геометрические и динамические параметры расчетного автомобиля, параметры которого определены на основании советских автомобилей 80-х годов. Данный расчетный автомобиль является единым для всех территориальных частей России. Нельзя так же не учитывать тот факт, что в разных дорожно-климатических зонах России в транспортном потоке преобладают разнообразные виды транспортных средств, значительно отличающиеся своими техническими параметрами друг от друга. В результате изменений и модификации транспортных средств необходимым является актуализация и дополнительные расчеты по определению параметров усовершенствованного расчетного - автомобиля для различных зон Российской Федерации [32].

В нормативных документах СП 34.13330.2021 и ОДМ 218.6.003-2016 г. определены и установлены геометрические параметры расчетных автомобилей в зависимости от типа автотранспортного средства (легковой автомобиль (ЛА), грузовой автомобиль (ГА) , автобус, сочлененный автобус, автопоезд) (таблица 3) на основании характеристик которых по настоящее время производятся дальнейшие расчеты по проектированию автомобильных дорог, организации и управлению дорожным движением.

Таблица 3 - Основные геометрические параметры расчетных автомобилей [27,34]

Тип расчетного автомобиля	Обозначение по ТР ТС 018/2011 [3134]	Размеры, м				
		длина	ширина	База/расстояние между осями	Передний свес	Задний свес
Легковой автомобиль (ЛА)	M1	4,90	1,90	2,90	0,90	1,10
Городской автобус (АГ)	M2	12,0	2,50	6,20	2,75	3,05
Пригородный автобус (АП)	M3	15,0	2,50	6,90/1,30	2,60	4,20
Сочлененный автобус (АС)	M3	18,4	2,55	5,96/6,05	2,68	3,71
Грузовой автомобиль до 3,5т (Г)	N1	6,4	2,4	3,7	1,63	1,69
Грузовой автомобиль 3,5-12т (Г)	N2	9,15	2,5	4,4	1,36	1,87
Грузовой автомобиль свыше 12т (Г)	N3	12,0	2,60	5,70/1,40	1,50	3,70
Автопоезд (А16)	N2+O4	16,50	2,50	3,80/7,02	1,3	2,98
Автопоезд (А20)	N3+O4	19,80	2,60	6,80/4,30	1,50	0,70

На основании первичных данных возможно определение основных параметров элементов поперечного профиля проезжей части автомобильных дорог и параметров управления дорожным движением (рисунок 7).

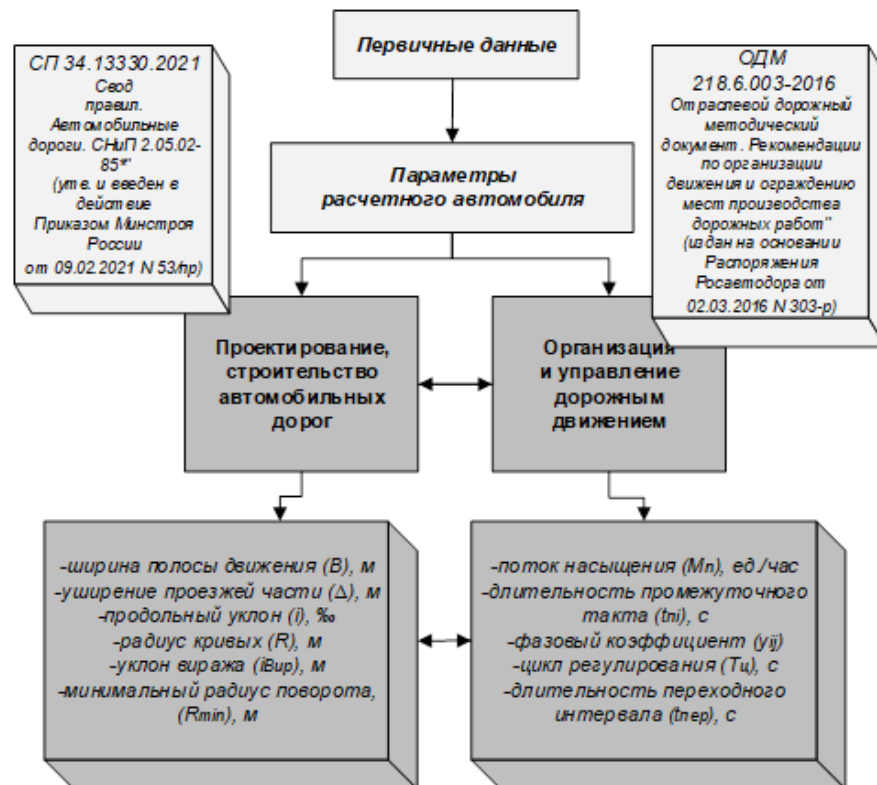


Рисунок 7 – Пример схемы применения первичных данных при осуществлении расчета показателей ОДД

При проектировании и строительстве автомобильных дорог применяются первичные данные для расчета следующих параметров элементов [34-37]:

1. *Ширина полосы движения.* Чем больше скорость движения транспортного средства (v_a), тем больше ширина полосы движения (B). Определение ширины проезжей части ($B_{ПЧ}$) основывается не только на скорости автомобиля (v_a), но и в зависимости от габаритных размеров расчетного автомобиля (L_d) [38,39]. Формула расчета выглядит следующим образом:

$$B = \frac{(b + c)}{2 + x + y}, \quad (1)$$

где b – ширина кузова транспортного средства, м; c – колея транспортного средства, м; x – расстояние от кузова до полосы, по которой проходит движение, м; y – расстояние от середины следа колеса до края проезжей части, м.

2. *Уширение проезжей части* автомобильной дороги определяется на основании расчетного автомобиля по формуле:

$$\Delta = \frac{L^2}{2R}, \quad (2)$$

где L – расстояние от переднего бампера до задней оси расчетного автомобиля, м; R – радиус кривой в плане, м.

3. *Продольный уклон.* Величина продольного уклона определяется на основании работы вращающихся частей расчетного автомобиля. Предполагается, что движение автомобиля происходит с постоянной скоростью:

$$i = D - f, \quad (3)$$

где D – диаметр колеса, м; f – коэффициент сопротивления качению, зависящий от веса автомобиля.

$$f = \frac{\sum P_f}{G}, \quad (4)$$

где $\sum P_f$ – суммарное сопротивление качению всех колес автомобиля; G – вес автомобиля, Н.

4. *Радиус кривых.* В общем виде выражение по определению радиуса кривых в плане:

$$R = \frac{v^2}{g(\mu \pm i)}, \quad (5)$$

где v – скорость автомобиля, м/сек; i – предельный уклон; μ – коэффициент поперечной силы, зависящий от веса автомобиля.

$$\mu = \frac{Y}{mg}. \quad (6)$$

5. Уклон виража.

$$i_{\text{вир}} = \frac{v^2}{gR} - \mu = \frac{v^2}{gR} - \varphi_2, \quad (7)$$

где v – скорость автомобиля, м/сек; R – радиус кривых, м; μ – коэффициент поперечной силы, φ_2 – коэффициент поперечного сцепления колеса с дорогой.

При организации и управлении дорожным движением при помощи первичных данных становится возможным определение таких параметров как: поток насыщения, длительность промежуточных тактов, фазовых коэффициентов, цикл светофорного регулирования, длительность переходного интервала.

1. Поток насыщения. В любом случае, как бы мы не давали определение потока насыщения, пропускная способность полосы зависит от большого числа факторов таких как: критическая скорость движения ТС, погодные-климатические условия, а именно коэффициент сцепления, габаритная длина ТС. Учитывая эти параметры, мы можем получить более подробную и уточненную формулу для расчета потока насыщения [41]:

$$M_{\text{н пов}} = \frac{3600(3,6\sqrt{Rg\varphi_c})}{L_a + (T \cdot v + \frac{v^2}{2j_3})}, \quad (8)$$

где Rg – радиус поворота транспортных средств, м, T – время реакции водителя, с, φ_c – коэффициент сцепления, j_3 – величина установившегося замедления, м/сек², L_a – габаритная длина расчетного автомобиля определенного класса, м, v – скорость движения автотранспортного средства.

Разнородность транспортных средств в потоке является основополагающим фактором, который необходимо учитывать при нахождении потоков насыщения, с учетом характеристик расчетного автомобиля [40-42].

2. Длительность промежуточного такта. Ссылаясь на рекомендации по проектированию регулируемых перекрестков на автомобильных дорогах в нашей

стране, управление движением, а именно, определение длительности промежуточного такта в последующем для расчета параметра управления возможно определить с учетом параметров длины автомобиля, преобладающего в потоке (расчетного автомобиля) (l_a) и средней скорости автомобиля на подъезде к перекрестку – (v_a) по формуле:

$$t_{ni} = \frac{v_a}{7.2 \cdot a_t} + \frac{3.6 \cdot (l_i + l_a)}{v_a}, \quad (9)$$

где a_t - среднее замедление автомобиля ($a_t = 3-4 \text{ м/с}^2$); l_i - расстояние от стоп-линий до ДКТ, м; l_a - длина автомобиля, преобладающего в ТП, м.

3. *Фазовый коэффициент.* Определяется для всех существующих направлений на перекрестке в зависимости от фазы регулирования на основании формулы:

$$y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{ij}}, \quad (10)$$

где y_{ij} - фазовый коэффициент направления; i - фаза регулирования; j – номер направления; N_{ij} - интенсивность движения для рассматриваемого периода суток, ед./ч; M_{ij} — поток насыщения в зависимости от фазы и направления, ед./ч. Параметр потока насыщения (M_n) вычисляется экспериментальным и расчетным методами на основе изучения состава транспортного потока и расчетного автомобиля.

4. *Длительность цикла светофорного регулирования.* Режим работы светофорной сигнализации, а именно цикл регулирования ($T_{ц}$) рассчитывается при помощи фазовых коэффициентов, определение которых производится на основании расчетов потока насыщения (M_n). Формула расчета длительности цикла светофорного регулирования выглядит следующим образом:

$$T_{ц} = \frac{1.5 \cdot T_n + 5}{1 - (y_1 + y_2 + \dots + y_n)}, \quad (11)$$

где $T_{ц}$ - длительность цикла, с; T_n - сумма промежуточных тактов, с; y – наибольший фазовый коэффициент; y_n - соответствующие фазовые коэффициенты для имеющихся фаз.

5. *Длительность переходного интервала.* Определяется для всех рассматриваемых направлений движения и позволяет оценить длительность работы промежуточных тактов СР. Формула расчета учитывает (t_l) - время проезда

транспортными средствами расстояния до стоп – линии при постоянной скорости, которое равно тормозному пути и (t_2) - время проезда транспортным средством расстояния от стоп-линии до начала конфликтной зоны с пешеходным потоком: [41]:

$$t_{\text{пер}} = t_1 - t_2 - 2, \quad (12)$$

Для определения времени проезда t_2 необходим параметр длины расчётного автомобиля.

$$t_2 = \frac{l_t + l_a}{v_a}, \quad (13)$$

где l_a - средняя длина автомобиля с учетом состава ТП на определенном направлении, м.

В качестве параметров расчетного автомобиля классическим способом учитываются технические и динамические характеристики следующих транспортных средств: легковой автомобиль - ГАЗ-21, грузовой автомобиль - ЗИЛ-130, имеющих геометрические размеры, системы управления обеспечения устойчивости, динамические характеристики, которые в настоящее время существенно отличаются от технических характеристик современных автомобилей. Данные параметры и характеристики расчетного автомобиля документально закреплены в стандартах и методических документах СП 34.13330.2021 и ОДМ 218.6.003-2016 (табл.4) [27,28]. Расчетный автомобиль – это условная транспортная единица, параметры (технические, динамические) которого используются при расчете дорожной одежды и ее элементов [27,28]. Характеристики расчетного автомобиля, представленные в таблице 4, определены на основании технических характеристик отечественных автомобилей 50-70 гг. преобладающих в транспортных потоках: Москвич 407, Микро литражный М-21 «Волга», М-20 «Победа», ЗИЛ-110.

Таблица 4 - Технические характеристики отечественных ТС, применяемые для определения расчетного автомобиля

Модели легковых ТС	Объем двигателя, см ³	Мощность, л.с.	Время разгона до 100 км/ч за сек.	Длина x ширина x высота, мм	Колесная база, мм	Полная масса, кг	Радиус поворота, м
Москвич 407	1360	45	36	4055x1540x1560	2370	1290	6
Микролитражный М-21 «Волга»	2420	65	34	4770x1885x1620	2700	1885	6,3
М-20 «Победа»	2111	52	45	4665x1695x1640	2700	1835	6,3
ЗИЛ-110	6005	140	28	6000x1960x1730	3760	2575	9,56

Все легковые автомобили принято относить к одному типу транспортных средств (легковые), однако они имеют различные технические и динамические характеристики (таблица 4). Для эффективного управления дорожным движением необходимо учитывать в первую очередь технические характеристики автомобиля - снаряженная масса и полная масса, тягово-скоростные и тормозные свойства, динамические характеристики - касательная сила тяги на ведущих колесах, динамический фактор, быстрота разгона ТС (ускорение, время и путь разгона) [42].

Эффективное функционирование транспортной системы города зависит от оптимальной работы регулируемых пересечений, эффективность которых определяется установлением рациональных параметров управления на них, в частности циклов светофорного регулирования. В данном исследовании экспериментальный расчет параметров управления – светофорного регулирования, основан на использовании первичных данных, а именно динамических параметрах расчетного автомобиля. Так как по настоящее время в экспериментальных расчетах применяется расчетный автомобиль - условная транспортная единица, имеющая геометрические параметры, технические и динамические характеристики транспортных средств, преобладающих в транспортных потоках в 50-70е гг., для достижения поставленных задач исследования необходимо всестороннее рассмотрение и изучение совокупности транспортных средств преобладающих в транспортных потоках в настоящее время и изучение процесса их движения.

1.4 Выводы по главе 1

Выполненный литературный анализ источников и нормативных документов по определению параметров управления городскими транспортными потоками при использовании светофорного регулирования, установил направления, нуждающиеся в дополнительных исследованиях:

1. Рассмотрена транспортная система РФ и изучен комплекс основных методов, определяющих эффективное функционирование и слаженную работу транспортной системы на примере транспортной системы субъекта РФ. В ходе исследования разработана структурная схема основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения, которая подтверждает, что существование методов вне зависимости друг от друга не представляется возможным, а в основе ее работы находятся первичные данные – подметод определяемый на этапе управления транспортной системой, являющийся основным в работе и функционировании транспортной системы как комплексом в целом.

2. Проведен анализ методов функционирования транспортной системы, таких как: планирование, организация, контроль и управление, который подтвердил, что использование первичных данных необходимо при работе каждого метода. Установлено, что слаженная работа транспортной системы города в целом зависит от эффективной работы отдельно существующих регулируемых участков, в частности при определении и установлении на них рациональных параметров управления, которые в свою очередь определяются при помощи первичных данных, а именно, динамических характеристик расчетного автомобиля.

3. Выполнен обзор основных составляющих системы первичных данных. Первичными данными в управлении дорожным движением и эффективной работе транспортной системы в целом являются автотранспортные средства. На основании нормативных документов СП 34.13330.2021 и ОДМ 218.6.003-2016 показатель расчетного автомобиля – условной транспортной единицы, параметры (технические, динамические) которого используются при расчете дорожной

одежды и ее элементов, выявленного при исследовании транспортных потоков состоящих преимущественно из отечественных автомобилей 50-70 гг. преобладающих в транспортных потоках, основан на технической характеристике следующих автотранспортных средств: Москвич 407, Микро литражный М-21 «Волга», М-0 «Победа», ЗИЛ-110. Однако, за последние десятилетия значительно изменились не только основные конструктивные параметры легковых автомобилей, но и динамические параметры. Данное изменение, в первую очередь-улучшение динамических показателей, например динамики разгона и динамики торможения, оказывающих влияние на процесс движения транспортных потоков, что требует обязательного учета, особенно при организации дорожного движения, в частности при применении методов управления - управления городскими транспортными потоками при использовании светофорного регулирования.

Руководствуясь полученными выводами, была определена цель настоящего исследования и установлены задачи исследования.

1.5. Цель и задачи исследования

Цель исследования – снижение времени задержки автотранспортных средств при проезде перекрестков посредством корректировки светофорного регулирования с учетом динамических показателей автомобилей.

Для достижения цели исследования, **определены основные задачи:**

1. Выполнить анализ теоретических и научно-практических подходов к применению основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения с учетом использования первичных данных – технических параметров легковых автомобилей.

2. Исследовать основные характеристики городского транспортного потока с определением разнородности состава легковых автомобилей и установить динамические параметры определенных моделей легковых автомобилей, входящих в состав городского транспортного потока.

3. Разработать математическую модель определения параметров калиброванного автомобиля и автоматизировать процесс расчета данных параметров путем разработки программно-аппаратного комплекса.

4. Теоретически обосновать связь между параметрами калиброванного автомобиля и пропускной способностью управляемых участков в городской улично-дорожной сети и усовершенствовать алгоритм расчета управляющих параметров.

5. Осуществить оценку эффективности разработанных математических моделей, алгоритма расчета управляющих параметров, программно-аппаратного комплекса с помощью определения эколого-экономических показателей.

ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

2.1 Исследование разнородности транспортных потоков

Для достижения поставленной задачи исследования в рамках настоящей диссертационной работы необходимым мероприятием является всесторонний анализ транспортных потоков, характеризующийся транспортными средствами различных марок, имеющих отличительные технические характеристики, которые впоследствии оказывают влияние на параметры дорожного движения, и, в частности, при определении эффективных параметров управления - светофорном регулировании. Обследование транспортных потоков является одним из этапов по актуализации параметров расчетного автомобиля. Если ранее транспортные потоки имели ненасыщенный характер, то за последние десятилетия автомобильный рынок очень изменился. На дорогах Российской Федерации преобладает большое число разнообразных марок и моделей как отечественных, так и зарубежных автомобилей. Данные транспортные средства постоянно модифицируются: изменяются их технические и динамические параметры (длина, ширина, высота, мощность, крутящий момент и др. В результате настоящих изменений автотранспортных средств необходимым является актуализация и дополнительные расчеты по определению параметров расчетного автомобиля [38].

При проведении классической оценки разнородности транспортного потока выделяют типы транспортных средств: легковые ТС, грузовые ТС и автобусы. Руководствуясь ст.30 ФЗ № 257 от 08.11.2007 г. «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1], а также Правилами дорожного движения РФ [43], движение грузовых транспортных средств по центральным улицам городских агломераций, а также сам въезд в город запрещены. В связи с этим в городских транспортных потоках преобладают легковые и маршрутные транспортные средства. Более 90% транспортного потока в городах составляют легковые ТС [44,45].

Частью исследования является анализ официальной статистики, подтверждающий разнородность ТС в потоках по типу ТС на примере транспортных потоков городской агломерации г. Белгорода (рисунок 8).

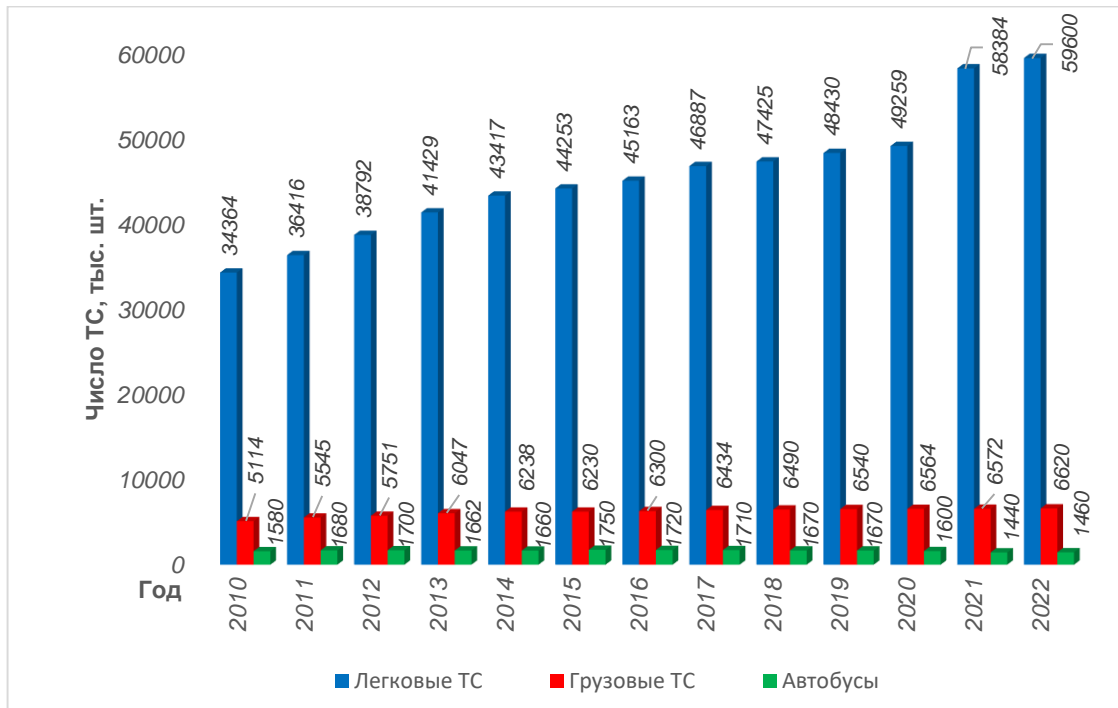


Рисунок 8 – Гистограмма распределения типов транспортных средств на примере г. Белгород

Наглядная гистограмма распределения типов транспортных средств на примере г. Белгород подтверждает данную разнородность (рисунок 8). Количество автотранспортных средств растет, а доля легковых автомобилей составляет 90% от общего числа всех типов ТС (рисунок 9).

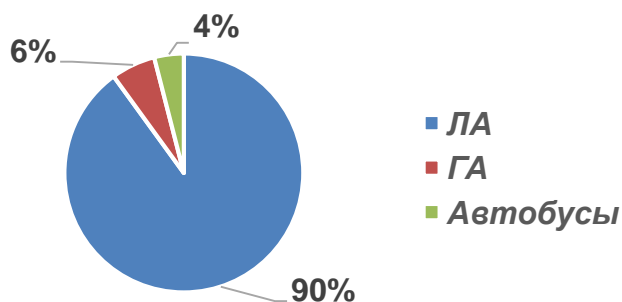


Рисунок 9 – Диаграмма среднего процентного распределения типов транспортных средств за период 2017-2022 гг. в г. Белгород

В рамках исследовательской работы необходимым этапом является определение конструктивных параметров усовершенствованного расчетного

автомобиля. С учетом полученных показателей возможна разработка технологии, позволяющей определять наиболее эффективные значения параметров управления, в частности, определение цикла светофорного регулирования. Для достижения поставленной задачи необходимо определить наиболее распространенные модели легковых транспортных средств на основании статистики продаж автомобильных марок в РФ в целом и отдельно взятых регионах ЦФО [46,47,48], а также проведения натурных обследований транспортных потоков в городской агломерации г. Белгород. Для расчетного автомобиля предлагается ввести новое понятие как «калиброванный автомобиль» – условная транспортная единица, имеющая усредненные показатели технических и динамических параметров современных транспортных средств, преобладающих в транспортных потоках [49].

Результат статистического анализа продаваемых моделей легковых транспортных средств в России за период 2005-2022 гг. представлен на рисунке 10.

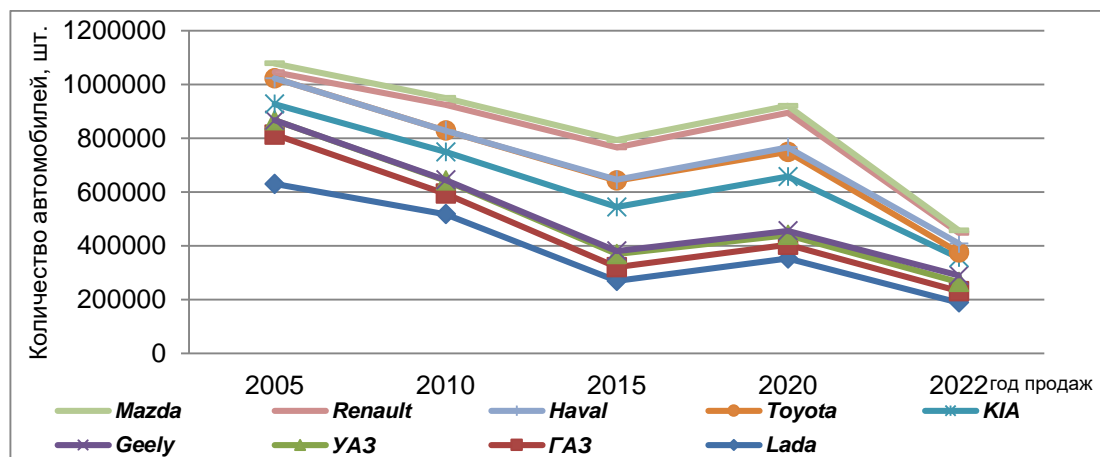


Рисунок 10 – Статистический анализ продаваемых моделей легковых ТС в РФ за период 2005-2022 гг.

Анализ статистических баз данных за долгосрочный период подтверждает, что наибольшим спросом пользуются зарубежные автомобили таких марок как: Geely, Kia, Toyota, Haval, Hyundai, Renault, Mazda, в то время как отечественные автомобили Lada, ГАЗ теряют свою популярность по сравнению с началом 2000-х годов и пользуются с каждым годом наименьшим спросом. Период 2015-2020 гг. характеризуется повышенным спросом отечественных автомобилей, из-за увеличения стоимости зарубежных автомобилей. Период продаж с 2021г. по 2022

г. является переломным в автомобильной отрасли в связи с введением пакета санкций против РФ и запретом продажи зарубежных автомобилей из ряда стран в РФ. Отечественные автомобили Lada, ГАЗ, УАЗ снова обретают популярность и становятся самыми продаваемыми автомобилями в России. Зарубежные автомобили постепенно уходят с российского рынка продолжая пользоваться спросом, и в это время активно повышается спрос на азиатские автомобили, которые по числу продаж на настоящее время уступают отечественному автомобилю (рисунок 10).

С целью уточнения наиболее популярных автомобилей в транспортных потоках исследуемой городской агломерации г. Белгород были определены лидеры продаваемых марок легковых транспортных средств в Федеральном округе (рисунок 11). Самыми популярными легковыми автомобилями в ЦФО, в состав которого входит и Белгородская область, на основании официальных баз данных Автостат являются: Lada Granta, Kia Rio, Lada Vesta.

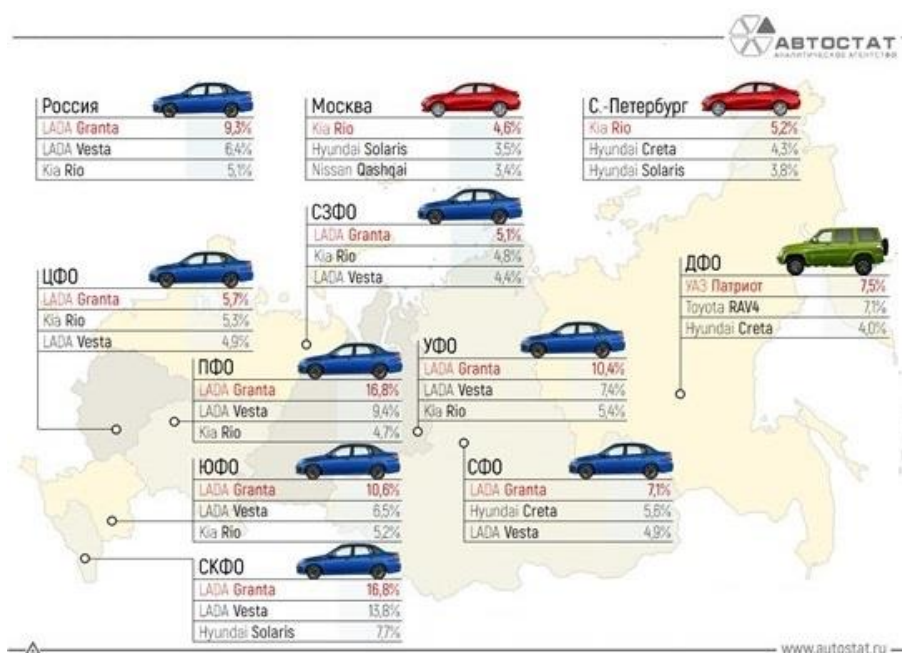


Рисунок 11 – Лидирующие модели ЛА на рынке продаж в ЦФО за 2022г. на основании данных [46]

На основании статистического анализа продаваемых моделей легковых транспортных средств в РФ за период 2005-2022 гг. и популярных марок

автомобилей в зависимости от федерального округа выполнен анализ продаж легковых транспортных средств в регионах ЦФО (таблица 5).

Таблица 5 – Продаваемые модели популярных марок транспортных средств в регионах ЦФО РФ

<i>№ n/n</i>	<i>Регион ЦФО</i>	<i>Модель ТС</i>	<i>Марка ТС</i>
1	Белгородская область	Toyota	Camry
2	Брянская область	Kia	Rio
3	Владимирская область	Renault	Duster
4	Воронежская область	Volkswagen	Polo
5	Ивановская область	Lada	Vesta
6	Калужская область	Hyundai	Solaris
7	Костромская область	Kia	Cerato
8	Курская область	Lada	Granta
9	Липецкая область	Renault	Duster
10	Москва	Kia	Rio
11	Московская область	Hyundai	Solaris
12	Орловская область	Toyota	Camry
13	Рязанская область	Hyundai	Creta
14	Смоленская область	Lada	Granta
15	Тамбовская область	Volkswagen	Polo
16	Тверская область	Lada	Priora
17	Тульская область	Renault	Logan
18	Ярославская область	Kia	Rio

Продаваемыми легковыми транспортными средствами в ЦФО РФ являются из числа отечественных автомобилей - Lada Granta (5,7%), Lada Vesta (4,3%), зарубежных: Kia Rio (5,3%) [49,50**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В результате выполненного анализ статистических баз данных за долгосрочный период с 2005 г. по 2022 г. было установлено, что число легковых автомобилей ежегодно увеличивается. Они представлены моделями и марками как отечественных, так и зарубежных производителей, в зависимости от экономического уровня региона – доходности населения, уровня жизни и прочее, данные модели и марки меняются, о чем свидетельствует официальная база данных Автостат [49]. При оценке уровня насыщенности автомобилями для ЦФО РФ, в состав которого входит Белгородская область, были определены часто продаваемые легковые автомобили из отечественных - Lada Granta (5,7%), Lada Vesta (4,3%), зарубежных производителей - Kia Rio (5,3%). На основании

статистики продаж транспортных средств, с помощью систем фото-видеофиксации был исследован транспортный поток одной из главных магистральных улиц г. Белгорода – проспект Б. Хмельницкого [50,51].

Для выполнения цели настоящего исследования следующим этапом является всесторонний анализ и характеристика транспортных потоков г. Белгорода.

2.2 Характеристика транспортного потока в г. Белгород

В рамках выполнения второй задачи исследования изучены транспортные потоки г. Белгород для достижения которой определены популярные модели легковых транспортных средств в ТП путем проведения натурных исследований въездных потоков г. Белгород. Исследования входящих ТП в г. Белгород проходили в период с 5 сентября 2022 г. по 30 сентября 2022 г. Фиксация ТП проводилась устройствами - видеокамерами JVC GR-D870 (таблица 6).

Таблица 6 – Техническая характеристика JVC GR-D870

<i>Общие характеристики</i>	
Тип носителя	кассета mini DV
Максимальное разрешение видеосъемки	640x480 пикс
Режим ночной съемки	есть
Широкоформатный режим видео	есть
Тип матрицы	CCD
Количество матриц	1
Матрица	0.68 Мпикс
Физический размер матрицы	1/6"
<i>Объектив</i>	
Фокусное расстояние объектива	2.2 - 77 мм
Zoom оптический / цифровой	35x / 800x
Диафрагма	F1.8 - F4
Диаметр фильтра	30.5 мм
<i>Функциональные возможности</i>	
Стабилизатор изображения	нет
ЖК-экран	есть (2.7", 123000 пикс.)
<i>Интерфейсы и носители</i>	
Интерфейсы	AV-выход, DV-вход, DV-выход, USB
Запись на карту памяти	есть
Поддержка карт памяти	MMC, SD
<i>Дополнительная информация</i>	
Размеры (ШxВxГ)	68x74x118 мм
Вес	420 г

Участки исследования входящих транспортных потоков представлены на схеме (рисунок 12).

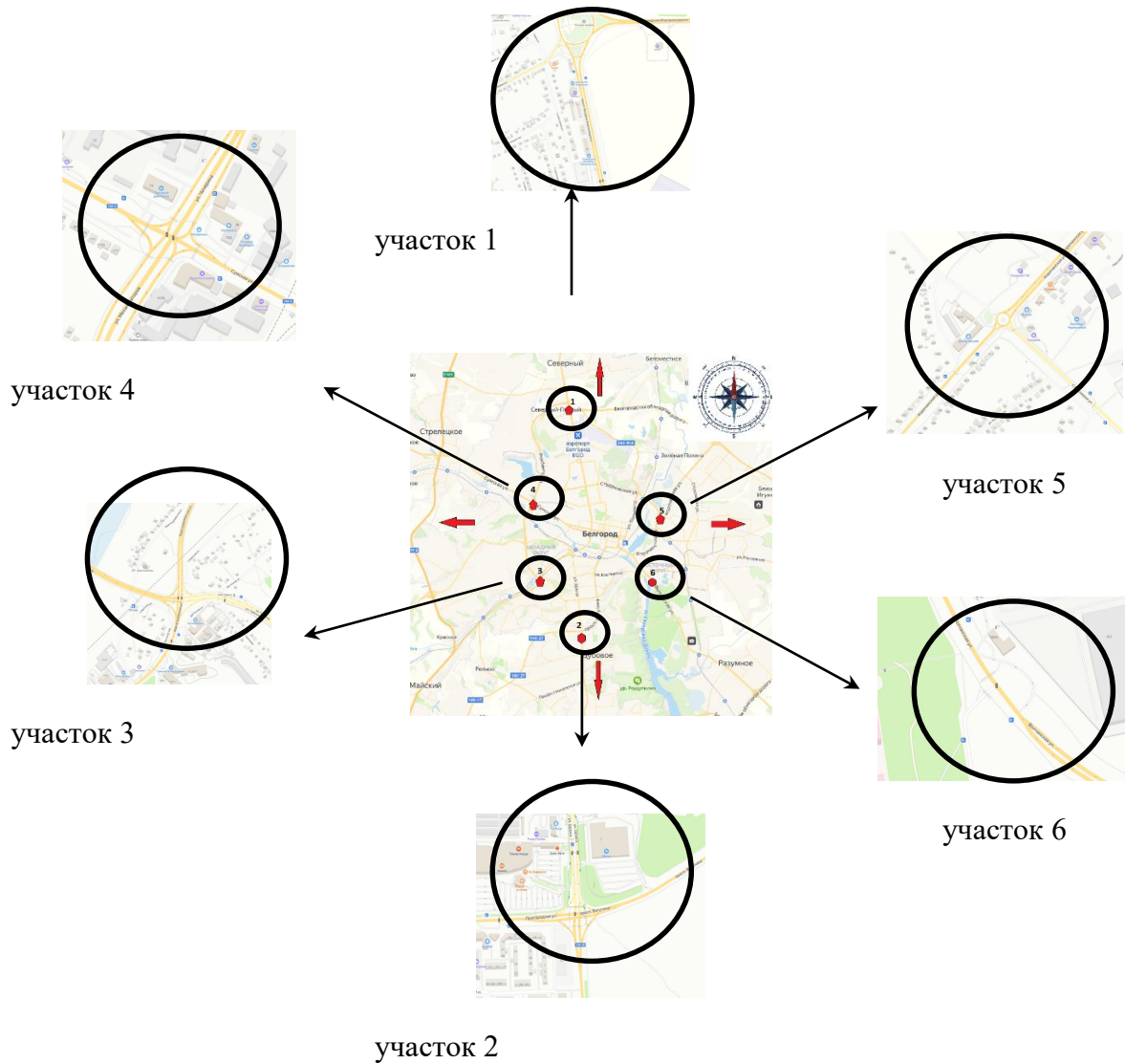


Рисунок 12 - Обозначение исследуемых въездных участков в г. Белгород

На схеме расположения участков исследования входящих ТП (рисунок 12) выполнена установка и проверка работы уже существующих систем видеофиксации на въездных пересечениях в город:

1) пр. Б-Хмельницкого – Белгородская объездная дорога, прямой участок для движения ТС, находящийся в северной части городской агломерации. Видеосъемка осуществлена по пр. Б. Хмельницкого с стороны выезда п. Северный (рисунок 13, а);

2) пр. Ватутина – ул. Щорса, регулируемое пересечение, расположенное в южном районе города. Видеосъемка проводилась по ул. Щорса в направлении со стороны п. Дубовое (рисунок 13, б);

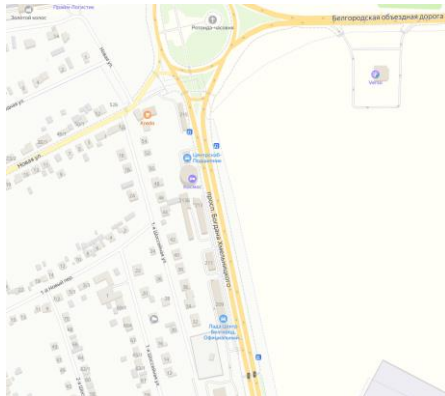
3) ул. Магистральная – ул. Красноармейская, регулируемое пересечение в юго-западной части городской агломерации. Съемка осуществлялась в направлении со стороны п. Майский по ул. Магистральная (рисунок 13, в);

4) ул. Сумская – ул. Чичерина, регулируемое пересечение в западной части городской агломерации. Съемка осуществлялась с городской объездной дороги, расположенной в западной части города (рисунок 13, г);

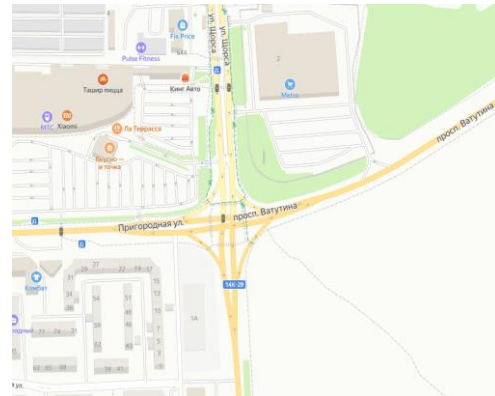
5) ул. Корочанская ул. Сторожевая, кольцевое пересечение, расположенное в восточной части городской агломерации. Съемка выполнена со стороны объездной дороги в восточной части города (рисунок 13, д);

6) ул. Волчанская (направление движение из г. Шебекино), прямой участок дороги в северо-восточной части городской агломерации. Съемка осуществлялась со стороны выезда п. Разумное (рисунок 13, е).

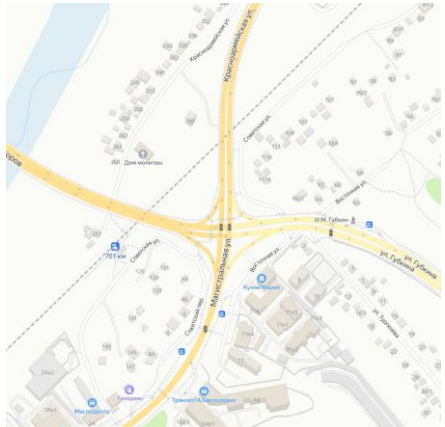
а)



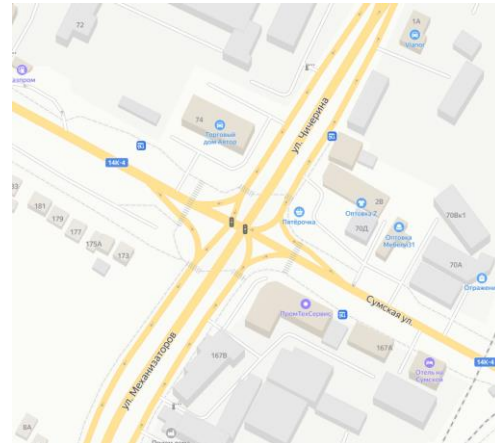
б)



в)



г)



д)

е)

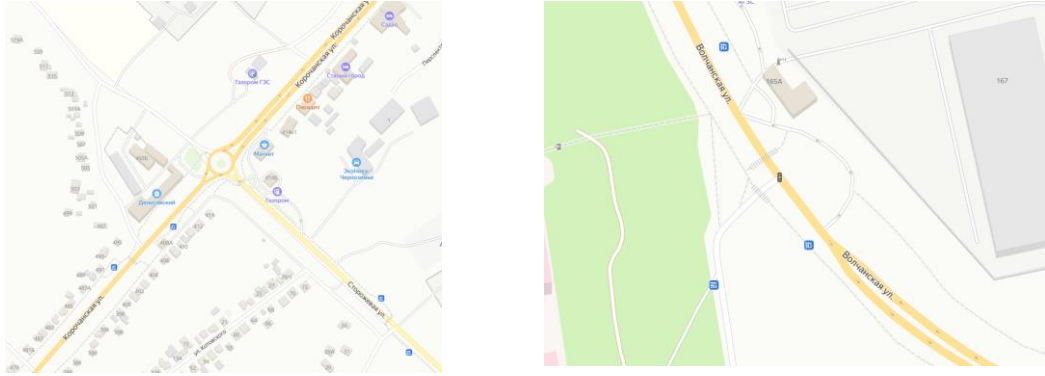


Рисунок 13 – Спутниковый снимок исследуемых въездных участков в г. Белгород:

- а) прямой участок пр. Б-Хмельницкого – Белгородская объездная дорога;
- б) регулируемое Х-образное пересечение пр. Ватутина – ул. Щорса;
- в) регулируемое Х-образное пересечение ул. Магистральная - ул. Красноармейская;
- г) регулируемое Х-образное пересечение ул. Сумская - ул. Чичерина -;
- д) кольцевое пересечение ул. Корочанская – ул. Сторожевая;
- е) прямой участок ул. Волчанская

Исследования проводились в утренние часы «пик» с 7:30 до 9:00 в промежуток высокой мобильности населения, связанной с трудовой деятельностью. В таблице 7 представлен анализ, отражающий процентное соотношение различных моделей легковых транспортных средств составляющих городской ТП в период исследования по всем точкам наблюдения (узлам).

Таблица 7 – Статистический анализ состава ТП в зависимости от марки ЛА

№ п/п	Марка ЛА	Модель ЛА	Кол-во, %	Процентная диаграмма ЛА в ТП
1	Lada	Granta	11	
		Priora	5	
		Vesta	6	
		Kalina	6	
2	KIA	Rio	5	
		Ceed	2	
		Spectra	2	
		Rav 4	2	
3	Toyota	Camry	4	
		Land Cruiser	3	
		Polo	6	
4	Volkswagen	Jetta	4	
		Passat	3	
		Logan	17	
5	Renault	Laguna	3	
		Focus	7	
6	Ford	Mondeo	2	

7	Haval	Jolion	4	
8	Другие		9	
№ п/п	Марка ЛА	Модель ЛА	Кол-во, %	Процентная диаграмма ЛА в ТП
1	Lada	Granta	8	
		Priora	5	
		Vesta	9	
2	УАЗ	Patriot	4	
3	KIA	Rio	10	
		Ceed	2	
		Stinger	1	
4	Subaru	Impreza	3	
		Outback	2	
5	Gelly	Emgrand	3	
6	Toyota	Rav 4	2	
		Camry	5	
		Corolla	3	
7	Daewoo	Nexia	9	
		Matiz	5	
8	Renault	Logan	10	
		Duster	2	
9	Mazda	CX-3	3	
		CX-5	4	
10	Другие		11	
№ п/п	Марка ЛА	Модель ЛА	Кол-во, %	Процентная диаграмма ЛА в ТП
1	Lada	Granta	9	
		BA3 2110	5	
		Vesta	6	
2	УАЗ	Patriot	5	
3	KIA	Rio	10	
		Optima	6	
		Stinger	3	
3	Haval	Jolion	6	
		F7	2	
4	Toyota	Camry	7	
		Crown	1	
		Corolla	5	
5	Hyundai	Creta	5	
		Solaris	3	
6	Renault	Logan	12	
		Laguna	3	
7	Gelly	Tugella	1	
		Emgrand	3	
8	Другие		7	
№ п/п	Марка ЛА	Модель ЛА	Кол-во, %	Процентная диаграмма ЛА в ТП
1	Lada	Priora	6	
		Granta	11	
		BA3 2114	5	
		BA3 2110	4	
2	KIA	Rio	10	
		Ceed	6	
3	Hyundai	Creta	7	
		Sonata	3	
4	Haval	H9	2	
		Jolion	3	
		F7	1	

5	Toyota	Camry	7																							
		Land Cruiser	2																							
6	Lifan	X60	1																							
7	Chevrolet	Niva	4																							
8	Renault	Logan	12																							
		Kaptur	3																							
9	Audi	A3	1																							
10	Mazda	CX-5	2																							
11	Другие		10																							
№ п/п	Марка ЛА	Модель ЛА	Кол-во, %		Процентная диаграмма ЛА в ТП																					
1	Lada	BA3 2109	4		<p>Процентная диаграмма ЛА в ТП</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Марка/Модель</th> <th>Процент</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Renault Logan</td><td>39%</td></tr> <tr><td>Lada Vesta</td><td>15%</td></tr> <tr><td>Kia Rio</td><td>14%</td></tr> <tr><td>Toyota Camry</td><td>7%</td></tr> <tr><td>Volkswagen Golf</td><td>7%</td></tr> <tr><td>Другие</td><td>9%</td></tr> <tr><td>Nissan Qashqai</td><td>2%</td></tr> <tr><td>Chevrolet Lacetti</td><td>3%</td></tr> <tr><td>BMW X5</td><td>4%</td></tr> </tbody> </table>	Марка/Модель	Процент	Renault Logan	39%	Lada Vesta	15%	Kia Rio	14%	Toyota Camry	7%	Volkswagen Golf	7%	Другие	9%	Nissan Qashqai	2%	Chevrolet Lacetti	3%	BMW X5	4%	
		Марка/Модель	Процент																							
		Renault Logan	39%																							
Lada Vesta	15%																									
Kia Rio	14%																									
Toyota Camry	7%																									
Volkswagen Golf	7%																									
Другие	9%																									
Nissan Qashqai	2%																									
Chevrolet Lacetti	3%																									
BMW X5	4%																									
	Priora	7																								
	Vesta	10																								
2	УАЗ	Patriot	7																							
3	KIA	Rio	9																							
4		K5	2																							
6	BMW	X5	3																							
7	Nissan	Qashqai	1																							
		Skyline	1																							
8	Toyota	Rav 4	2																							
		Camry	4																							
9	Daewoo	Matiz	2																							
10	Chevrolet	Lacetti	2																							
11	Renault	Logan	24																							
		Arkana	4																							
12	Volkswagen	Golf	4																							
		Touareg	3																							
13	Другие		9																							
№ п/п	Марка ЛА	Модель ЛА	Кол-во, %	Процентная диаграмма ЛА в ТП																						
1	Lada	Granta	15	<p>Процентная диаграмма ЛА в ТП</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Марка/Модель</th> <th>Процент</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lada Granta</td><td>27%</td></tr> <tr><td>Kia Rio</td><td>17%</td></tr> <tr><td>Volkswagen Polo</td><td>12%</td></tr> <tr><td>Hyundai Solaris</td><td>10%</td></tr> <tr><td>Другие</td><td>8%</td></tr> <tr><td>Mazda CX-5</td><td>7%</td></tr> <tr><td>Mitsubishi Lancer</td><td>7%</td></tr> <tr><td>Toyota Camry</td><td>6%</td></tr> <tr><td>Mercedes-Benz GLS3</td><td>2%</td></tr> <tr><td>Opel Astra GTC</td><td>4%</td></tr> </tbody> </table>	Марка/Модель	Процент	Lada Granta	27%	Kia Rio	17%	Volkswagen Polo	12%	Hyundai Solaris	10%	Другие	8%	Mazda CX-5	7%	Mitsubishi Lancer	7%	Toyota Camry	6%	Mercedes-Benz GLS3	2%	Opel Astra GTC	4%
		Марка/Модель	Процент																							
		Lada Granta	27%																							
		Kia Rio	17%																							
		Volkswagen Polo	12%																							
Hyundai Solaris	10%																									
Другие	8%																									
Mazda CX-5	7%																									
Mitsubishi Lancer	7%																									
Toyota Camry	6%																									
Mercedes-Benz GLS3	2%																									
Opel Astra GTC	4%																									
	Vesta	4																								
	Largus	6																								
	Niva	2																								
	Travel																									
2	KIA	Rio	9																							
		Optima	4																							
		K5	2																							
3	Toyota	Corolla	4																							
		Camry	6																							
4	Volkswagen	Polo	7																							
		Passat	4																							
		Touareg	2																							
5	Opel	Astra GTC	2																							
6	Mitsubishi	L200	2																							
		Lancer	4																							
7	Hyundai	Solaris	6																							
		Sonata	2																							
8	Mercedes-Benz	GLS	2																							
9	Mazda	CX-5	4																							
10	Renault	Logan	6																							
		Sandero	2																							
11	Другие		8																							

Средняя интенсивность транспортного потока, въезжающего в город, составила около 15 000 авт/ч (рисунок 14). Продолжительный мониторинг въездного транспортного потока позволил установить его неравномерность по часам суток (рисунок 14, 15) и месяцам (рисунок 16) что позволило определить годовой коэффициент неравномерности $k_{н\text{ год}} = 0,31$ (таблица 8).

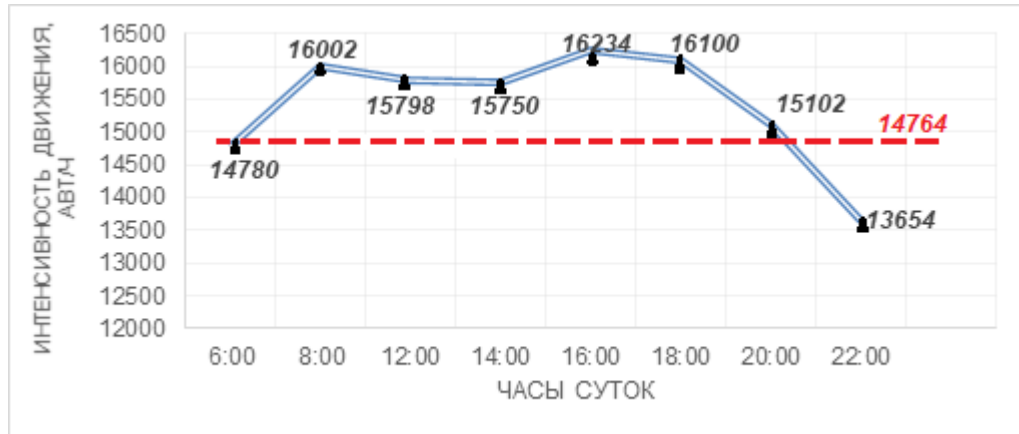


Рисунок 14 – Неравномерность транспортного потока на городской магистральной улице в течении суток (09.09.2022г. пятница)



Рисунок 15 – Неравномерность транспортного потока на городской магистральной улице в течении недели с 05.09.2022г. по 11.09.2022г.

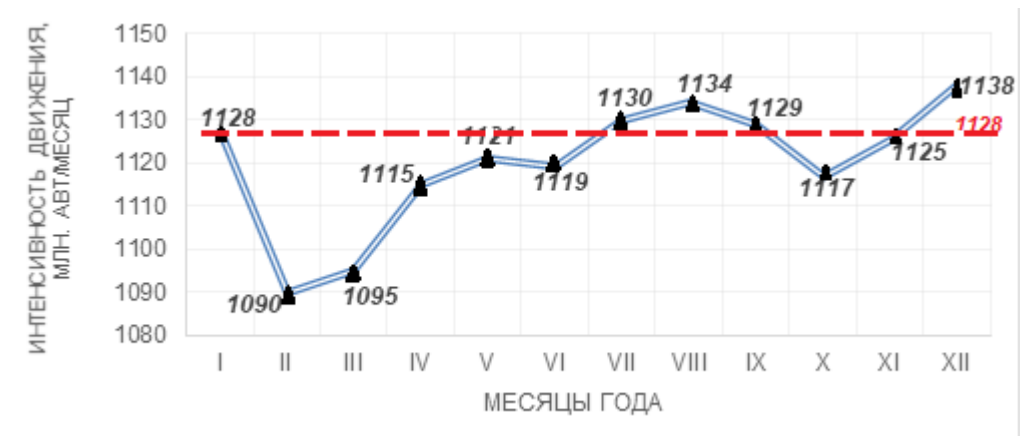


Рисунок 16 – Неравномерность транспортного потока на городской магистральной улице в течении месяцев года (январь-декабрь 2022г.)

Определение сезонных коэффициентов неравномерности транспортного потока ($K_{n\ i1...4}$) выполнено на основании формулы 14:

$$K_{n\ i1...4} = \frac{\bar{N}_{\text{прив}}^i}{\bar{N}_{\text{прив}}^{\text{год}}} \quad (14)$$

где $\bar{N}_{\text{прив}}^i$ – средняя интенсивность движения за определенный квартал (месяц) в соответствии с коэффициентами приведения различных типов ТС к легковому автомобилю (ед/час); $\bar{N}_{\text{прив}}^{\text{год}}$ – средняя интенсивность движения за год в соответствии с коэффициентами приведения различных типов ТС к легковому автомобилю (ед/час).

На основании полученных сезонных коэффициентов неравномерности транспортного потока определен годовой коэффициент неравномерности $k_{n\ \text{год}} = 0,31$ (таблица 8).

Таблица 8 – Коэффициент неравномерности транспортного потока $K_{n\ i}$ по сезонам для магистральной улицы пр-т Б. Хмельницкого в г. Белгород

Год	$K_{n\ \text{сут}}$	$K_{n\ \text{год}}$	$K_{n\ i}$			
			$K_{n\ 1}$ (I квартал)	$K_{n\ 2}$ (II квартал)	$K_{n\ 3}$ (III квартал)	$K_{n\ 4}$ (IV квартал)
2022	0,25	0,31	0,29	0,31	0,32	0,31

В рамках решения второй задачи исследования выполнен анализ разнородности состава транспортного потока, который показал, что более 90 % транспортных средств в потоке составляют легковые автотранспортные средства различных марок и моделей (рисунок 17).

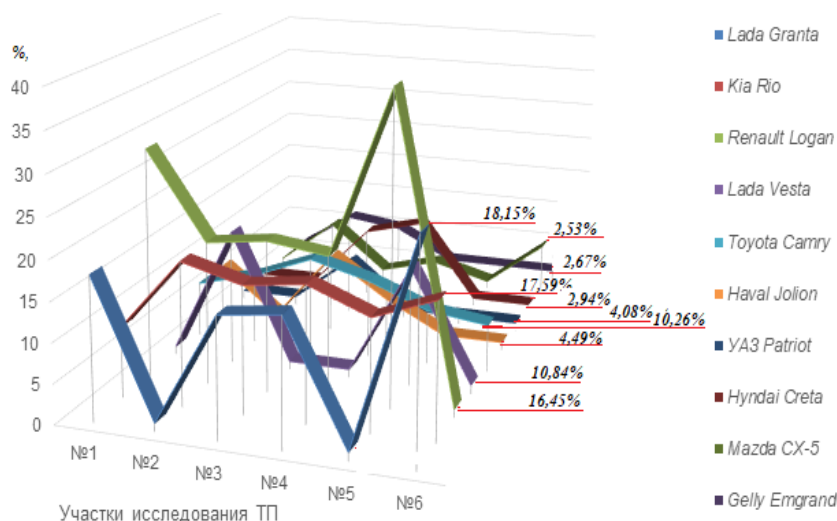


Рисунок 17 – Результаты исследования разнородности состава легковых автомобилей в транспортных потоках Белгородской области

Оценка разнородности состава легковых автомобилей для Белгородской области, позволила установить, что наиболее часто встречающиеся в городском транспортном потоке, являются: Lada Granta (18,15%), Kia Rio (17,59 %), Renault Logan (16,45 %), Lada Vesta (10,84 %), Toyota Camry (10,26 %), Haval Jolion (4,49%), YA3 Patriot (4,08%), Hyundai Creta (2,94%), Gelly Emgrand (2,67%), Mazda CX-5 (2,53%), другие 10%.

На основании полученных результатов определено, что между статистическими данными и результатами натурных исследований существует корреляционная связь, определяемая значением 0,87–0,92.

Проведенный анализ подтверждает разнородность ТП, представленного различными марками легковых автотранспортных средств, которые имеют отличительные друг от друга как технические (габаритные размеры), так и динамические (мощностные) характеристики. Так, например, на следующем этапе исследования определены колебания геометрических размеров (длина и ширина кузова) вышеупомянутых марок ЛА на рисунке 18.

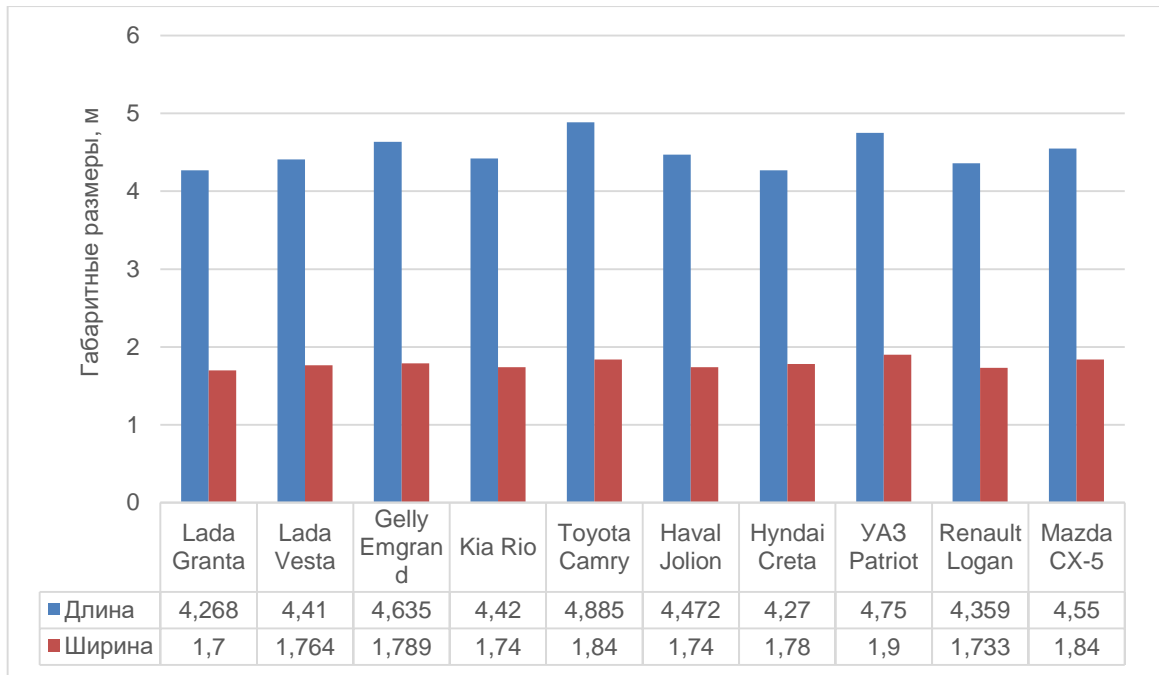


Рисунок 18 – Варьирование габаритных размеров кузова ЛА

В результате полного анализа технических характеристик легковых транспортных средств установлена разница показателей основных геометрических параметров: габаритные размеры варьируются по длине ТС в пределах 3595-4909 мм, ширине 1595-1989 мм, радиус поворота – 4,55-6,4 м [52]. В то время как для определения расчетного автомобиля, закрепленного в нормативной документации, использовались отечественные автомобили имевшие изменения технических характеристик, в частности габаритных размеров по длине кузова ТС в пределах 4055-6000 мм, ширине кузова 1540-1960 мм. Итак, необходимо более подробное изучение изменения не только технических, но и динамических характеристик с целью уточнения показателей расчетного автомобиля с учетом параметров современных ЛА.

2.3 Динамическая характеристика марок ЛА в ТП г. Белгород

Динамическая характеристика автомобиля представляет собой зависимость динамического фактора по тяге от скорости движения на разных передачах, на основании которой становится возможен расчет максимально возможного ускорения автомобиля, находящегося в движении при заданных дорожных

условиях [543-55]. Структура нахождения динамической характеристики автомобиля представлена в виде алгоритма расчета динамических показателей автотранспортных средств на рисунке 19.

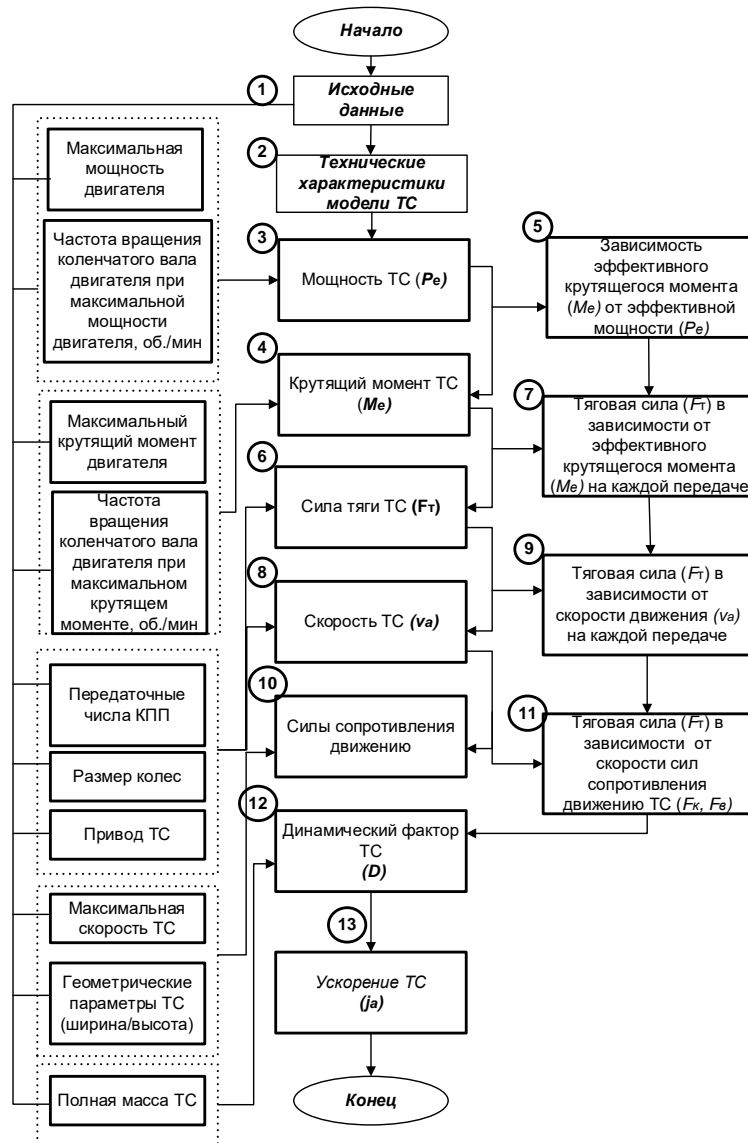


Рисунок 19 – Алгоритм расчета динамических показателей автотранспортных средств (1-13 последовательность определения показателей)

Полученные результаты в ходе исследования разнородности состава легковых автомобилей (рисунок 17), с использованием технических справочников и паспортов транспортных средств (таблица 9), позволили установить основные технические характеристики определенных моделей легковых автомобилей что позволило выполнить расчет динамических показателей.

Таблица 9 - Технические характеристики популярных ТС в ТП городской агломерации г. Белгород [56]

№ п/п	Марка ТС	Модель ТС	Длина x ширина x высота, мм	Полная масса, кг	Максимальный крутящий момент двигателя (M_{max}), Н·м	Частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальном крутящем моменте (n_M), об./мин	Максимальная мощность двигателя (P_{max}), Вт	Частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности (n_P), об./мин.	Частота вращения коленчатого вала ДВС (n_{min}), об./мин	Частота вращения коленчатого вала ДВС (n_{max}), об./мин	Передаточные числа КПП	Размер колес	Максимальная скорость, км/ч	Привод
1	Lada	Granta	4268x1700x1500	1560	148	4200	78 000	5800	1000	6380	I-3,636 II-1,950 III-1,357 IV-0,941 V-0,784 Г.п.-3,500	185/60/R14	172	4x2
2	Lada	Vesta	4410x1764x1497	1670	148	4200	78 000	5800	1000	6380	I-3,636 II-1,950 III-1,357 IV-0,941 V-0,784 VI-3,500 Г.п.-3,938	185/65/R15	175	4x2
3	Geely	Emgrand	4635x1789x1470	1855	162	4250	93 000	6200	1000	6820	I-3,182 II-1,895 III-1,25 IV-0,909 V- 0,78 Г.п.-4,308	215/55 R/16	180	4x2

Продолжение таблицы 9

4	Kia	Rio	4420x1740x 1470	1580	151	4850	90 000	6300	1000	6930	I-3,769 II-2,045 III-1,370 IV-1,036 V-0,839 VI-0,703 Г.п.-4,267	195/55/ R16	193	4x2
5	Toyota	Camry	4885x1840x 1455	2005	210	5200	131 000	6600	1000	7260	I-3,538 II-2,045 III-1,333 IV-0,972 V-0,731 Г.п.-3,944	215/55/ R17	205	4x2
6	Haval	Jolion	4472x1841x 1574	1740	210	4400	105 000	6000	1000	6600	I-3,917 II-2,211 III-1,423 IV-0,971 V-0,757 VI-0,659 Г.п.-3,941	215/60/ R17	185	4x4
7	Hyundai	Creta	4270x1780x 1630	1795	151	4850	92 000	6400	1000	7040	I-3,769 II-2,045 III-1,286 IV-0,971 V-0,839 VI-0,727 Г.п.-4,563	205/65/ R16	169	4x4
8	YAZ	Patriot	4750x1900x 1910	2650	217	3900	99 000	4600	1000	5060	I-4,155 II-2,265 III-1,428 IV-1,00 V-0,880 Г.п.-4,110	225/75/ R16	150	4x4

Продолжение таблицы 9

9	Renault	Logan	4359x1733x 1517	1545	134	2800	61 000	5000	1000	5500	I-3,727 II-2,048 III-1,393 IV-1,029 V-0,795 Г.п.-4,214	185/65/ R15	163	4x2
10	Mazda	CX-5	4550x1840x 1675	1980	210	4000	110 000	6000	1000	6600	I-3,7 II-1,947 III-1,3 IV-1,029 V-0,837 VI-0,68 Г.п.-4,388	225/65/ R17	199	4x4

В соответствии с разработанным алгоритмом расчета динамических показателей автотранспортных средств (рисунок 19), и использованием формул (15) – (20), были определены динамические показатели для определенных моделей легковых автомобилей (рисунок 17), в частности выполнено:

- определение мощности (P_e):

$$P_e = P_{\max} \cdot \left(\frac{n}{n_p} \cdot a + b \cdot \left(\frac{n}{n_p} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n}{n_p} \right)^3 \right), \quad (15)$$

где P_{\max} - максимальная мощность двигателя, Вт; n_p - частота вращения коленчатого вала двигателя, соответствующая максимальной мощности двигателя, об/мин; n - частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин; a , b , c – коэффициенты, зависящие от типа и конструкции двигателя, определяемые расчетным путем.

- определение крутящего момента (M_e):

$$M_e = \frac{30 \cdot P_e}{\pi \cdot n}, \quad (16)$$

где P_e - эффективная мощность двигателя, Вт; n - частота вращения, соответствующая максимальному крутящему моменту двигателя, об/мин.

- определение силы тяги (F_T):

$$F_T = \frac{M_T}{r} = \frac{M_e \cdot i_{тр} \cdot \eta}{r}, \quad (17)$$

где M_e - крутящий момент, кН·м; r – радиус колеса исследуемого ТС, м; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии; η – коэффициент полезного действия трансмиссии.

- определение скорости (v_a):

$$v_a = \frac{3,6 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{30 \cdot i_{тр}} = 0,377 \cdot \frac{n \cdot r}{i_{тр}}, \quad (18)$$

где n - частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин; r – радиус колеса исследуемого ТС, м; $i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии.

- определение динамического фактора (D):

$$D = \frac{F_{св}}{m \cdot g}, \quad (19)$$

где $F_{св}$ – свободная тяговая сила, Н; где m – масса автомобиля, кг; g – ускорение свободного падения м/с².

- определение ускорения (j_a):

$$j_a = \frac{D - \psi}{\delta_{вр}} \cdot g, \quad (20)$$

где D – динамический фактор; $\delta_{вр}$ – коэффициент учёта вращающихся масс (принимается равным 1,05), ψ - коэффициент сопротивления дороги; g – ускорение свободного падения, м/с².

В рамках исследования определены динамические характеристики для ЛА, преимущественно преобладающих в ТП городской агломерации г. Белгород. Процесс поэтапного технического расчета выполнен на примере одного из исследуемых отечественных автомобилей - Lada Granta, а технические расчеты остальных исследуемых легковых транспортных средств для удобства вынесены в *приложение В*.

Подробный технический расчет по определению динамических характеристик отечественного автомобиля модели Lada Granta:

1. Определение мощности P_e

На основании максимального крутящего момента двигателя (M_{max}), Н·м автомобиля Lada Granta – соответствующей частоту вращения коленчатого вала двигателя (n_M), об./мин.; максимальной мощности двигателя (P_{max}), Вт - соответствующей ей частоты вращения коленчатого вала двигателя (n_P), об./мин (таблица 10) следует убедиться в том, что полученное значение n_{max} является истинным [55-58].

Таблица 10 - Технические характеристики автомобиля Lada Granta [56]

№ п/п	Марка ТС	Максимальный крутящий момент двигателя (M_{max}), Н·м	Частота вращения коленчатого вала двигателя (n_M), об./мин	Максимальная мощность двигателя (P_{max}), Вт	Частота вращения коленчатого вала двигателя (n_P), об./мин.	Частота вращения коленчатого вала ДВС (n_{min}), об./мин	Частота вращения коленчатого вала ДВС (n_{max}), об./мин
1	Lada Granta	148	4200	78 000	5800	1000	6380

Кривую мощности принято аппроксимировать следующим эмпирическим выражением, известным как формула С.Р. Лейдермана: [57, 58]:

$$P_e = P_{max} \cdot \left(\frac{n}{n_P} \cdot a + b \cdot \left(\frac{n}{n_P} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n}{n_P} \right)^3 \right), \quad (21)$$

Так как исследуемый автомобиль имеет бензиновый двигатель, то эмпирические коэффициенты С.Р. Лейдермана a , b , c определяются по формулам (22)-(25):

$$c = 0,5/(1 - k_n) = 1,8125, \quad (22)$$

$$b = 2 \cdot c - 1 = 2,625, \quad (23)$$

$$a = 2 - c = 0,1875, \quad (24)$$

$$k_n = n_M/n_P = 0,724138 \quad (25)$$

После решения уравнения (14) полученный результат P_e сравнивается со значением P_{max} . Так как $P_e < P_{max}$, то ранее полученное значение n_{max} является истинным.

Интервал изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС:

$$\Delta = (n_{max} - n_{min})/14 = 398,5714, \quad (26)$$

Для каждого значения частоты вращения коленчатого вала ДВС на всем интервале изменений (от n_{min} до n_{max}) определяется соответствующее значение мощности по формуле (21), где в числителях вместо n подставляется отдельное значение частоты. А именно, $n_1 = n_{min}$; $n_2 = n_1 + \Delta$; $n_3 = n_2 + \Delta$; $n_4 = n_3 + \Delta$; ...; $n_{15} = n_{14} + \Delta$, а соответствующее значение мощности (27):

$$\begin{aligned} P_{e1} &= P_{max} \cdot \left(\frac{n_1}{n_P} \cdot a + b \cdot \left(\frac{n_1}{n_P} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_1}{n_P} \right)^3 \right); \\ P_{e2} &= P_{max} \cdot \left(\frac{n_2}{n_P} \cdot a + b \cdot \left(\frac{n_2}{n_P} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_2}{n_P} \right)^3 \right); \\ &\dots \\ P_{e15} &= P_{max} \cdot \left(\frac{n_{15}}{n_P} \cdot a + b \cdot \left(\frac{n_{15}}{n_P} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_{15}}{n_P} \right)^3 \right) \end{aligned} \quad (27)$$

С целью автоматизации процесса расчета мощности (P_e) на выполнение данной процедуры было получено свидетельство о программе ЭВМ [59].

2. Определение крутящего момента M_e .

Для каждого значения частоты вращения коленчатого вала ДВС на всём интервале изменений рассчитывается эффективный крутящий момент по формуле 28 [60-65]:

$$M_e = \frac{30 \cdot P_e}{\pi \cdot n}, \quad (28)$$

Для каждого n и P_e определяем соответствующее значение M_e . Полученные значения представлены в табличной (таблица 11) и графической формах (рисунок 20).

Таблица 11 – Эффективность крутящего момента двигателя Lada Granta

№ n/n	Число оборотов, n , об./мин.	Эффективная мощность двигателя, P_e , кВт	Эффективный крутящий момент двигателя, M_e , кН·м
1	1000,00	7,88	0,075
2	1384,29	13,23	0,091
3	1768,57	19,49	0,105
4	2152,86	26,41	0,117
5	2537,14	33,74	0,127
6	2921,43	41,25	0,135
7	3305,71	48,67	0,141
8	3690,00	55,77	0,144
9	4074,29	62,30	0,146
10	4458,57	68,01	0,146
11	4842,86	72,66	0,143
12	5227,14	76,00	0,139
13	5611,43	77,77	0,132
14	5995,71	77,74	0,124
15	6380,00	75,66	0,113

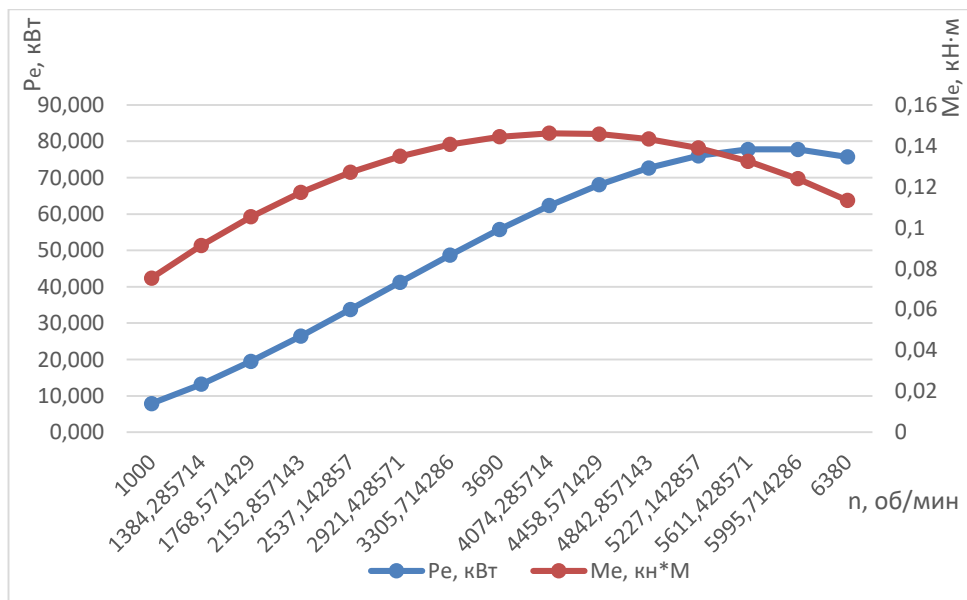


Рисунок 20 - Эффективность крутящего момента двигателя Lada Granta

С целью автоматизации процесса расчета крутящего момента двигателя (M_e) на выполнение данной процедуры было получено свидетельство о программе ЭВМ [66].

3. Определение силы тяги F_T .

Определение силы тяги при движении на каждой передаче (29): [67-68]:

$$F_T = \frac{M_T}{r} = \frac{M_e \cdot i_{\text{тр}} \cdot \eta}{r}, \quad (29)$$

где r – радиус колеса исследуемого ТС, м $i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии.

По маркировке шины определяем радиус колеса исследуемого ТС Lada Granta: 185/60R14 (ширина профиля шины, $B=185$ мм; отношение высоты профиля шины к её ширине, $H/B=68\%$; посадочный диаметр шины, $d=14$ дюймов).

Таким образом, радиус колеса можно вычислить по формуле 30:

$$r = \frac{2 \cdot 0,7 \cdot B + 25,4 \cdot d}{2} = 0,31 \quad (30)$$

Из паспортных данных автомобиля определены значения передаточного числа КПП для каждой передачи переднего хода ($i_I=3,636$, $i_{II}=1,952$, $i_{III}=1,357$, $i_{IV}=0,941$, $i_V=0,784$ и т.д.) и главной передачи ($i_{г.п.}=3,9444$). Определены передаточное число трансмиссии при движении исследуемого автомобиля на каждой передаче переднего хода:

$$i_{\text{тр}} = i_{\text{кпп}} \cdot i_{\text{гп}}, \quad (31)$$

на первой передаче: $i_{\text{тр}1} = 3,636 \cdot 3,944 = 14,329$,

на второй передаче: $i_{\text{тр}2} = 1,952 \cdot 3,944 = 7,699$,

на третьей передаче: $i_{\text{тр}3} = 1,357 \cdot 3,944 = 5,352$,

на четвертой передаче: $i_{\text{тр}4} = 0,941 \cdot 3,944 = 3,711$,

на пятой передаче: $i_{\text{тр}5} = 0,784 \cdot 3,944 = 3,092$.

Определение силы тяги при движении на каждой передаче отражены в таблице 12:

Таблица 12 – Тяговая сила (F_T) в зависимости от эффективного крутящегося момента (M_e) на каждой передаче

№ n/n	Эффективный крутящий момент двигателя, M_e , кН·м	Тяговая сила автомобиля, F_m , кН				
		I передача	II передача	III передача	IV передача	V передача
1	0,075	2,84	1,52	1,06	0,73	0,61
2	0,091	3,44	1,85	1,28	0,89	0,74
3	0,105	3,97	2,13	1,48	1,03	0,86
4	0,117	4,42	2,37	1,65	1,14	0,95
5	0,127	4,79	2,57	1,79	1,24	1,03
6	0,135	5,08	2,73	1,90	1,32	1,10
7	0,141	5,30	2,84	1,98	1,37	1,14
8	0,144	5,44	2,92	2,03	1,41	1,17
9	0,146	5,51	2,95	2,05	1,42	1,19
10	0,146	5,49	2,95	2,05	1,42	1,18
11	0,143	5,40	2,90	2,02	1,40	1,16
12	0,139	5,23	2,81	1,95	1,35	1,13
13	0,132	4,99	2,68	1,86	1,29	1,08
14	0,124	4,67	2,50	1,74	1,21	1,01
15	0,113	4,27	2,29	1,59	1,11	0,92

С целью автоматизации процесса расчета тяговой силы (F_T) на выполнение данной процедуры было получено свидетельство о программе ЭВМ [69].

4. Определение скорости движения ТС на разных передачах.

Скорость движения автомобиля на каждой передаче (км/ч) определяется по формуле 32 [70-73]:


$$v_a = \frac{3,6 \cdot \pi \cdot n \cdot r}{30 \cdot i_{тр}} = 0,377 \cdot \frac{n \cdot r}{i_{тр}}, \quad (32)$$


Определяя скорость движения для каждой передачи число оборотов n изменяется. Скорость движения автомобиля Lada Granta на разных передачах представлена в таблице 13.

Таблица 13 - Тяговая сила (F_m) в зависимости от скорости движения (v_a) на каждой передаче

№ n/n	Тяговая сила автомобиля, F_m , кН				
	I передача	II передача	III передача	IV передача	V передача
1	2,84	1,52	1,06	0,73	0,61

2	3,44	1,85	1,28	0,89	0,74
3	3,97	2,13	1,48	1,03	0,86
4	4,42	2,37	1,65	1,14	0,95
5	4,79	2,57	1,79	1,24	1,03
6	5,08	2,73	1,90	1,32	1,10
7	5,30	2,84	1,98	1,37	1,14
8	5,44	2,92	2,03	1,41	1,17
9	5,51	2,95	2,05	1,42	1,19
10	5,49	2,95	2,05	1,42	1,18
11	5,40	2,90	2,02	1,40	1,16
12	5,23	2,81	1,95	1,35	1,13
13	4,99	2,68	1,86	1,29	1,08
14	4,67	2,50	1,74	1,21	1,01
15	4,27	2,29	1,59	1,11	0,92
№ n/n	Скорость движения, v_a, км/ч				
1	9,10	16,97	24,39	35,18	42,22
2	12,60	23,50	33,77	48,69	58,44
3	16,10	30,02	43,14	62,21	74,67
4	19,60	36,54	52,51	75,73	90,89
5	23,10	43,07	61,89	89,25	107,12
6	26,60	49,59	71,26	102,76	123,34
7	30,09	56,11	80,63	116,28	139,57
8	33,59	62,64	90,01	129,80	155,79
9	37,09	69,16	99,38	143,32	172,02
10	40,59	75,68	108,76	156,83	188,24
11	44,09	82,21	118,13	170,35	204,47
12	47,59	88,73	127,50	183,87	220,69
13	51,08	95,25	136,88	197,39	236,92
14	54,58	101,78	146,25	210,91	253,14
15	58,08	108,30	155,62	224,42	269,36

 - недопустимая скорость движения в населенных пунктах, км/ч ($62,64 < v_a \leq 170,35$)

 - недопустимая скорость движения, так как максимальная скорость ТС $v_a=182$ км/ч. [72] ($183,87 < v_a \leq 269,36$)

На основании расчетных данных получены графики зависимости тяговой силы от скорости движения автомобиля (рисунок 21).

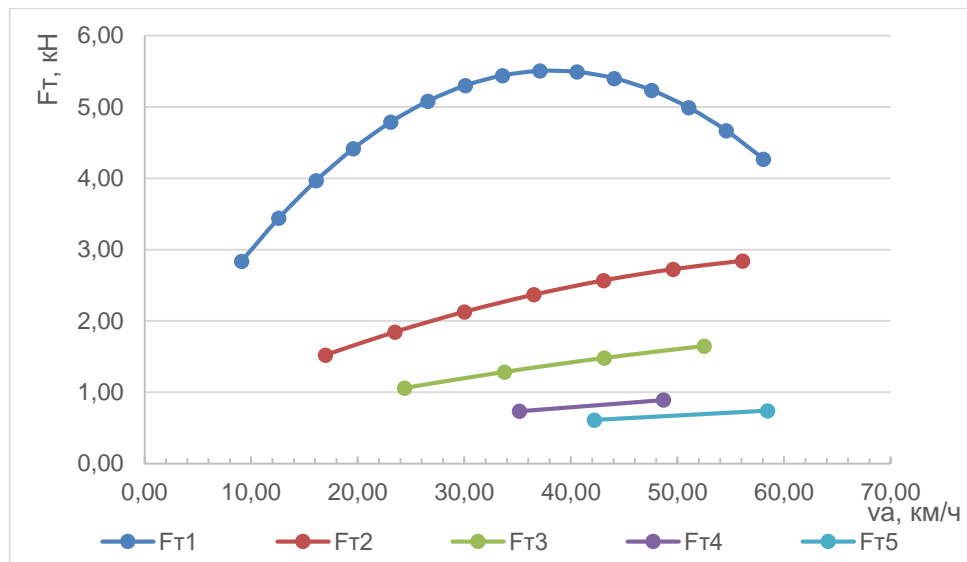


Рисунок 21 - Тяговый баланс автомобиля Lada Granta

5. Определение сил сопротивления движению.

В процессе движения автомобиля на него действуют различные виды сил (сопротивление качению шины по дороге F_k , сопротивление движению на подъем F_n , сопротивления воздуха $F_в$, сила инерции F_u). Поэтому необходима корректировка ранее выполненного расчета тягового баланса (таблица 13, рисунок 21) с учетом сил сопротивления [74,75].

Для определения сил сопротивления качению F_k выбирается тип покрытия (дороги), от которого будет зависеть значение коэффициента сопротивления качению колеса. На исследуемом пересечении асфальтобетонное покрытие в удовлетворительном состоянии ($f_0 = 0,018$) при учете скорости автотранспортного средства до 80 км/ч, при скорости движения свыше 80 км/ч, значение f_0 определяется по формуле 33:

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v_a^2}{20000}\right), \quad (33)$$

В соответствии с п. 10.2 ПДД [70,71] движение ТС в населенных пунктах разрешено со скоростью не более 60 км/ч, а в жилых зонах и дворовых территориях со скоростью не более 20 км/ч. В связи с этим технический расчет динамических характеристик, например параметра ускорения автомобиля j_a при скорости $v_a > 60$ км/ч в условиях городского движения является не рациональным.

Для последующего определения ускорения автомобиля j_a определим силу сопротивления качению F_k и силу сопротивления воздуха F_B по формулам:

$$F_k = m \cdot g \cdot f, \quad (34)$$

где m – масса автомобиля, кг g – ускорение свободного падения.

$$F_B = K_B \cdot S_B \cdot v^2, \quad (35)$$

где K_B - коэффициент обтекаемости в зависимости от типа кузова ТС, S_B - площадь лобовой поверхности, м², v – скорость движения ТС, км/ч.

Для определения силы сопротивления воздуха F_B необходимо учесть геометрические параметры исследуемого автомобиля (Lada Granta – легковой автомобиль с закрытым типом кузова имеющий коэффициент обтекаемости $K_B = 0,20 - 0,35$, шириной 1700 мм и высотой 1500 мм. При расчете стоит учесть площадь лобовой поверхности автомобиля:

$$S_B = 0,78 \cdot B_a \cdot H_a, \quad (36)$$

где B_a – ширина ТС, м, H_a – высота ТС, м.

Получив значения силы сопротивления воздуха F_B , для определения непосредственно ускорения движения автомобиля j_a определено суммарное значение сил сопротивления движению автомобиля на исследуемом участке (таблица 14).

Таблица 14 – Силы сопротивления движению в зависимости от скорости движения ТС

Сила сопротивления	Скорость движения автомобиля v_a , км/ч					
	90	110	130	150	170	184
F_k , кН	0,39	0,44	0,51	0,58	0,67	0,77
F_B , кН	0,37	0,56	0,78	1,04	1,33	1,66
$F_{\text{сум}}$, кН	0,76	1	1,29	1,62	2	2,43

Силы сопротивления движению F_B и F_k оказывают значительное влияние при более высоких скоростях автомобиля, а именно при $v_a \geq 90$ км/ч. Так как данное исследование проводится в условиях городской агломерации тяговый баланс

автомобиля Lada Granta с учетом сил сопротивления движению остается прежним (рисунок 18).

6. Определение динамического фактора

Динамический фактор автомобиля определяется по формуле 37 [75,76]:

$$D = \frac{F_{св}}{m \cdot g}, \quad (37)$$

где $F_{св}$ – свободная тяговая сила, Н.

Расчёт ведётся для каждой передачи последовательно, перебираются значения силы тяги F_m и силы сопротивления воздуха F_e . Полученные значения динамического фактора D для каждой передачи представлены в таблице 15, рисунок 22.

Таблица 15 – Динамический фактор Lada Granta

№ n/n	Динамический фактор, D , кН				
	I передача	II передача	III передача	IV передача	V передача
1	0,185	0,099	0,067	0,044	0,035
2	0,225	0,119	0,081	0,051	0,038
3	0,259	0,136	0,091	0,055	0,039
4	0,288	0,151	0,100	0,057	0,037
5	0,312	0,162	0,105	0,057	0,033
6	0,330	0,171	0,109	0,054	0,026
7	0,344	0,176	0,110	0,049	0,016
8	0,353	0,179	0,108	0,042	0,004
9	0,356	0,179	0,105	0,031	-
10	0,354	0,175	0,098	0,019	-
11	0,347	0,169	0,090	0,004	-
12	0,336	0,160	0,079	-	-
13	0,319	0,148	0,065	-	-
14	0,296	0,133	0,049	-	-
15	0,269	0,114	0,031	-	-

- динамический фактор D при скорости движения $v_a > 60$ км/ч.

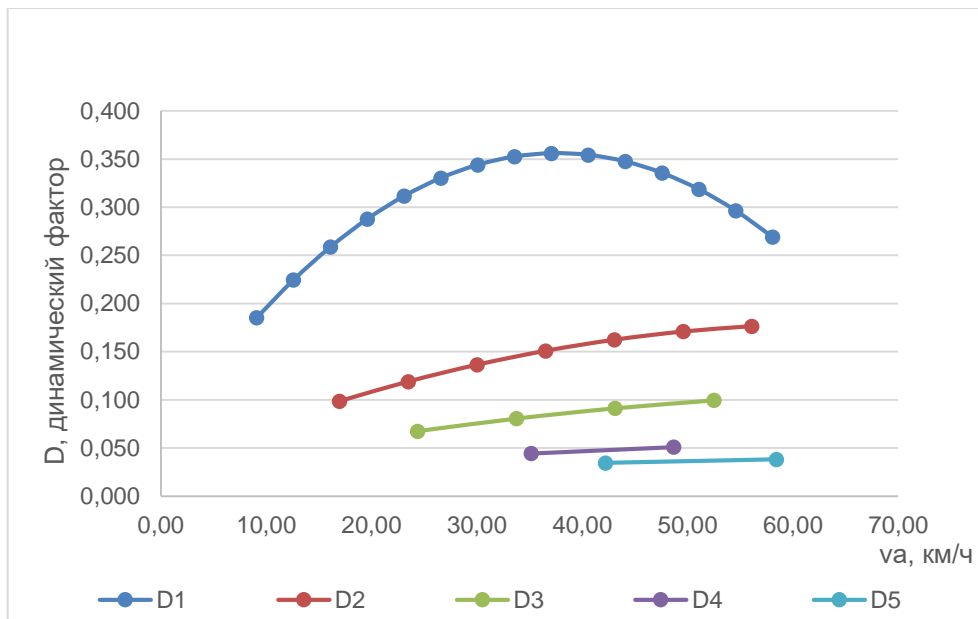


Рисунок 22 - Динамический фактор Lada Granta

С целью автоматизации процесса расчета динамического фактора (D) на выполнение данной процедуры было получено свидетельство о программе ЭВМ [77].

7. Определение ускорения автомобиля

Нахождение динамической характеристики – изменения ускорения j_a определяется по формуле [78-84]:

$$j_a = \frac{D - \psi}{\delta_{вр}} \cdot g, \quad (38)$$

где $\delta_{вр}$ – коэффициент учёта вращающихся масс (принимается равным 1,05), ψ – коэффициент сопротивления дороги ($\psi = f$, т.к. на исследуемом пересечении отсутствует движение на подъем).

Технический расчет производится для легковых транспортных средств в условиях городского движения, на основании п. 10.2 ПДД РФ, максимальная скорость движения которых не превышает 60 км/ч, полученные значения изменения ускорения (j_a) в зависимости от скорости движения $v_a \leq 60$ км/ч на каждой передаче представлены в таблице 16, рисунок 23.

Таблица 16 – Изменение ускорения (j_a) Lada Granta

№ п/п	Динамический фактор, Д	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, v_a , км/ч	Ускорение автомобиля, j_a , м/с ²
<i>I передача</i>				
1	0,185	0,018	9,10	0,965
2	0,225	0,018	12,60	1,190
3	0,259	0,018	16,10	1,387
4	0,288	0,018	19,60	1,554
5	0,312	0,018	23,10	1,692
6	0,330	0,018	26,60	1,800
7	0,344	0,018	30,09	1,878
8	0,353	0,018	33,59	1,928
9	0,356	0,018	37,09	1,947
10	0,354	0,018	40,59	1,937
11	0,347	0,018	44,09	1,898
12	0,336	0,018	47,59	1,830
13	0,319	0,018	51,08	1,731
14	0,296	0,018	54,58	1,604
15	0,269	0,018	58,08	1,447
<i>II передача</i>				
1	0,099	0,018	16,97	0,643
2	0,119	0,018	23,50	0,805
3	0,136	0,018	30,02	0,944
4	0,151	0,018	36,54	1,059
5	0,162	0,018	43,07	1,150
6	0,171	0,018	49,59	1,218
7	0,176	0,018	56,11	1,262
<i>III передача</i>				
1	0,067	0,018	24,39	0,428
2	0,081	0,018	33,77	0,542
3	0,091	0,018	43,14	0,634
4	0,100	0,018	52,51	0,706
<i>IV передача</i>				
1	0,044	0,018	35,18	0,238
2	0,051	0,018	48,69	0,299
<i>V передача</i>				
1	0,035	0,018	42,22	0,152
2	0,038	0,018	58,44	0,185

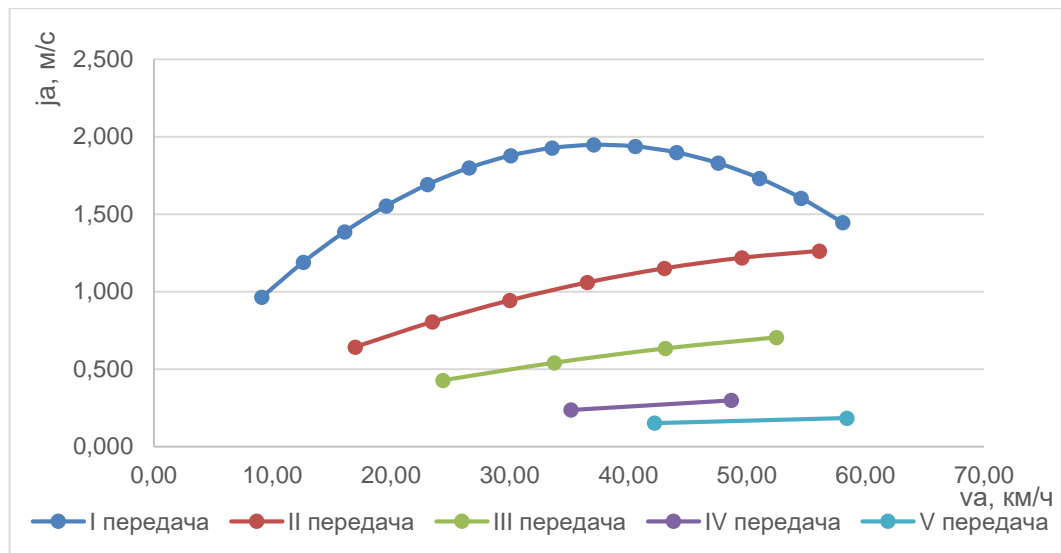


Рисунок 23 – Изменение ускорения (j_a) Lada Granta

С целью автоматизации процесса расчета ускорения автомобиля (j_a) на выполнение данной процедуры было получено свидетельство о программе ЭВМ [85].

В результате выполненного расчета были получены значения средней величины ускорения (таблица 17, рисунок 24) для I, II, III и IV передачи, что обусловлено определенным ограничением скоростного режима в городах в соответствии с определенным объектом исследования.

Таблица 17– Ускорение $j_{ам}$ в зависимости от марки ЛА

№ n/n	Марка ТС	Ср. значение j_a на каждой передаче					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Lada Granta	2,15	1,51	1,18	0,77	0,669	-
2	Lada Vesta	1,98	1,39	1,10	0,72	0,624	-
3	Geely Emgrand	2,18	1,60	1,13	0,95	0,761	-
4	Kia Rio	2,02	1,85	1,28	0,96	0,561	0,391
5	Toyota Camry	2,22	1,70	1,20	0,94	0,75	-
6	Haval Jolion	2,34	1,75	1,14	0,79	0,65	0,556
7	Hyundai Creta	2,18	1,52	0,98	0,72	0,459	0,349
8	УАЗ Patriot	2,16	1,75	1,26	0,94	0,857	-

9	Renault Logan	2,12	1,80	1,11	0,82	0,546	-
10	Mazda CX-5	2,12	1,59	1,08	0,87	0,719	0,578

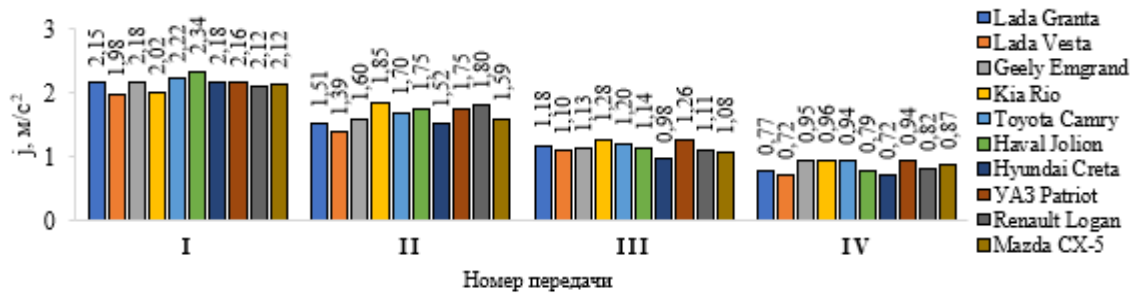


Рисунок 24 – Результаты расчета динамических показателей для определенных моделей легковых автомобилей

Расчет динамических показателей для определенных моделей легковых автомобилей позволил установить разницу между минимальным и максимальным значением ускорения $1,62 \text{ м/с}^2$, что оказывает влияние на процесс движения в городском транспортном потоке и требует постоянного учета и контроля. На основании полученных данных в пользование введено понятие «калиброванный автомобиль» как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели технических и динамических параметров транспортных средств, преобладающей в транспортных потоках. Использование данного показателя позволяет расширить ранее используемый показатель расчетного автомобиля в плане динамических параметров, применительно к процессу управления городскими транспортными потоками при использовании светофорного регулирования.

Для расчета динамического показателя калиброванного автомобиля предложено использовать формулы (39) и (40). Определение среднего ускорения j_{am} для отдельно рассматриваемого ЛА в зависимости от его марки определим по формуле 39 [86-88]:

$$j_{am} = \begin{cases} \bar{j}_{ai_1} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \\ \bar{j}_{ai_2} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \\ \dots \\ \bar{j}_{ai_4} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n}, \end{cases} \quad (39)$$

где m – марка ТС; n – множество значений; i_1-i_4 – передаточное число КПП, 1-4 номер передачи; $j_{a1}-j_{an}$ – ускорение ТС в зависимости от передаточного числа КПП, м/с^2 ($v_a \leq 60$ км/ч); j_{am} – среднее ускорение для определенной марки ТС, м/с^2 .

Определив значения параметров в зависимости от марки ЛА (j_{am}) становится возможным расчет значения динамической характеристики – показателя ускорения для расчетного «калиброванного» автомобиля (j_{ak}), формула 40 (таблица 18).

Динамический показатель калиброванного автомобиля применительно к обследуемой территории г. Белгород определяется по формуле:

$$j_{ak} = \frac{\sum j_{am}}{n} = \frac{\begin{cases} \bar{j}_{ai_1} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \\ \bar{j}_{ai_2} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \\ \dots \\ \bar{j}_{ai_4} = \frac{j_{a1} + \dots + j_{an}}{n} \end{cases}}{n}, \quad (40)$$

где m – марка ТС; n – множество значений; i_1-i_4 – передаточное число КПП, 1-4 номер передачи; $j_{a1}-j_{an}$ – ускорение ТС в зависимости от передаточного числа КПП, м/с^2 ($v_a \leq 60$ км/ч); j_{am} – среднее ускорение для определенной марки ТС, м/с^2 ; $\bar{j}_{ai_1} - \bar{j}_{ai_4}$ – среднее ускорение ТС в зависимости от передаточного числа КПП, м/с^2 ; среднее ускорение в зависимости от передаточного числа КПП, м/с^2

Технический расчет по определению динамической характеристики для «калиброванного автомобиля» с учетом ЛА с автоматической коробкой передач (АКПП) является аналогичным расчету ЛА с механической коробкой передач (МКПП) имея одинаковый принцип работы, но отличающийся временем переключения передач (t_n), которое необходимо учитывать.

Время переключения передач (t_n) зависит от квалификации водителя, конструкции коробки передач и типа двигателя. У дизелей число оборотов коленчатого вала до оборотов холостого хода уменьшается медленнее, чем у карбюраторных двигателей, в связи с наличием больших инерционных масс. Для водителей высшей квалификации характерны значения t_n в сек, приведенные в таблице 18 [89].

Таблица 18 – Значения времени переключения передач в зависимости от КП

<i>Коробка передач (КП)</i>	<i>Карбюраторный двигатель</i>	<i>Дизель</i>
<i>Ступенчатая:</i>		
без синхронизатора	1,3-1,5	4-5
с синхронизатором	0,2-0,5	1,0-1,5
<i>Полуавтоматическая</i>	0,05-0,1	0,5-0,8

В городских транспортных потоках г. Белгород на основании натуральных исследований и анализа официальной статистики продаж ЛА в ЦФО [47], в частности, статистики продаж в Белгородской области 80% от общего числа ЛА в ТП составляют ЛА с МКПП.

Используя формулы (39) и (40), с учетом полученных в результате исследований данных о разнородности состава легковых автомобилей, установленных технических характеристик и определенных динамических показателей согласно алгоритму расчета (рисунок 19) был рассчитан динамический показатель калиброванного автомобиля, применительно к обследуемой территории административного центра г. Белгорода составивший 1,45 (таблица 19).

Таблица 19 – Динамический показатель калиброванного автомобиля

Наименование ТС	Ускорение на передаче (j_{ai})				Общее ускорение ($j_{ак}$)
	I	II	III	IV	
Калиброванный автомобиль	2,15	1,65	1,15	0,85	1,45

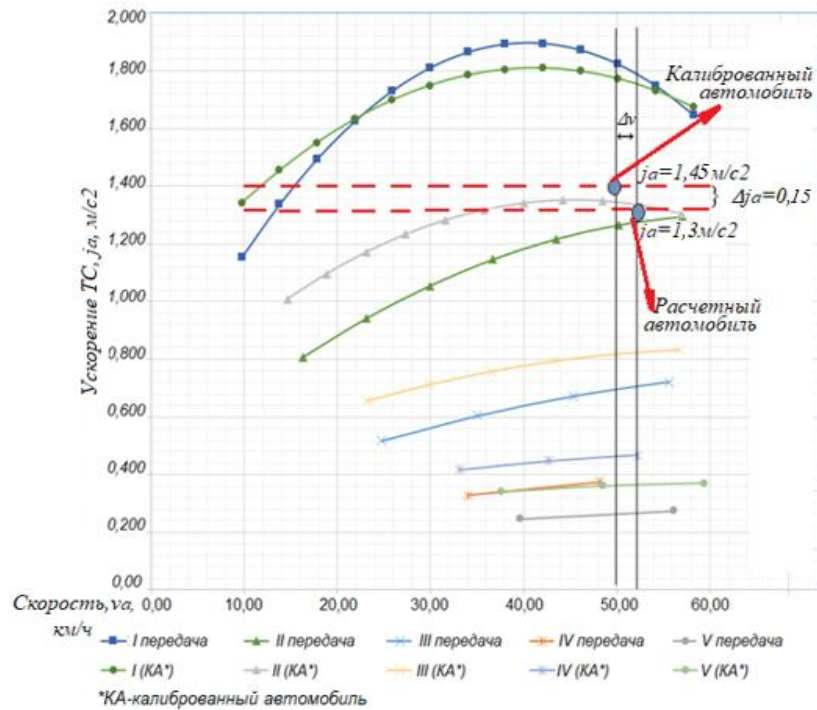


Рисунок 25 – Графическое изображение разницы основного динамического параметра при классическом и современных методах расчета

В ходе сравнительного анализа установлена разница основного динамического параметра в 11,5%, что подтверждает наличие изменений в динамике движения легковых автотранспортных средств, составляющих транспортный поток. В совокупности графическое изображение динамического показателя калиброванного автомобиля (рисунок 25), результатов вычислений (таблица 19) и формулы расчета (39) – (40) представляют математическую модель исследования.

В результате, процесс определения параметров калиброванного автомобиля был автоматизирован путем разработки программно-аппаратного комплекса (ПАК) (рисунок 26), включающего:

разработку и патентование алгоритма расчета тяговой силы транспортных средств (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366370) [59];

- разработку и патентование алгоритма расчета тягового баланса транспортных средств в условиях городского движения (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366371) [66];

разработку и патентование алгоритма расчета динамического фактора транспортных средств (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366372) [69];

разработку и патентование алгоритма расчета мощности и крутящего момента двигателя внутреннего сгорания (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366373) [77];

разработку и патентование алгоритма расчета ускорений автомобиля (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366374) [85].

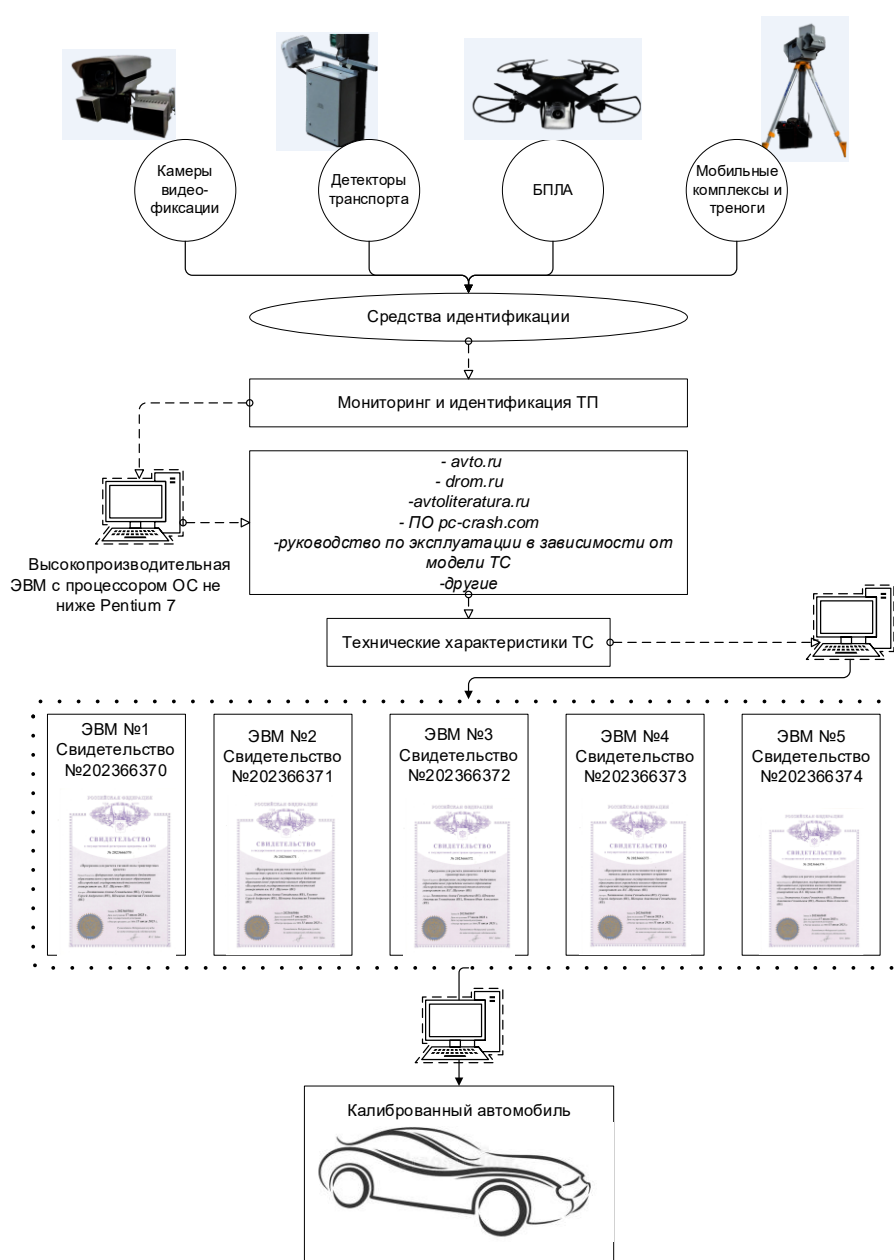


Рисунок 26 – Структурная схема работы программно-аппаратного комплекса (ПАК)

Принцип работы ПАК (рисунок 26) заключается в следующем: на первоначальном этапе при помощи средств фото-видеофиксации таких как: уличные камеры, детекторы транспорта, БПЛА, мобильные комплексы и треноги, проводится сбор информации о составе городского ТП. Вторым этапом при помощи системы распознавания государственных регистрационных знаков ТС (система ГРЗ ТС) является мониторинг, и идентификация ТС, позволяющая на основании идентификации государственных регистрационных знаков автомобилей установить точную марку и модель автотранспортного средства и определить технические и динамические характеристики применительно той или иной модели автомобиля. Заключительным этапом является автоматическое вычисление технической характеристики «калиброванного автомобиля» высокопроизводительной ЭВМ с процессором ОС не ниже Pentium 7 при помощи разработанных программ ЭВМ №1-№5 [59,66,69,77,85].

2.4 Выводы по главе 2

На основании выполненных научно-аналитических исследований, сформулированы следующие основные выводы:

1. В результате исследований по разнородности транспортных потоков установлено ежегодное увеличение числа легковых транспортных средств, о чем свидетельствует официальная база данных Автостат. При оценке уровня насыщенности автомобилями для ЦФО определены наиболее часто продаваемые марки ЛА из числа отечественных такие как: Lada Granta (5,7%), Lada Vesta (4,3%), активно встречаются автомобили зарубежных производителей в среднем ценовом сегменте – Kia Rio (5,3%).

2. Выполнен анализ состава въездных транспортных потоков в городскую агломерацию г. Белгород, входящего в состав ЦФО. Оценка разнородности состава легковых автомобилей для Белгородской области, позволила установить, что наиболее часто встречающиеся в городском транспортном потоке, являются: Lada Granta (18,15%), Kia Rio (17,59 %), Renault Logan (16,45 %), Lada Vesta (10,84 %), Toyota Camry (10,26 %), Naval Jolion (4,49%), УАЗ Patriot (4,08%), Hyundai Creta (2,94%), Gelly Emgrand (2,67%), Mazda CX-5 (2,53%), другие 10%.

3. Установлено, что модернизация моделей легковых автомобилей оказывает влияние на изменение динамических показателей, что требует постоянного учета и контроля. В результате был разработан алгоритм расчета динамических показателей автотранспортных средств, на основании которого определены динамические показатели для исследуемых моделей легковых автомобилей. Расчет динамических показателей для определенных моделей легковых автомобилей позволил установить разницу между минимальным и максимальным значением ускорения $1,62 \text{ м/с}^2$, что оказывает влияние на процесс движения в городском транспортном потоке и требует постоянного учета и контроля.

4. В пользование введено понятие «калиброванный автомобиль» как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели технических и динамических параметров транспортных средств, преобладающей в транспортных потоках. Использование данного показателя позволяет расширить ранее используемый показатель расчетного автомобиля в плане динамических параметров, применительно к процессу управления городскими транспортными потоками при использовании светофорного регулирования.

5. Получена математическая модель расчета динамического показателя калиброванного автомобиля, который применительно к обследуемой территории административного центра г. Белгорода составил 1,45. В ходе сравнительного анализа установлена разница основного динамического параметра в 11,5%, что подтверждает наличие изменений в динамике движения легковых автотранспортных средств, составляющих транспортный поток. В совокупности графическое изображение динамического показателя калиброванного автомобиля, результатов вычислений и формулы расчета показателя калиброванного автомобиля представляют математическую модель исследования.

6. Процесс определения параметров калиброванного автомобиля был автоматизирован путем разработки ПАК для осуществления оперативного управления городскими транспортными потоками.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К УЧЕТУ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

3.1 Формирование алгоритма по расчету управляющих параметров

На основании полученных результатов и выполненных экспериментальных исследований была разработана математическая модель определения пропускной способности регулируемого участка с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля.

Экспериментальные исследования были выполнены в центральной части г. Белгорода, где основной транспортный поток составляют легковые автомобили (>90%), что характерно для большинства городов Российской Федерации, в виду реализации основных мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения, в частности запрета въезда грузовых автомобилей и выделенных полосах движения для общественного транспорта.

Согласно модели расчета пропускной способности регулируемого участка, исследуемая величина связана с временем движения:

$$M_H = \frac{3600}{t_{дв}}, \quad (41)$$

где M_H – пропускная способность регулируемого участка (поток насыщения), ед/ч; $t_{дв}$ – время необходимое автомобилю для проезда стоп-линии, с.

С учетом специфики движения в зоне регулируемого перекрестка $t_{дв}$ определяется как среднее время движения условного автомобиля, необходимое для проезда стоп-линии – $\overline{t_{дв}}$, значение которого составляет 1,95 с:

$$t_{дв} = \overline{t_{дв}} \quad (42)$$

Установленное изменение динамики движения транспортного потока, определенное динамическими параметрами калиброванного автомобиля (рисунок 25), принято учесть в модели расчета пропускной способности через величину Δt , рассчитываемую с использованием формулы:

$$t_{\text{ка}} = \frac{v_{\text{к(ка)}} - v_{\text{н(ка)}}}{3.6 \cdot j_{\text{ак}}}, \quad (43)$$

где $t_{\text{ка}}$ – среднее время движения калиброванного автомобиля, необходимое для проезда стоп-линии, с; $v_{\text{к(ка)}}$ – скорость движения калиброванного автомобиля, соответствующая средней скорости движения в насыщенном состоянии транспортного потока; $v_{\text{н(ка)}}$ – скорость движения калиброванного автомобиля, соответствующая скорости движения в ненасыщенном состоянии транспортного потока; $j_{\text{ак}}$ – величина ускорения, отражающая динамические показатели калиброванного автомобиля, м/с².

В таком случае, модель расчета пропускной способности регулируемого перекрестка с учетом динамических параметров калиброванного автомобиля будет иметь вид:

$$M_{\text{н(ка)}} = \frac{3600}{t_{\text{ка}}}, \quad (44)$$

где $M_{\text{н}}$ – пропускная способность регулируемого участка (поток насыщения) с учетом динамических параметров калиброванного автомобиля, ед/ч; $t_{\text{ка}}$ – среднее время движения калиброванного автомобиля, необходимое для проезда стоп-линии, с.

В результате произведенных расчетов и выполненных экспериментов на регулируемой магистральной улице – пр. Б.Хмельницкого были получены данные по изменению средней скорости движения в насыщенном и ненасыщенном состоянии для расчета показателей скорости калиброванного автомобиля (таблица 20).

Таблица 20 – Средняя скорость движения ТС в ТП при расчете показателя калиброванного автомобиля

№ n/n	Марка ТС	Средняя скорость v_a в зависимости от передаточного числа КПП					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Lada Granta	33,59	36,54	38,45	41,94	50,33	-
2	Lada Vesta	33,16	38,05	40,04	43,67	51,99	-
3	Geely Emgrand	33,99	36,7	40,2	41,13	47,93	-

4	Kia Rio	31,57	36,44	35,83	41,24	43,35	51,38
5	Toyota Camry	34,24	36,27	40,47	44,01	58,63	-
6	Haval Jolion	34	38,05	39,41	43,32	55,56	63,83
7	Hyundai Creta	30,55	35,16	41,49	42,23	41,51	47,9
8	УАЗ Patriot	24,13	35,79	39,97	42,68	48,5	-
9	Renault Logan	24,96	36,44	40,37	41,235	47,59	-
10	Mazda CX-5	32,95	36,25	39,49	43,65	45,99	0,078

Экспериментально установлено, что в ненасыщенном состоянии автомобили движутся в основном на I и II передаче, что соответствует средней скорости движения транспортного потока ≈ 29 км/ч, в насыщенном состоянии, автомобили в основном движутся на III и IV передаче, что соответствует средней скорости движения транспортного потока ≈ 43 км/ч. С использованием динамических параметров расчетного автомобиля были получены аналогичные данные по скорости движения, что отражено в таблице 21.

Таблица 21 – Средняя скорость движения ТС в ТП при расчете показателя расчетного автомобиля

№ n/n	Марка ТС	Средняя скорость v_a в зависимости от передаточного числа КПП			
		I	II	III	IV
1	Москвич 407	23,94	26,41	31,89	37,6
2	Микролитражный М-21 «Волга»	25,59	26,89	31,01	-
3	М-20 «Победа»	24,71	27,32	32,05	-
4	ЗИЛ-110	26,27	29,89	35,52	-

В результате выполненных расчетов в ненасыщенном состоянии автомобили движутся в основном на I и II передаче, что соответствует средней скорости

движения транспортного потока ≈ 26 км/ч, в насыщенном состоянии, автомобили в основном движутся в основном на III передаче, что соответствует средней скорости движения транспортного потока ≈ 40 км/ч.

Таблица 22 – Изменение скоростных показателей движения транспортного потока с учетом динамических параметров расчетного и калиброванного автомобиля

Исследуемый условный автомобиль	средняя скорость движения автомобиля в транспортном потоке в ненасыщенном состоянии (v_n , км/ч)	средняя скорость движения автомобиля в транспортном потоке в насыщенном состоянии, (v_k , км/ч)
Расчетный автомобиль	26,37	39,49
Калиброванный автомобиль	29,56	42,55

Установлено, что в результате определения потока насыщения M_n классическим способом, с учетом динамических параметров расчетного автомобиля степень насыщения потока M_n происходит при движении седьмого автомобиля (рисунок 27), при учете динамических параметров калиброванного автомобиля степень насыщения транспортного потока M_n достигается при движении пятого автомобиля (рисунок 28).

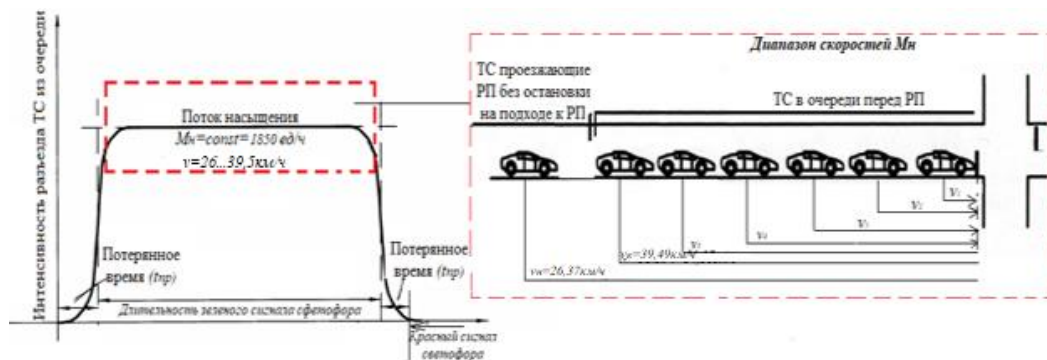


Рисунок 27 – Интерпретация процесса движения с учетом динамических показателей расчетного автомобиля

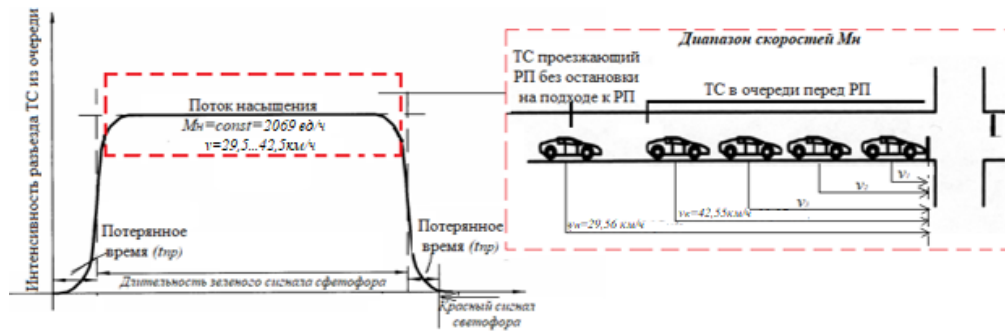


Рисунок 28 – Интерпретация процесса движения с учетом динамических показателей калиброванного автомобиля

В результате математического моделирования процесса движения в зоне регулируемого перекрестка с учетом параметров расчетного автомобиля и применения модели расчета пропускной способности (41) для движения в прямом направлении было определено значение $t_{дв} = 1,95$ с, соответствующее $M_n = 1850$ ед/ч. Аналогичным образом с учетом параметров калиброванного автомобиля и применения модели расчета пропускной способности (44) для движения в прямом направлении были определены значения: $t_{дв} = 1,74$ с и $M_n = 2069$ ед/ч (рисунок 29).

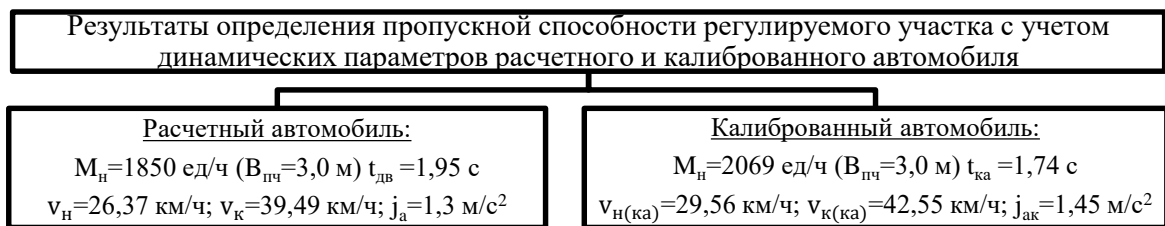


Рисунок 29 – Результаты определения пропускной способности регулируемого участка с учетом динамических параметров расчетного и калиброванного автомобиля

Выполненный сравнительный анализ ранее используемых показателей, позволил установить разницу в значениях пропускной способности в 11,8%, что подтверждает улучшение динамики движения транспортного потока в зоне регулируемого перекрестка. На основании разработанной математической модели определения пропускной способности регулируемого участка с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля был усовершенствован алгоритм расчета управляющих параметров городскими транспортными потоками с учетом характеристик введенного в пользование «калиброванного автомобиля», отражающего динамический показатель легковых автомобилей (рисунок 30).

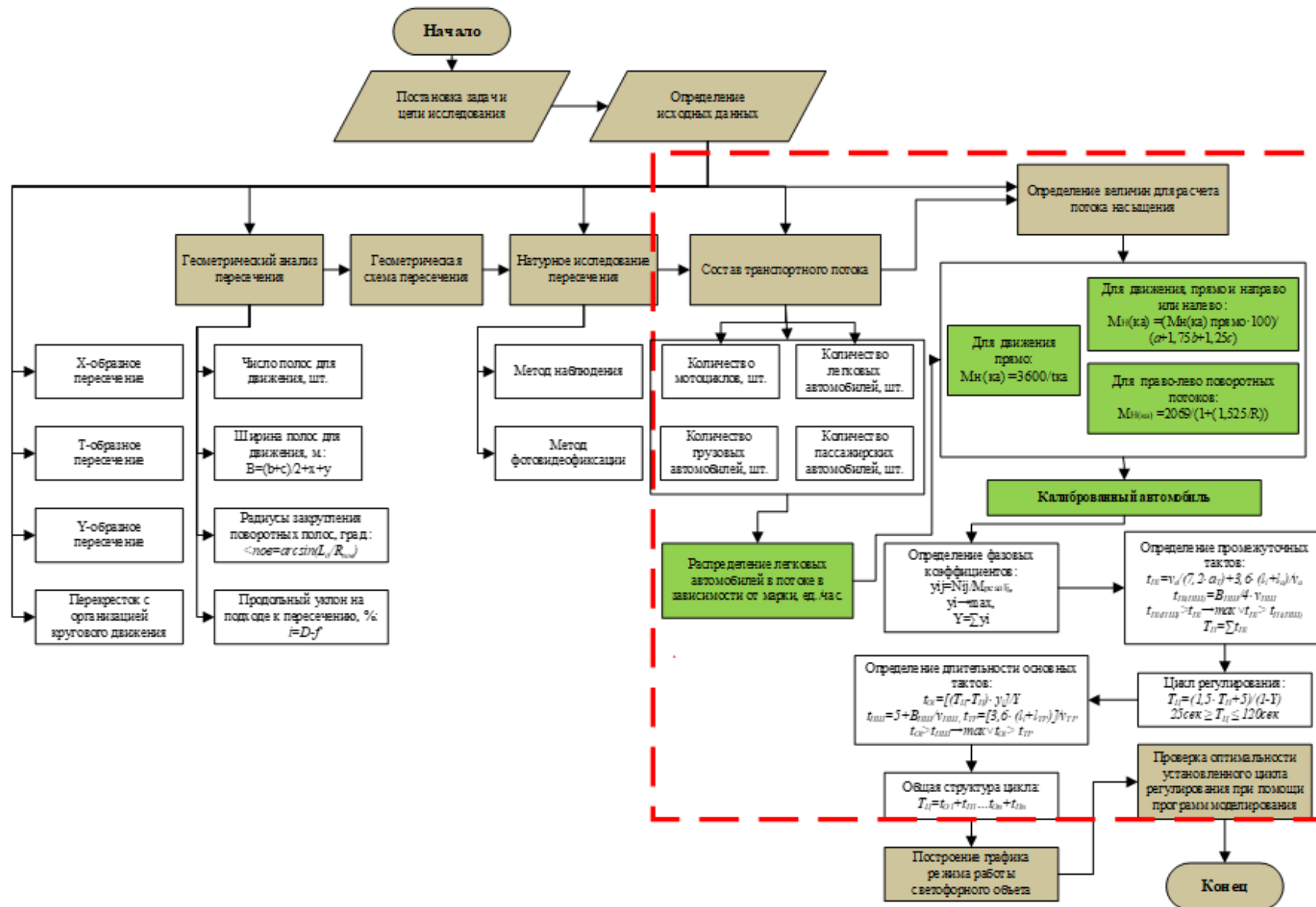


Рисунок 30 – Усовершенствованный алгоритм расчета управляющих параметров городскими транспортными потоками

Начальным этапом сбора исходных данных является установление типа пересечения на основании общепринятой классификации пересечений [93-95]. Определив тип пересечения, выполняется его геометрический анализ при помощи установки необходимых дорожных детекторов, составляется геометрическая схема. При помощи дорожной лаборатории КП-514МП проведены натурные исследования участков исследования (таблица 23).

Таблица 23 - Характеристики дорожной лаборатории ДЛ КП-514МП

<i>Диапазоны показаний</i>	
- продольный уклон, промилле	от – 176 до + 176
- поперечный уклон, промилле	от – 176 до + 176
- коэффициент сцепления	от 0,05 до 0,90
<i>Диапазоны измерений:</i>	
- угол поворота трассы, град.	от – 90 до + 90
- продольный уклон, промилле	от – 105 до + 105
- поперечный уклон, промилле	от – 105 до + 105
- коэффициент сцепления	от 0,05 до 0,90
- прогиб, мм	от 0,10 – 3,0
- пройденный путь, м	от 0 до 106

С учетом исходных данных выполняется построение геометрической схемы пересечений и при помощи методов наблюдения исследуется ТП, в частности способом видеофиксации в течении 20-ти минутного анализа. Всесторонний качественный анализ ТП подразумевает учет интенсивностей различных типов ТС (мотоциклы, пассажирский и грузовой транспорт и др.) учитываемых в соответствии с коэффициентами приведения, которые в последствии суммируются к общему значению ТС в процентном соотношении. Так как ТП города состоят преимущественно из ЛА, выполняется процентное распределение в зависимости от марки ЛА. В случаях устоявшейся городской транспортной системы (отсутствуют дорожные ремонтные работы, не появились новые объекты притяжения) возможно исследование въездных ТП в город с целью определения процентного состава ЛА с учетом марки ТС.

Следующим этап алгоритма при расчете управляющих параметров является определение величин для расчета ПН, а именно, на основании распределения ЛА в

потоке в зависимости от марки ТС, определяются технические и динамические характеристики для «калиброванного автомобиля». На основании полученных параметров калиброванного автомобиля выполняется расчет длительности основных и промежуточных тактов позволяющий определить в дальнейшем цикл светофорного регулирования. Выполняется построение графика режима работы СО и осуществляется его апробация путем создания транспортной модели при помощи программ моделирования.

На данном этапе исследования теоретически обоснована связь между параметрами калиброванного автомобиля и пропускной способностью управляемых участков в городской улично-дорожной сети. В результате проведения экспериментальных исследований на регулируемых участках г. Белгорода было установлено изменение скорости движения и среднее время движения городского транспортного потока при проезде регулируемых перекрестков которое изменилось с 1,95 с до 1,74 с в результате улучшения динамических параметров легковых автомобилей, которые при выполнении расчетов характеризуются показателем калиброванного автомобиля. Полученные результаты позволили разработать математическую модель определения пропускной способности регулируемого участка с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля и на ее основе усовершенствовать алгоритм расчета управляющих параметров.

3.2 Работа светофорного объекта по классической методике

На основании полученных результатов – определения пропускной способности регулируемого участка с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля и усовершенствования алгоритма расчета управляющих параметров городскими транспортными потоками (рисунок 30) были определены значения технических параметров программ координации светофоров на исследуемой магистральной улице – пр. Б.Хмельницкого городской агломерации г. Белгород, в состав которой входит десять регулируемых перекрестков (рисунок 31), наименование и координатное расположение РП

представлено в таблице 24. Данная магистральная улица имеет идеальные условия движения - высокую интенсивность движения и пропускную способность. Поэтому изучение состава транспортного потока и определение потока насыщения являются возможными в полной мере [16].

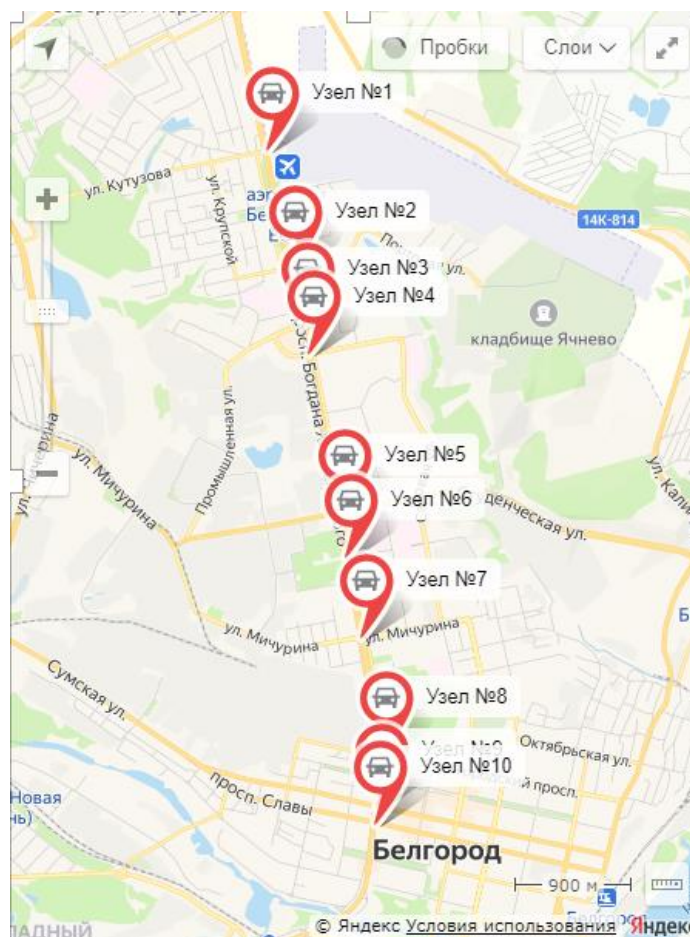


Рисунок 31 – Вид пр. Б.Хмельницкого в режиме «карты» с обозначением перекрестков - узлов

Таблица 24 – Координатное расположение исследуемых перекрестков-узлов

№ n/n	Название пересечения	Координаты	
		широта	долгота
1	ул. Кутузова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №1)	50.646243	36.568032
2	ул. Урожайная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №2)	50.637882	36.570864
3	ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №3)	50.63383	36.57211
4	ул. Железняка – пр. Богдана Хмельницкого (узел №4)	50.631958	36.572892
5	ул. Студенческая – пр. Богдана Хмельницкого (узел №5)	50.620641	36.576212

6	ул. Гагарина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №6)	50.617453	36.577285
7	ул. Мичурина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №7)	50.611746	36.578771
8	пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого (узел №8)	50.603434	36.580842
9	ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого (узел №9)	50.599849	36.580407
10	пр. Славы – пр. Богдана Хмельницкого (узел №10)	50.598695	36.580155

Существующий ПК СР на исследуемых РП по магистральной улице пр-т Б. Хмельницкого в г. Белгород выполнен с учетом методических рекомендаций проектирования СО:

- расчет фазового коэффициента для направления (y_{ij}) выполняется на основании отношения интенсивности движения N_{ij} выраженного в ед./ч к потоку насыщения $M_{n_{ij}}$ в зависимости от фазы регулирования с учетом классификации ЛА выраженного в ед./ч по формуле:

$$y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{n_{ij}}}, \quad (45)$$

Определяем максимальный фазовый коэффициент для каждой фазы СР:

$$y_i \Rightarrow \max \quad (46)$$

Находим суммарный максимальный фазовый коэффициент:

$$Y = \sum_1^n y_i, \quad (47)$$

- следующим этапом является определение промежуточных тактов движения транспортных средств и пешеходов:

для движения транспортных средств промежуточный такт определяется с учетом средней скорости движения ТС на подходе к пересечению (v_a) выраженного в км/ч, среднего замедления ТС a_T (3 – 4 м/с²), расстояния (l_i) в метрах от стоп-линии до ДКТ и длину ТС (l_a):

$$t_{pi} = \frac{v_a}{7,2 \cdot a_T} + \frac{3,6(l_i + l_a)}{v_a}, \quad (48)$$

для движения пешеходов промежуточный такт определяется как отношение ширины проезжей части ($B_{\text{пш}}$) выраженную в м к расчетной скорости движения пешеходов $v_{\text{пш}}=1,3$ м/с:

$$t_{ni \text{ пш}} = \frac{B_{\text{пш}}}{4v_{\text{пш}}}, \quad (49)$$

Учитывается следующая зависимость значений промежуточного такта для движения ТС и пешеходов:

$$t_{ni \text{ (пш)}} > t_{ni} \Rightarrow \max \leftarrow t_{ni} > t_{ni \text{ (пш)}} \quad (50)$$

Сумма промежуточных тактов в фазах регулирования определяет дальнейшие вычисления:

$$T_{\Pi} = \sum_1^n t_{\Pi i}, \quad (51)$$

в частности, выполняется расчет цикла СР по формуле:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5T_{\Pi} + 5}{1 - \gamma}, \quad (52)$$

в свою очередь длительность основных тактов по формуле:

для движения транспортных средств:

$$t_{oi} = \frac{(T_{\text{ц}} - T_n) \cdot \gamma_i}{\gamma}, \quad (53)$$

для движения пешеходов:

$$t_{\text{пш}} = 5 + \frac{B_{\text{пш}}}{v_{\text{пш}}}, \quad (54)$$

В итоге общая структура цикла СР имеет следующий вид:

$$T_{\text{ц}} = t_{o1} + t_{п1} \dots + t_{on} + t_{пn}. \quad (55)$$

Определив длительность цикла СР, строится график режима работы СО. Существующий ПК СР на исследуемых РП по магистральной улице пр-т Б. Хмельницкого имеет следующие планы координации (таблица 25):

Таблица 25 – Суточные карты переключения планов координации на магистральной улице пр-т Б. Хмельницкого в г. Белгород

№ узла РП	Временной интервал включения							
	00.00- 5.00	5.00- 8.00	8.00- 12.00	12.00- 14.00	14.00- 16.00	16.00- 18.00	18.00- 22.00	22.00- 00.00
Узел №1	ПК1*	ПК3*	ПК4*	ПК2*	ПК4	ПК5*	ПК2	ПК3
Узел №2	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №3	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №4	ПК1	ПК3	ПК4	ПК2	ПК4	ПК5	ПК2	ПК3
Узел №5	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №6	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №7	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №8	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №9	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №10	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3

*ПК 1 – $T_{ц} = 74$ с, ПК 2 – $T_{ц} = 84$ с, ПК 3 – $T_{ц} = 82$ с, ПК 4 – $T_{ц} = 90$ с, ПК 5 – $T_{ц} = 110$ с.

Полученные ПК отличаются по длительности друг от друга. Минимальная длительность цикла составляет 74 с, максимальная 110 с (таблица 25). Существующий план координации (таблица 25) получен на основании алгоритма расчета управляющих параметров, содержащий классическую математическую модель величины ПН.

Для оценки эффективности работы существующих ПК выполнена комплексная оценка движения транспорта, а именно определены средняя величина задержки ТС на пересечениях, а также рассмотрен характер движения автомобилей в ТП в часы «пик» посредством веб-сервиса «Яндекс. Пробки».

При помощи программного продукта Aimsun [99] определена средняя величина транспортной задержки на пересечениях (рисунок 32).

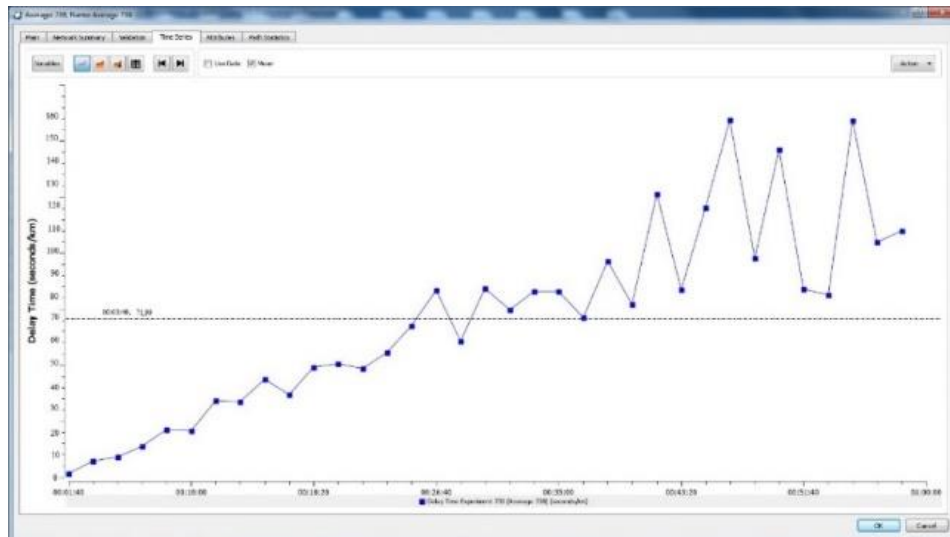


Рисунок 32 – График изменения средней задержки на пересечениях при имитационном моделировании в Aimsun

Рассматривая исследуемые пересечения на магистральной улице пр-т Б. Хмельницкого в пиковый период – вечерний «час» пик в промежуток времени 17:30-18:00 величина транспортной задержки в среднем составляет 87,4 с (рисунок 32).

Найденный пиковый период рассмотрен так же при помощи веб-сервиса «Яндекс. Пробки» который наглядно отражает дорожную ситуацию (рисунок 33).

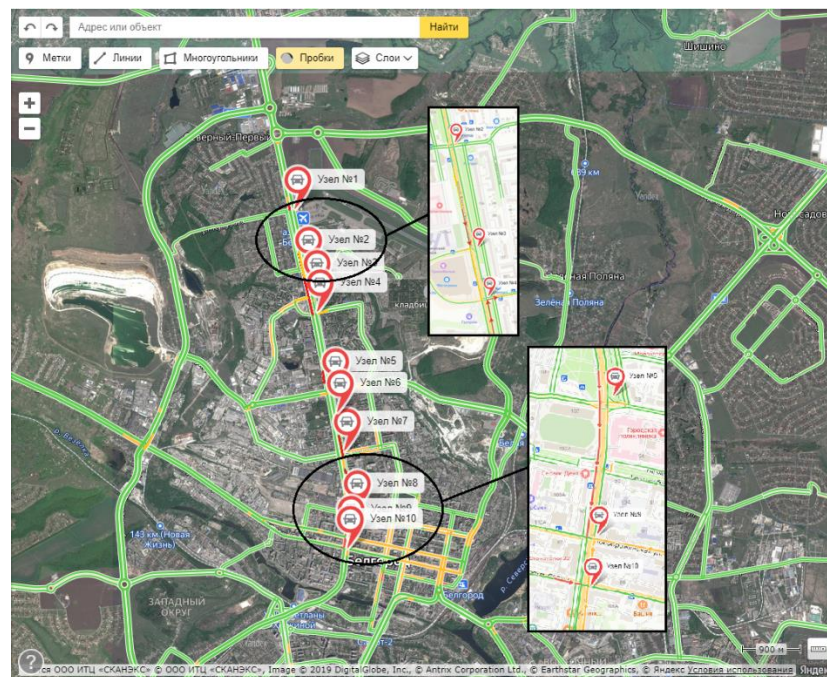


Рисунок 33 – Спутниковый снимок затора в пиковый период (вечерний час «пик» 17:30-18:00 ч) на магистральной улице пр-т Б. Хмельницкого

В рамках проведенных натурных исследований, в результате которых выявлено наиболее интенсивное ДД (будний день недели –пятница, вечерний час «пик» период времени 17:30-18:00) спутниковый снимок затора в пиковый период (рисунок 33) наиболее полно отражает транспортную ситуацию на исследуемой магистральной улице. Так, в частности, на регулируемых пересечениях узел №3 (ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого), узел №4 (ул. Железнякова – пр. Богдана Хмельницкого), узел №8 пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого, узел №9 (ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого), узел №10 (пр. Славы- пр. Богдана Хмельницкого) систематически возникают заторовые ситуации, а длительные транспортные задержки на пересечениях служат свидетельством неэффективности используемого светофорного объекта.

Как мы видим на основании полученных средних задержек (рисунок 32), характеристики пикового периода (рисунок 33) различия планов координации, при существующем режиме работы (таблица 25) привели к неэффективной ОДД на некоторых исследуемых пересечениях, а именно узлах РП №3, 4, 8, 9, 10.

С целью улучшения дорожной ситуации необходимым являются мероприятия по оптимизации существующего режима работы РП.

3.3 Определение режима работы светофорного объекта с использованием разработанной методики

На основании усовершенствованного алгоритма расчета управляющих параметров городскими транспортными потоками (рисунок 30), определена величина ПН, на основании распределения ЛА в ТП в зависимости от марки ТС для исследуемых РП магистральной улицы пр. Б. Хмельницкого (рисунок 34).

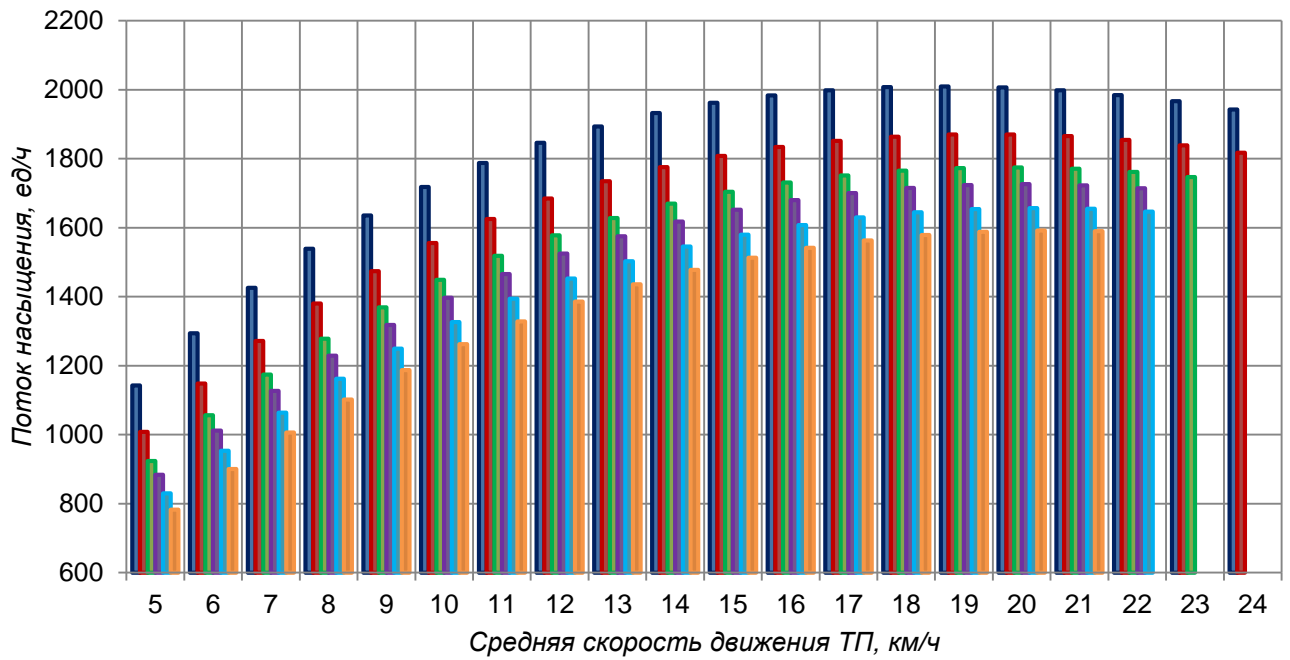


Рисунок 34 – Показатели величины ПН на основании средней скорости ТП

Значения потока насыщения в ТП в зависимости от марки ТС, определена на основании полученных параметров «калиброванного автомобиля» (таблица 26).

Таблица 26 – Значение величины потока насыщения с учетом параметров «калиброванного автомобиля» (КА) и без

<i>Обозначение исследуемого участка</i>	<i>Величина ПН с учетом классификации КА, M_n, ед/ч</i>	<i>Величина ПН без учета классификации КА, M_n, ед/ч</i>	<i>Отклонение %</i>
Узел №1	1760	1632	7,27%
Узел №2	1937	1769	8,67%
Узел №3	1952	1716	12,09%
Узел №4	1787	1643	8,06%
Узел №5	1923	1743	9,36%
Узел №6	1838	1664	9,47%
Узел №7	1690	1605	5,03%
Узел №8	1942	1778	8,44%
Узел №9	1942	1778	8,44%
Узел №10	1974	1721	12,82%

Применяя метод определения ПН с учетом распределения ЛА в ТП в зависимости от марки ТС, полученные средние значения выше на 7-9% по сравнению с величиной ПН, определенной классическим способом без

распределения ЛА по маркам ТС. Данное различие оказывает влияние на определение рациональных управляющих параметров.

Следуя разработанной методике - алгоритму расчета управляющих параметров (рисунок 30), определена длительность циклов СР на РП и получен новый ПК на магистральной улице пр. Б. Хмельницкого городской агломерации г. Белгород (таблица 27).

Таблица 27 – Суточные карты переключения планов координации на магистральной улице пр-т Б. Хмельницкого в г. Белгород

№ узла РП	Временной интервал включения							
	00.00- 5.00	5.00- 8.00	8.00- 12.00	12.00- 14.00	14.00- 16.00	16.00- 18.00	18.00- 22.00	22.00- 00.00
Узел №1	ПК1*	ПК3*	ПК4*	ПК2*	ПК4	ПК5*	ПК2	ПК3
Узел №2	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №3	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №4	ПК1	ПК3	ПК4	ПК2	ПК4	ПК5	ПК2	ПК3
Узел №5	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №6	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №7	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №8	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №9	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3
Узел №10	ПК1	ПК2	ПК5	ПК4	ПК2	ПК4	ПК3	ПК3

*ПК 1 – $T_y = 92c$, ПК 2 – $T_y = 94c$, ПК 3 – $T_y = 88c$, ПК 4 – $T_y = 104c$, ПК 5 – $T_y = 108c$.

Различие результатов величины ПН в сравнении с классической процедурой расчета, а именно с учетом параметров «калиброванного автомобиля», в среднем составляет порядка 11,8 %. Среднее отклонение полученных длительностей циклов СР на РП с учетом динамических параметров КА и без их учета, составило 11%, максимальное отклонение 24,3%, минимальное 7,32%.

Цикл светофорного регулирования, определенный с учетом параметра «калиброванного автомобиля» в зависимости от участка (узла) исследования как увеличивается, так и уменьшается (таблица 28), данное изменение характеризуется величиной отклонения.

Таблица 28 – Результаты расчета технических параметров программ координации – длительностей циклов регулирования

<i>№ n/n</i>	<i>Наименование пересечения</i>	<i>T_ц, сек._сущ.*</i>	<i>T_ц, сек._расч. с КА.**</i>	<i>Отклонение, %</i>
1	ул. Кутузова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №1)	74	92	24,3%
2	ул. Урожайная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №2)	84	94	11,9%
3	ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №3)	82	88	7,32%
4	ул. Железнякова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №4)	90	104	15,55%
5	ул. Студенческая – пр. Богдана Хмельницкого (узел №5)	110	108	-1,82%
6	ул. Гагарина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №6)	82	88	7,32%
7	ул. Мичурина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №7)	84	94	11,9%
8	пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого (узел №8)	90	104	15,55%
9	ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого (узел №9)	84	94	11,9%
10	пр. Славы – пр. Богдана Хмельницкого (узел №10)	110	108	-1,82%

* где $T_{ц}$ – существующая длительность цикла, полученная без учета параметров калиброванного автомобиля, с; $T_{ц(ка)}$ – рассчитанная длительность цикла, с учетом параметров калиброванного автомобиля.

Различие полученных результатов длительностей циклов регулирования в среднем составляет $\approx 11\%$.

С целью определения эффективности предложенных мероприятий выполнен процесс имитационного моделирования при помощи программного продукта Aimsun. По итогу создания имитационной модели получено улучшение основных характеристик ТП в среднем на 9-17% [99-103].

3.4 Моделирование и валидация объекта исследования

Моделирование позволяет оценить и выбрать наиболее оптимальное мероприятие по организации дорожного движения. Создание имитационных

моделей реального объекта облегчает труд проектировщиков, сокращает расходы и время на проектирование реальных транспортных объектов [104, 105].

С целью проверки оптимальности и рациональности получения новых ПК СО необходимым является создание имитационной транспортной модели.

Моделирование транспортных процессов представляет собой создание рабочей модели дорожного движения, соответствующего движению в реальных условиях на автомобильных дорогах. Создание модели улично-дорожной сети (УДС) производится в специальных компьютерных программных обеспечениях таких как: Aimsun, IndorCAD, AutoCAD, Credo и является быстрым и удобным способом оценки эффективности организации дорожного движения. Моделирование помогает оценить и выбрать оптимальное решение для создания транспортной инфраструктуры [104, 105].

Aimsun является одной из популярных компьютерных программ для моделирования транспортных сетей. Он представляет собой полнофункциональный комплекс инструментов анализа транспортных потоков и перевозок, который может использоваться для планирования, детального моделирования и исследования требований и условий деятельности в сфере транспорта. Продукт реализует интегрированную платформу, пригодную для выполнения как статического, так и динамического моделирования [104, 105].

Процедура транспортного имитационного моделирования состоит из трех этапов – подготовка транспортной сети, сценария моделирования –имитации, составление отчетов и обработка результатов [104, 105,106].

Транспортная модель является математической моделью, то есть обладает достаточно высокой точностью, чтобы реализовывать различные задачи, связанные с прогнозами, оптимизацией и имитацией транспортных потоков. Такая модель может использоваться как инструмент поддержки принятия решений и как хранилище статистической информации о моделируемой транспортной системе [104, 105,106].

Любая модель должна соответствовать определенным требованиям таким как: адекватность, точность, универсальность, экономичность. Для того что бы

быть уверенным в достоверности модели реального объекта существует понятие адекватность модели и оценка адекватности. Адекватность модели – это точное совпадение параметров, характеристик и свойств моделируемого объекта. Оценка адекватности – проверка соответствия модели реальной системе. Оценка адекватности является элементом создания модели УДС. Необходимо построить модель с такими параметрами, дорог, автомобилей, средств организации дорожного движения, чтобы обеспечить соответствие фактическим данным [105, 106].

Для подтверждения адекватной работы и точных прогнозируемых результатов модели выполнена проверка адекватности на основании разработанного алгоритма оценки адекватности имитационной транспортной модели (рисунок 35).

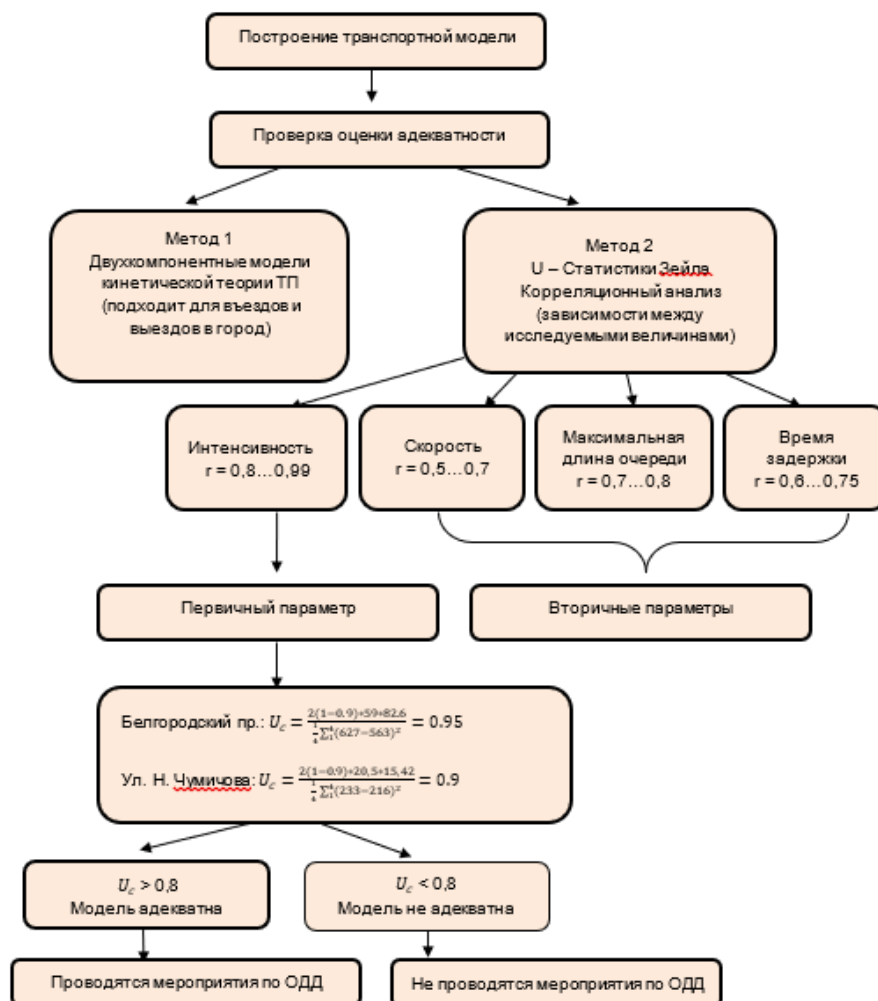


Рисунок 35 – Алгоритм проверки оценки адекватности имитационной транспортной модели

Из разработанного нами алгоритма проверки адекватности (рисунок 35) определено, что для оценки транспортной модели необходимо выполнить несколько этапов: построить модель в программном продукте Aimsun, моделирующем транспортные потоки (рисунок 36). Первым этапом моделирования является построение УДС. После чего второй этап включает в себя введение транспортных и пешеходных потоков, путем внесения в программу данных об интенсивности ТС с учетом типа и числа автомобилей. На третьем этапе выполняется регулирование движения на перекрестке путем ввода светофорного регулирования.

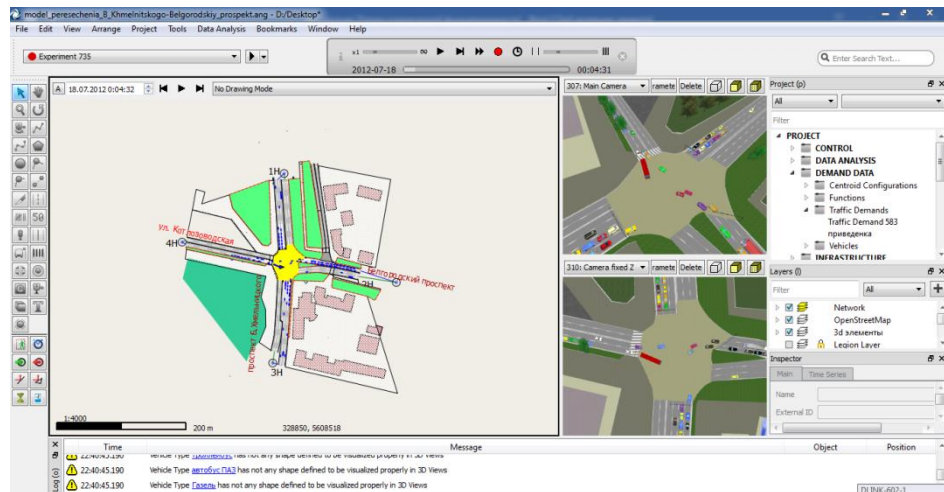


Рисунок 36 – Имитационная модель исследуемого РП
пр-т Б. Хмельницкого– пр-т Белгородский

После создания имитационной транспортной модели необходимо выполнить проверку ее адаптивной работы [106]. Корреляционный анализ выполнен при помощи STATISTIKA (рисунок 37) [107]. Коэффициент оценивает остаточную ошибку, а именно погрешность между параметрами модели и реального объекта. Для определения данного коэффициента необходимо провести сравнительный анализ параметров исследуемого объекта: существующие и моделируемые параметры [108].

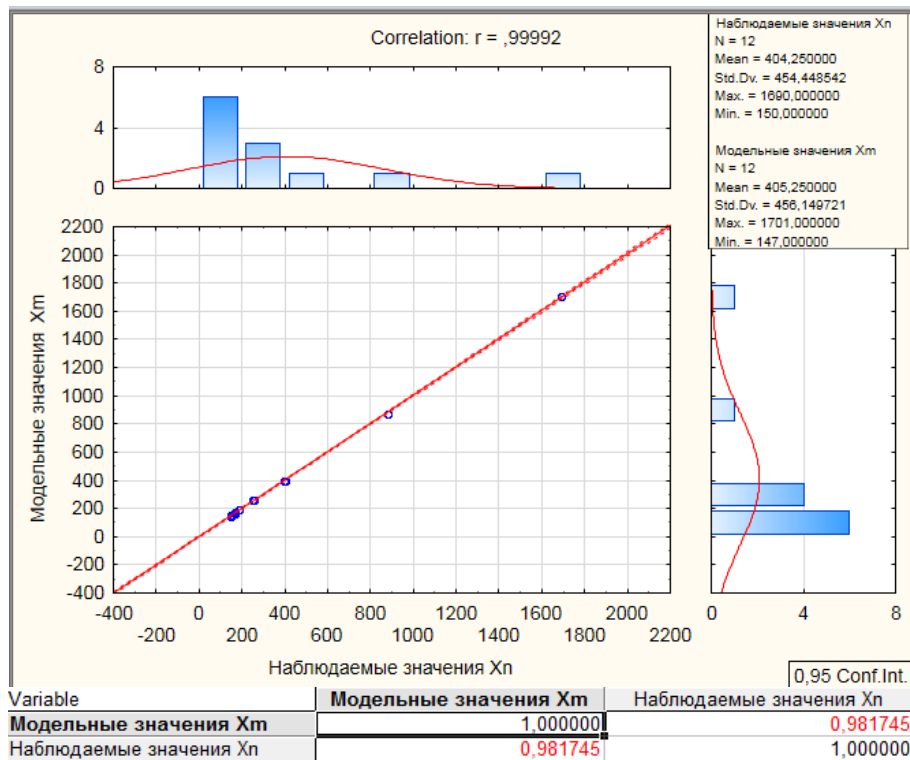


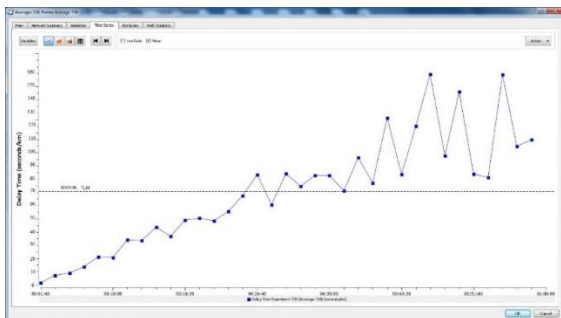
Рисунок 37 - Определение коэффициента корреляции в программном обеспечении STATISTIKA

В результате выполнения корреляционного анализа коэффициент корреляции Пирсона равен $r_{xy}=0,98$. Корреляционная связь прямая, весьма высокая так как $r_{xy}>0,9$, следовательно, построенная транспортная модель является адаптивной в работе [105,106]. Исследуемые РП находятся в городе поэтому для оценки моделируемого пересечения рекомендуется метод №2.

Определив первичный параметр, найдем коэффициент доли ковариации, который оценивает остаточную ошибку. Модель считается адекватной если $U_c > 0,8$. На исследуемых РП по всем направлениям $U_c > 0,8$ что соответствует условию.

Имитационная транспортная модель адекватна в работе, в результате на ней можно проверять эффективность предлагаемых мероприятий по организации и реорганизации дорожного движения [106]. Возможным является выполнение проверки полученного ПК для исследуемых РП (таблица 27). Изменения средней задержки при существующих и расчетном режимах СР наглядно представлены на рисунке 38.

а)



б)

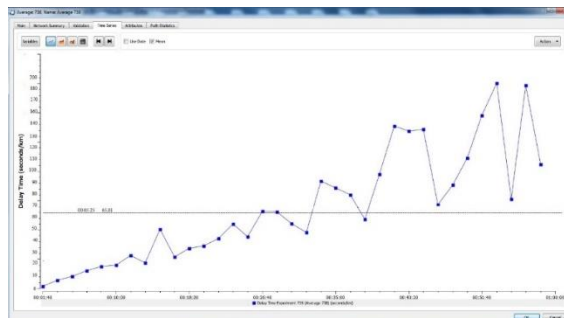


Рисунок 38 - Изменения средней задержки при имитационном моделировании:

а) при существующем ПК РП, б) при расчетном ПК РП

Получив рассчитанные задержки транспортного потока при помощи программного продукта Aimsun, можно сделать следующий вывод: величина транспортной задержки в среднем по РП составила – 87,4с, после оптимизации СР и получения нового ПК – средняя задержка снижается до 65с что составляет 7-9%. Средняя величина отклонения составляет 10%. Новый рассчитанный светофорный цикл улучшает дорожную ситуацию на пересечении, транспортная задержка уменьшается, количество проезжающих автотранспортных средств за один цикл увеличивается.

3.5 Выводы по главе 3

1. Теоретически обоснована связь между параметрами калиброванного автомобиля и пропускной способностью управляемых участков в городской улично-дорожной сети. В результате проведения экспериментальных исследований на регулируемых участках г. Белгорода было установлено изменение скорости движения и среднее время движения городского транспортного потока при проезде регулируемых перекрестков которое изменилось с 1,95 с до 1,74 с в результате улучшения динамических параметров легковых автомобилей, которые при выполнении расчетов характеризуются показателем калиброванного автомобиля. Полученные результаты позволили разработать математическую модель определения пропускной способности регулируемого участка с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля.

2. На основании математической модели определения пропускной способности регулируемого участка с использованием динамических параметров калиброванного автомобиля усовершенствован алгоритм расчета управляющих параметров городскими транспортными потоками с учетом параметров, введенного в пользование «калиброванного автомобиля», отражающего динамические показатели легковых автомобилей, преобладающих в транспортном потоке.

3. Проведена апробация усовершенствованного алгоритма. Для проверки эффективности предложенных решений осуществлен расчет новых управляющих параметров на пересечениях магистральной улицы г. Белгорода – пр. Б. Хмельницкого, в состав которого входит десять узлов – перекрестков. В результате расчета получены новые значения определяемых параметров, что разница полученных результатов в сравнении с существующими варьировалась от 2% до 24%, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения значений параметров.

4. Выполнено имитационное моделирование исследуемых 10 регулируемых пересечений магистральной улицы пр. Б. Хмельницкого с использованием динамических показателей калиброванного автомобиля. Улучшение основных характеристик транспортного потока выше в среднем на 9-17%. Модельный эксперимент позволил установить изменение величины задержки по всем исследуемым участкам, величина транспортной задержки в среднем составила – 87,4с, после оптимизации средняя транспортная задержка снижается до 65с, что составляет 7-9%. Средняя величина отклонения составляет 10%. Новый рассчитанный светофорный цикл улучшает дорожную ситуацию на пересечении, транспортная задержка уменьшается, количество проезжающих автотранспортных средств за один цикл увеличивается.

5. Осуществлена проверка адаптивности к работе имитационной транспортной модели путем разработки алгоритма проверки адекватности транспортной модели, являющейся подтверждением корректной работы и точных прогнозных результатов.

ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

4.1 Изменение величины задержки транспортных средств

Эффективность движения транспортных средств характеризуется показателем транспортной задержки, которая учитывает прямые (расход топлива) и косвенные затраты (потеря времени водителем).

Вычисление средней транспортной задержки ($t_{\Delta p}$) за цикл СР в программном продукте имитационного моделирования осуществляется на основании классического расчета с использованием формулы Ф. Вебстера и учитывает длину цикла СР (T_u), с; степень насыщения (x), отношение длительности разрешающего сигнала к циклу (λ) и интенсивность движения ТС (N), ед./с [109-120]:

$$t_{\Delta p} = \frac{T_u(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \left(\frac{T_u}{N^2} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)} \quad (56)$$

Полученные результаты транспортных задержек на исследуемых РП магистральной улицы пр. Б. Хмельницкого при существующем и рассчитанном режиме работы СО представлены в таблице 29 и графически на рисунке 39.

Таблица 29 – Средняя задержка транспортных средств на РП магистральной
улицы пр. Б. Хмельницкого г. Белгород

<i>Средняя транспортная задержка, сек.</i>									
<i>Исследуемый участок РП</i>									
Узел №1	Узел №2	Узел №3	Узел №4	Узел №5	Узел №6	Узел №7	Узел №8	Узел №9	Узел №10
<i>При существующем режиме *t, сек.</i>									
85	63,4	90,2	81,3	84,6	87	79,1	98	62	75
<i>При рассчитанном режиме **t, сек.</i>									
60,5	53,2	70,3	70,5	75,6	75,3	68,9	84	40,2	52,3
<i>Разница полученных результатов</i>									
24,5	10,2	19,9	10,8	9	11,7	10,2	14	21,8	22,7
<i>Величина отклонения, %</i>									
29,4	15,87	22,22	13,58	10,71	13,79	13,92	14,29	35,48	30,66

*t, сек._сущ. – величина задержки ТС, рассчитанная с использование существующей длительности цикла без учета КА; **t, сек._расс КА. величина задержки ТС, рассчитанная с использование определенной длительности цикла с учетом КА

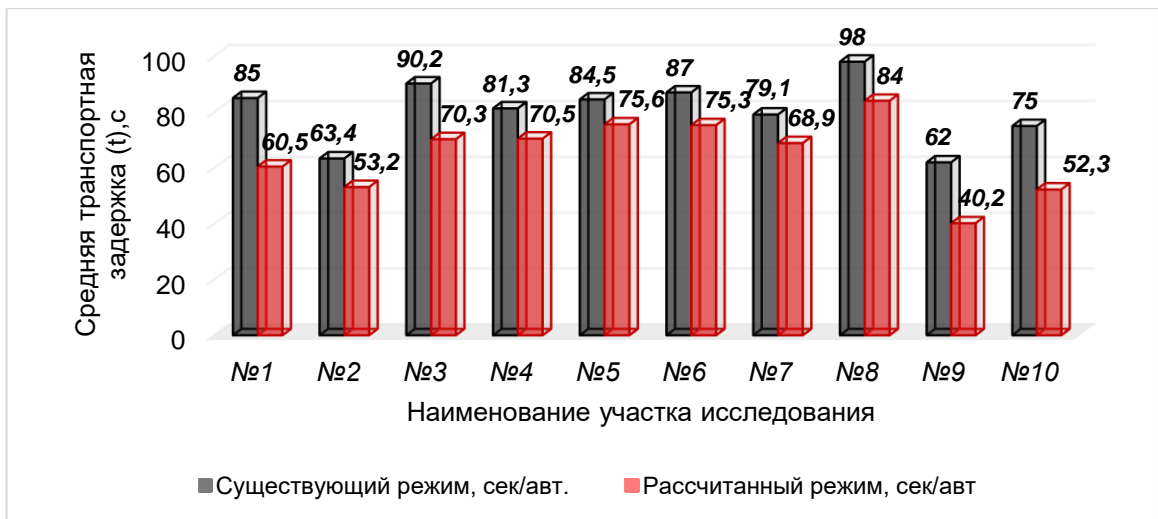


Рисунок 39 – Изменения средней задержки на исследуемых РП

Выполнив расчет изменения транспортных задержек на исследуемых пересечениях по всем направлениям, пришли к следующему: величина транспортной задержки в среднем по магистральной улице пр. Б. Хмельницкого составила 87,4 с на основании существующего режима работы СО, на основании рассчитанного режима – задержка снижается до 65 с что составляет 7-9%.

В ходе исследования получены различные друг от друга параметры управления – цикл светофорного регулирования, с учетом технических характеристик калиброванного автомобиля (КА) и без учета таковых (таблица 30). Различность данного параметра подтверждает эффективность ОДД со стороны изменения значений транспортных задержек на исследуемых РП (рисунок 39). На основании усовершенствованного алгоритма расчета управляющих параметров городскими транспортными потоками (рисунок 30) с учетом технических характеристик калиброванного автомобиля (КА) по сравнению с классическим методом расчета ПН с аналогичной величиной транспортной интенсивности позволили получить уменьшение транспортных задержек на РП от 7-9% в каждой фазе регулирования. При внедрении полученных режимов работы на исследуемой улице – пр. Б. Хмельницкого было установлено снижение величины задержки в

среднем на 7-9% в зависимости от дня недели и времени суток, что подтверждено актом внедрения выданным ЦОДД г. Белгорода МБУ «УБГБ».

4.2 Оценка изменения расхода топлива

Расчет расхода топлива выполним при помощи программы моделирования транспортных потоков AvenueApp 2.0 [121, 122] на основании расчета транспортной задержки на управляемом узле, полного пробега и остановок автомобиля. В ходе выполнения работы в программе AvenueApp 2.0 были получены показатели расхода топлива по каждому исследуемому участку РП при существующем и рассчитанном режимах СР (таблица 30, рисунок 40), позволяющие провести анализ сравнения двух режимов и определить экономический эффект. Расход топлива на исследуемых пересечениях в течении одного часа составил 12 603 литра при существующих режимах СО, при рассчитанном режиме – 11 565 литров.

Расчет экономии топлива выполнен с учетом среднего расхода топлива существующего режима СР ($Q_{\text{суц.}}$), л/ч, и экономии топлива, полученной от расчетного режима СР ($Q_{\text{пол.}}$) на основании формулы:

$$Q = Q_{\text{суц}} - Q_{\text{пол}} \quad (57)$$

Таблица 30 – Результаты расчета расхода топлива на исследуемых РП магистральной улицы пр. Б. Хмельницкого г. Белгород

Расход топлива, литр									
Исследуемый участок РП									
Узел №1	Узел №2	Узел №3	Узел №4	Узел №5	Узел №6	Узел №7	Узел №8	Узел №9	Узел №10
<i>При существующем режиме, литр.</i>									
1008	1114	949	956	2368	650	1963	1730	1132	1094
<i>При рассчитанном режиме, литр.</i>									
890	980	801	872	2091	510	1815	1582	964	916
<i>Разница полученных результатов</i>									
118	134	148	84	277	140	148	148	168	178
<i>Величина отклонения, %</i>									
11,7	12,02	15,59	8,79	11,70	21,53	7,54	8,55	14,84	16,27

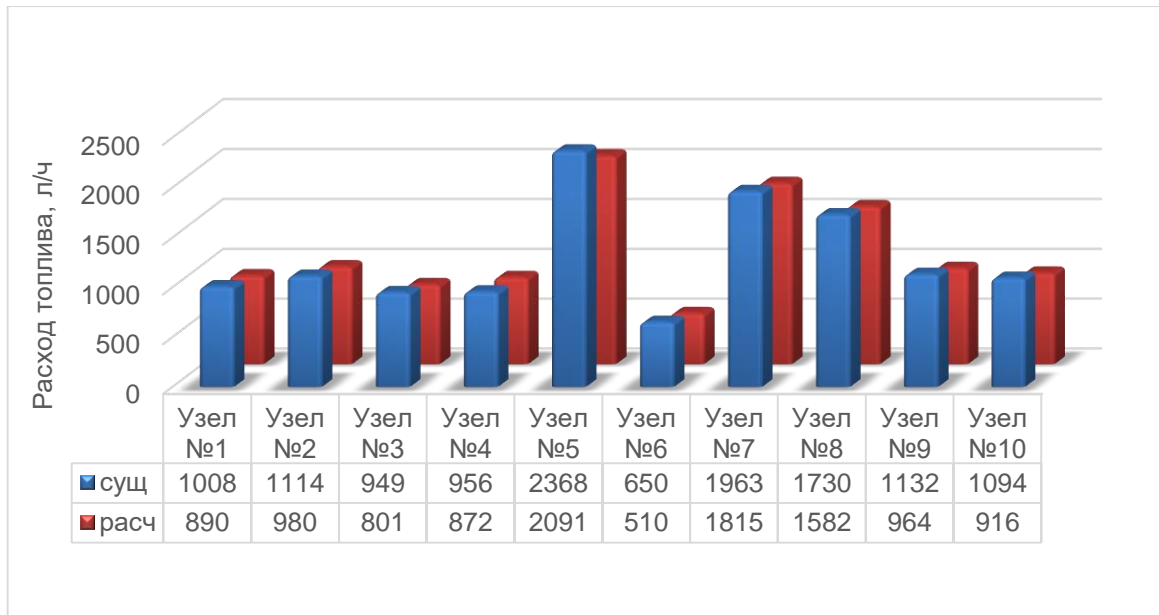


Рисунок 40 – Результаты изменения расхода топлива на исследуемых РП магистральной улицы пр. Б. Хмельницкого

Экономия топлива на исследуемых пересечениях в течении часа составляет 1543 литра. Экономический эффект наблюдается не на всех исследуемых участках, например на пересечениях узлов № 4 и №5 значение становится больше существующего. Однако, рассматривая экономическую эффективность по магистральной улице в целом, расход топлива снижается, подтверждая положительный результат проведенных мероприятий.

Расчет годового экономического эффекта осуществлен на основании формулы:

$$Q_{\text{год}} = Q \cdot C_{\text{АИ-92}} \cdot K_n \cdot D \quad (58)$$

где Q – топливная экономия, литр. /час; $C_{\text{АИ-92}}$ – стоимость 1л. бензина марки АИ-92, руб на момент исследования; K_n – коэффициент неравномерности транспортного потока 0,1...0,36; D – количество дней в году.

Согласно натурным исследованиям уточнен расчет годового экономического эффекта $Q_{\text{год}}$. Так коэффициент неравномерности транспортного потока K_n [123] был определен с учетом сезонной интенсивности движения за 2022 г. для исследуемой магистральной улицы пр-т Б. Хмельницкого (таблица 8).

Годовая топливная экономия определена исходя из средней стоимости топлива АИ-92 - 49,00 руб. (на момент исследования). Топливная экономия за год на исследуемых пересечениях магистральной улицы городской агломерации г. Белгорода составила 8 млн. 555 тыс. руб. в год при работе полученного режима СР в течение пикового периода, а именно в утренний «час пик» с 7.00-9.00, дневной «час пик» с 11.30-13.00, «вечерний час,» пик с 16.00-20.00. Полученные результаты представлены в таблице 31, экономической эффективности в таблице 32, рисунок 41.

Таблица 29 – Топливный расход при существующих и рассчитанных режимах работы

№ п/п	Наименование пересечения	Q , литр. суц.*	Q , литр. расс**.	Этопл., литр.	Эгод, руб.
1	ул. Кутузова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №1)	1008	890	118	654 233,30
2	ул. Урожайная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №2)	1114	980	134	742 942,90
3	ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №3)	949	801	148	820 563,80
4	ул. Железнякова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №4)	956	872	84	465 725,40
5	ул. Студенческая – пр. Богдана Хмельницкого (узел №5)	2368	2091	277	1 535 784,95
6	ул. Гагарина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №6)	650	510	140	776 209,00
7	ул. Мичурина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №7)	1963	1815	148	820 563,80
8	пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого (узел №8)	1730	1582	148	820 563,80
9	ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого (узел №9)	1132	964	168	931 450,80
10	пр. Славы – пр. Богдана Хмельницкого (узел №10)	1094	916	178	986 894,30

* Q , литр. _суц. – расход топлива при существующей длительности цикла, без учета параметров КА; Q , литр. _расс** - расход топлива при рассчитанной длительности цикла с учетом параметров КА.

Таблица 30 – Годовой экономический эффект с учетом сезонных коэффициентов
неравномерности транспортного потока

№ п/п	Наименование пересечения	<i>Q</i> _{год, руб.} с учетом коэффициента неравномерност и <i>K</i> _{н 1} (I квартал)	<i>Q</i> _{год, руб.} с учетом коэффициента неравномерност и <i>K</i> _{н 2} (II квартал)	<i>Q</i> _{год, руб.} с учетом коэффициента неравномерност и <i>K</i> _{н 3} (III квартал)	<i>Q</i> _{год, руб.} с учетом коэффициента неравномерност и <i>K</i> _{н 4} (IV квартал)
1	ул. Кутузова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №1)	654 233,30	675 337,60	654 233,30	612 024,70
2	ул. Урожайная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №2)	742 942,90	766 908,80	742 942,90	695 011,10
3	ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №3)	820 563,80	847 033,60	820 563,80	767 624,20
4	ул. Железнякова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №4)	465 725,40	480 748,80	465 725,40	435 678,60
5	ул. Студенческая – пр. Богдана Хмельницкого (узел №5)	1 535 785,00	1 585 326,00	1 535 785,00	1 436 702,00
6	ул. Гагарина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №6)	776 209,00	801 248,00	776 209,00	726 131,00
7	ул. Мичурина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №7)	820 563,80	847 033,60	820 563,80	767 624,20
8	пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого (узел №8)	820 563,80	847 033,60	820 563,80	767 624,20
9	ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого (узел №9)	931 450,80	961 497,60	931 450,80	871 357,20
10	пр. Славы – пр. Богдана Хмельницкого (узел №10)	986 894,30	1 018 730,00	986 894,30	923 223,70

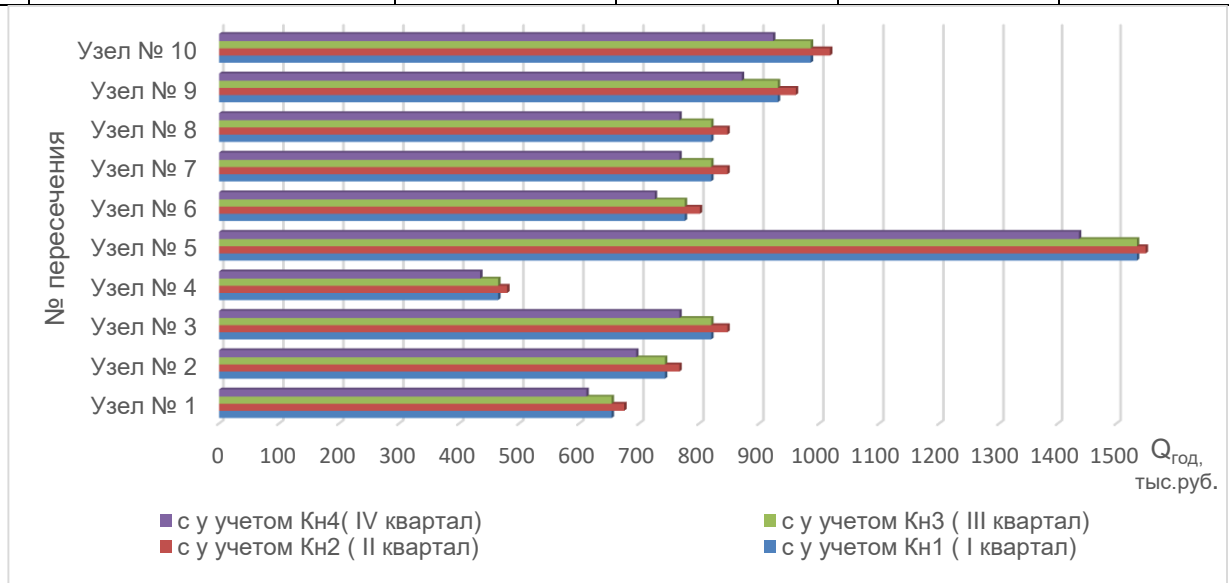


Рисунок 41 – Годовой экономический эффект с учетом сезонных коэффициентов
неравномерности транспортного потока

Получена экономия от внедрения нового метода расчета с учетом параметров «калиброванного автомобиля» - 1543 литров ($\approx 1,09$ т./год), в год в денежном эквиваленте – 8,5 млн. рублей.

Так же проведен детальный расчет годового экономического эффекта с учетом сезонных коэффициентов неравномерности транспортного потока, позволивший определить экономию топлива в денежном эквиваленте для разных периодов года (кварталов): для I квартала – экономия составила 6,2 млн. руб., II квартала – 5,4 млн. руб., III квартала – 6,2 млн. руб., IV – 5,8 млн. руб.

4.3 Снижение потерь от загрязнения воздуха

Благодаря снижению расхода топлива транспортными средствами происходит уменьшение вредных выбросов в атмосферу. Так, в частности, Корчагин В.А. занимался исследованиями выброса вредных автомобилями [124]. Согласно его исследованиям потери от загрязнения воздуха транспортными средствами на том или ином участке улицы определяется на основании учета удельного выброса вредных веществ и оцениваются в т/1000км или г/1км пробега по формуле:

$$C_3 = \frac{0,365LN_{\text{пик}}m}{k_H} \sum D_{\text{уд}i} C_{\text{уд}i} b \quad (59)$$

где L - длина дороги, км; $N_{\text{пик}}$ - интенсивность движения ТС определенного типа в часы «пик», авт./ч; m - коэффициент увеличения расхода топлива при движении с частыми остановками; k_H - сезонный коэффициент неравномерности движения; $D_{\text{уд}i}$ - удельный выброс i -го вредного вещества; $C_{\text{уд}i}$ - удельный ущерб от выброса i -го вредного вещества, р/1 т вещества; b_i - коэффициент влияния технического состояния автомобиля на выброс вредных веществ.

Инструкция по расчету ВВ [125] и приказ Минприроды РФ № 871 от 19.11.2021г. [126] определяют количество ВВ при сгорании 1 кг бензина легковыми

автомобилями экологического класса Евро: оксид азота (NO_x) – 5,8 г./кг, оксид углерода (CO) – 21,5 г./кг, углеводород (VOC) – 2,4 г./кг, диоксид серы (SO_2) – 0,12 г./кг, диоксид углерода (CO_2) – 2970 г./кг.

В результате на исследуемых участках определены показатели ВВ для существующего и расчетного циклов светофорного регулирования (таблица 31, рисунок 42). В результате оптимизации происходит снижение выброса ВВ: оксидов углерода на 187,3 кг., углеводорода на 20,93 кг., оксидов азота на 51,3 кг. и сернистого ангидрида на 1,03 кг. (рисунок 42).

Таблица 31 – Снижение ВВ при существующем и рассчитанном режиме СО

№ п/п	Наименование пересечения	Δ окись углерода, т./год	Δ углеводорода, т./год	Δ окислы азота, т./год	Δ сернистый ангидрид, т./год
1	ул. Кутузова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №1)	0,015	0,0016	0,0039	0,000072
2	ул. Урожайная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №2)	0,016	0,0018	0,0043	0,000089
3	ул. Привольная – пр. Богдана Хмельницкого (узел №3)	0,013	0,0015	0,0035	0,000073
4	ул. Железнякова – пр. Богдана Хмельницкого (узел №4)	0,014	0,0016	0,0049	0,000079
5	ул. Студенческая – пр. Богдана Хмельницкого (узел №5)	0,034	0,0038	0,0092	0,00019
6	ул. Гагарина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №6)	0,0083	0,00093	0,0022	0,000046
7	ул. Мичурина – пр. Богдана Хмельницкого (узел №7)	0,03	0,0033	0,008	0,00017
8	пр. Белгородский – пр. Богдана Хмельницкого (узел №8)	0,026	0,0029	0,007	0,00014
9	ул. Преображенская – пр. Богдана Хмельницкого (узел №9)	0,016	0,0018	0,0042	0,000088
10	пр. Славы – пр. Богдана Хмельницкого (узел №10)	0,015	0,0017	0,004	0,000083

На исследуемых пересечениях при внедрении рассчитанных режимов работы СО концентрация выброса ВВ в окружающую среду снижается в среднем на 11%, что безусловно улучшит экологическую ситуацию городской агломерации.

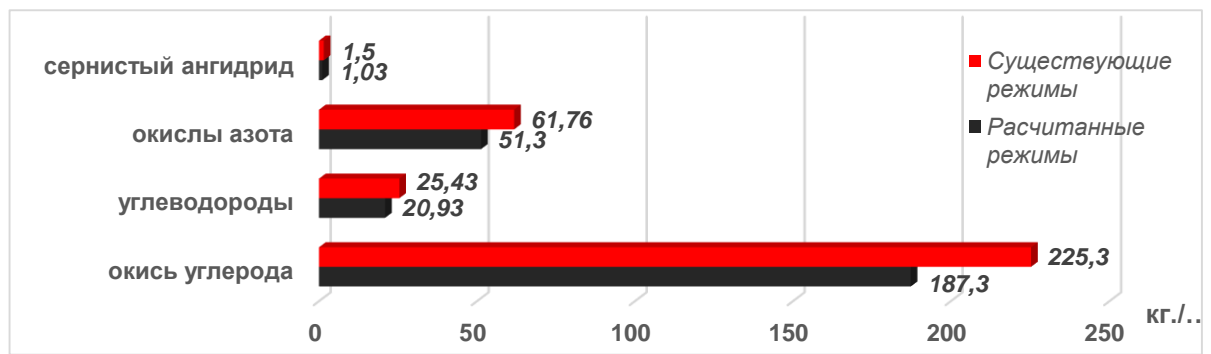


Рисунок 42 – Выбросы вредных веществ на исследуемых РП магистральной улицы в г. Белгород

Экономическая эффективность, выраженная в денежном эквиваленте с учетом удельного ущерба от выбросов вредных веществ, составляет 1 056002,15 руб.

4.4 Выводы по главе 4

Экономический эффект проведенных мероприятий определен по нескольким показателям:

1. При внедрении полученных режимов работы на исследуемой улице – пр. Б. Хмельницкого было установлено снижение величины задержки в среднем на 7-9% в зависимости от дня недели и времени суток,
2. Получена экономическая эффективность от внедрения разработанного метода. Так, экономия топлива на пересечениях составляет 1543 л/год, в денежном эквиваленте - 8,5 млн. руб./год. Рассчитан годовой экономический эффект с учетом введения сезонных коэффициентов неравномерности транспортного потока, позволивший определить экономию топлива в денежном эквиваленте для разных периодов года (кварталов): для I квартала – экономия составила 6,2 млн. руб., II квартала – 5,4 млн. руб., III квартала – 6,2 млн. руб., IV – 5,8 млн. руб.
3. При использовании полученных режимов управления, выброс вредных веществ в окружающую среду снижается на 11%, что безусловно улучшает экологическую ситуацию в городе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании были получены новые технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития транспортной отрасли страны (разработаны математическая модель определения параметров калиброванного автомобиля, математическая модель определения пропускной способности регулируемого участка с учетом динамических параметров калиброванного автомобиля; усовершенствован алгоритм расчета параметров управления городским транспортным потоком, разработан программно-аппаратный комплекс по определению параметров калиброванного автомобиля в автоматическом режиме) позволяющие снизить время задержки автотранспортных средств при проезде регулируемых перекрестков.

Основные научно-практические результаты состоят в следующем:

1. Разработана структурная схема основных направлений и методов повышения эффективности организации дорожного движения с учетом использования первичных данных – технических параметров легковых автомобилей.

2. В результате исследований характеристик городского транспортного потока по основным въездным направлениям была определена интенсивность транспортного потока и ее неравномерность в течении дня, недели и месяцев года. Установлено, что более 90% состава городского транспортного потока составляют легковые автомобили. Оценка разнородности состава легковых автомобилей, позволила установить, что наиболее часто встречающиеся в городском транспортном потоке, являются: Lada Granta (18,15%), Kia Rio (17,59 %), Renault Logan (16,45 %), Lada Vesta (10,84 %), Toyota Camry (10,26 %), Haval Jolion (4,49%), УАЗ Patriot (4,08%), Hyundai Creta (2,94%), Gelly Emgrand (2,67%), Mazda CX-5 (2,53%), другие 10%. Расчет динамических показателей для определенных моделей легковых автомобилей позволил установить разницу между минимальным и максимальным значением ускорения $1,62 \text{ м/с}^2$, что оказывает влияние на процесс движения в городском транспортном потоке и требует постоянного учета и

контроля. На основании полученных данных в пользование введено понятие «калиброванный автомобиль» как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели технических и динамических параметров транспортных средств, преобладающей в транспортных потоках. Использование данного понятия позволяет расширить ранее используемый показатель расчетного автомобиля в плане динамических параметров, применительно к процессу управления городскими транспортными потоками при использовании светофорного регулирования.

3. Разработана математическая модель определения параметров калиброванного автомобиля, которая позволила установить значение ускорения калиброванного автомобиля $1,45 \text{ м/с}^2$, которое в сравнении с аналогичным значением ускорения для расчетного автомобиля $1,3 \text{ м/с}^2$ отличается на 11,5%, что свидетельствует о наличии определенного изменения в процессе движения городского транспортного потока - улучшении его динамических показателей, что требует контроля и учета при определении параметров управления.

На основе выполненных исследований был разработан программно-аппаратный комплекс, в котором автоматизирован процесс определения параметров калиброванного автомобиля.

4. Теоретически обоснована связь между параметрами калиброванного автомобиля и пропускной способностью управляемых участков в городской улично-дорожной сети. В результате проведения экспериментальных исследований на регулируемых участках г. Белгорода было установлено изменение скорости движения и среднее время движения городского транспортного потока при проезде регулируемых перекрестков которое изменилось с 1,95 с до 1,74 с в результате улучшения динамических параметров легковых автомобилей, которые при выполнении расчетов характеризуются показателем калиброванного автомобиля.

Полученные результаты позволили разработать математическую модель определения пропускной способности регулируемого участка с использованием

динамических параметров калиброванного автомобиля и на ее основе усовершенствовать алгоритм расчета управляющих параметров.

5. Проверка полученных результатов исследования – разработанных математических моделей, усовершенствованного алгоритма расчета управляющих параметров, программно-аппаратного комплекса в масштабах магистральной улицы г. Белгорода, в состав которой входят 10-ть регулируемых перекрестков позволили получить эффективные технические показатели программ координации светофоров, что обосновано изменением эколого-экономических показателей – снижением времени задержки в среднем от 7-9%, экономией топлива в 1543 л/год, что в денежном эквиваленте составляет более 8 млн. руб./год и снижением количества вредных выбросов в атмосферу на 11%, что в значительной мере положительно отразится на экологической обстановке в городе.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы

Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют сформулировать перспективы дальнейшей разработки темы, которая заключается в применении полученных математических моделей, усовершенствованного алгоритма расчета параметров управления и программно-аппаратного комплекса на различных уровнях (мезо и макро) городской транспортной системы для повышения эффективности управления транспортными потоками.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУДД	Автоматизированная система управления дорожным движением
АКПП	Автоматическая коробка передач
БДД	Безопасность дорожного движения
БТС	Безопасность транспортного средства
ВВ	Вредные вещества
ГА	Грузовой автомобиль
ДД	Дорожное движение
ДКЗ	Дорожно – климатическая зона
ИТС	Интеллектуальная транспортная система
КА	Калиброванный автомобиль
КПП	Коробка переключения передач
КСОД	Комплексная схема организации дорожного движения
ЛА	Легковой автомобиль
МКПП	Механическая коробка передач
ОДД	Организация дорожного движения
ПДД	Правила дорожного движения
ПН	Поток насыщения
ПК	План координации
ПКРТИ	Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры
ПП	Пешеходный поток
ПЧ	Проезжая часть
РП	Регулируемое пересечение
РФ	Российская Федерация
СО	Светофорный объект
СР	Светофорное регулирование

ТП	Транспортный поток
ТИ	Транспортная инфраструктура
ТС	Транспортное средство
ТСОДД	Технические средства организации дорожного движения
УДС	Улично-дорожная сеть
ЦФО	Центрально федеральный округ
ФЗ	Федеральный закон
ФО	Федеральный округ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 08.11.2007 N 257-ФЗ (ред. от 14.07.2022), ст. 5 [Электронный ресурс] / Сайт Правительства России. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/98603/>, свободный
2. Блинкин М. Я. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции / М.Я. Блинкин, Е.М. Решетова // М.:Издательский Дом Высшей Школы Экономики. 2013. – 240 с.
3. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 11 июня 2014 года № 1032-р., 110 с. [Электронный ресурс] / Сайт Минтранса РФ. – Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/#document_22371, свободный
4. The 2030 Federal Transport Infrastructure Plan / Published by: Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure – 2016, pp. 212.
5. Безопасные качественные дороги [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://bkdrf.ru/>
6. Солодкий А. И. Транспортная инфраструктура: учебник и практикум для СПО / А. И. Солодкий, А. Э. Горев, Э. Д. Бондарева; под ред. А. И. Солодкого. — М.: Издательство Юрайт, 20189. — 290 с. — (Серия: Профессиональное образование).
7. Пугачев И.Н. Методология развития эффективного и безопасного функционирования транспортных систем городов. Монография / И. Н. Пугачев; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Тихоокеанский гос. ун-т". Владивосток, 2009. – 266 с.
8. Федеральный закон «О транспортной безопасности» от 09.02.2007 N 16-ФЗ (ред. от 28.02.2023), [Электронный ресурс] / Сайт Правительства России. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/98356/>, свободный

9. Якимов М. Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города : специальность 05.22.01 "Транспорт-ные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Якимов Михаил Ростиславович. – Москва, 2011. – 418 с.

10. Якимов М. Р., Арепьева А.А. Транспортное планирование. Особенности моделирования транспортных потоков в крупных российских городах: монография / М.Р. Якимов, А.А. Арепьева. – М: Логос, 2016. – 280 с.

11. Экономико-математические методы и модели. Ч. 1 [Текст] : учебно-методическое пособие : в 2 ч. / М. Р. Якимов, Н. М. Левда ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. образования "Пермский нац. исслед. политехнический ун-т". - Пермь : Изд-во Пермского нац. исслед. политех-нического ун-та, 2016. – 53 с.

12. Якимов М. Р. Оценочные показатели экономической эффективности функционирования транспортных систем городов / М. Р. Якимов // . – 2017. – Т. 1. – С. 293-299.

13. Кондратьев В.Д. Проектное управление при реализации стратегии безопасности дорожного движения / В.Д. Кондратьев, А.В. Щепкин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2019. - № 4 (59). – С. 112-119.

14. Якимов М. Р. Транспортное планирование. Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM / М. Р. Якимов, Ю. А. Попов. – Москва : ООО "Издательская группа "Логос", 2014. – 200 с.

15. Якимов М. Р. Подходы к формированию транспортных систем крупных городов / М. Р. Якимов // Вестник Пермского государственного технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 1. – С. 123-130.

16. Кравченко П.А. Организация и безопасность дорожного движения в больших городах // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 1 (64). С. 1-2.

17. Зырянов В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения / Транспорт Российской Федерации СПб. – 2011. - № 1. – С. 28 – 33.

18. Сильянов В.В. Моделирование транспортного потока для оценки уровня аварийности и эффективности мероприятий по организации и безопасности дорожного движения / Сильянов В.В., Уткин А.В. // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2007. № 7. С. 15-17.

19. Положения о Федеральной службе по надзору в сфере транспорта, утв. постановлением Правительства РФ от 30.07.2004 № 398 (в ред. от 02.11.2013 № 988), пункт 5.1, [Электронный ресурс] / Сайт Министерства транспорта Российской Федерации. – Режим доступа: <https://rostransnadzor.gov.ru/rostransnadzor/about/polozhenie-o-federal-noj-sluzhbe-ro-nad>, свободный

20. Постановление Правительства Российской Федерации «Об утверждении Правил информационного взаимодействия федерального органа исполнительной власти, уполномоченного в области таможенного дела, федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функции по контролю (надзору) в сфере транспорта, и федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять контрольные, надзорные и разрешительные функции в области обеспечения безопасности дорожного движения, осуществляемого в целях реализации положений пунктов 4 - 45 статьи 11 Федерального закона «О государственном контроле за осуществлением международных автомобильных перевозок и об ответственности за нарушение порядка их выполнения» от 28.08.2021 г. № 1442 [Электронный ресурс] / Сайт Правительства России. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/136283/>, свободный

21. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года N 184-ФЗ, [Электронный ресурс] / Сайт Правительства России. – Режим доступа: <http://government.ru/docs/all/97393/>, свободный

22. Паспорт стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации, утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2021 года №3744-р, 194 с. [Электронный ресурс] / Сайт Министерства транспорта Российской Федерации. – Режим доступа: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11374> свободный

23. Селиверстов С.А. Разработка интеллектуальной системы развития транспортной системы мегаполиса / С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов, А.А. Таранцев, В.А. Григорьев, А.М. Ельяшевич, Р.Р. Муксимова // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2017. - № 1. – С. 217-222.

24. Терентьев А.В. Методология цифрового управления в информационной системе обеспечения безопасности эксплуатации транспортных средств / Терентьев А.В., Евтюков С.С., Ефимов Р.А. Карелина Е.А., Шевцова А.Г. // СПб.: Издательский дом «Петрополис», 2020. – 138 с.

25. Жанказиев С.В. Интеллектуальные транспортные системы / уч. пос. М.: - 2016. – 120 с.

26. Пугачев И.Н. Оценка качества дорожного движения на основе навигационной информации об условиях движения транспортных потоков / Пугачев И.Н., Капский Д.В., Касьяник В.В., Капцевич О.А., Маркелов Г.Я., Катков А.В., Мозалевский Д.В., Кузьменко В.Н., Евтух А.В., Крикун С.Н. – монография, - Хабаровск, 2018., - 148 с.

27. СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85*(утв. и введен в действие Приказом Минстроя России от 09.02.2021 N 53/пр) [Электронный ресурс] / Сайт КонсультантПлюс. – Режим доступа:https://mindortrans.ru/attachments/СП_34_13330_2021__Свод_правил__Автомобильные_дороги__СНиП_2.pdf, свободный

28. ОДМ 218.6.003-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. М.: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). М.: 2013.- 69с.

29. ОДМ 218.4.005-2010 Отраслевой дорожный методический документ. Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. – М.: НРосавтодор, 2011. – 269 с.

30. Локтионова, А. Г. Исследование разнородности динамических показателей легковых автомобилей для повышения эффективности функционирования городских транспортных систем / А. Г. Шевцова, А. Г. Локтионова, Копылова Е.В., Щетинин Н.А.// Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-4(82). – С. 47-53.

31. Бурлуцкая, А. Г. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения / А. Г. Шевцова, А. Г. Бурлуцкая, А. А. Юнг // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 1. – С. 126-134.

32. Локтионова, А. Г. Определение параметров расчетного «калиброванного» автомобиля для Арктической зоны РФ / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова // Транспортные и транспортно-технологические системы : материалы Международной научно-технической конференции: в 2 томах, Тюмень, 21 апреля 2022 года. Том II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 102-106.

33. Абдуназаров, Ж. Н. Рекомендуемые параметры расчетных автомобилей для Российской Федерации / Ж. Н. Абдуназаров, М. Н. Мамарасулова. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 7.2 (111.2). — С. 26-29.

34. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств, 465 с. [Электронный ресурс] / Сайт Евразийской экономической комиссии – Режим доступа: <https://eec.eaeunion.org/comission/departement/deptexreg/tr/bezopKolesnTrS.php>, свободный

35. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977 – 303 с.
36. Капитанов В.Т. Математические методы и модели в сфере обеспечения безопасности дорожного движения / Капитанов В.Т., Моница О.Ю., Сильянов В.В., Чубуков А.Б. // монография - Москва, 2020 – 102 с.
37. Васильев А.П. Концепция совершенствования норм проектирования автомобильных дорог / А.П. Васильев и др. – М.: Росавтодор, ГП Инфортавтодор, 2001 – 35 с.
38. Пугачев И.Н. Совершенствование методов оценки качества и безопасности дорожного движения / И.Н. Пугачев, Н.Г. Шешера, А.В. Каменчуков: монография. - Хабаровск, 2018. – 160 с.
39. Локтионова А. Г. Оценка технических параметров автомобилей в транспортном потоке / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 4-2(79). – С. 75-80.
40. Webster, F.V Traffic Signal Settings. London, England: Her Majesty's Stationery Office, 1958.
41. Боровской А.Е., Шевцова А.Г. Максимальная пропускная способность полосы при поворотном маневре // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 188-191.
42. Шевцова А. Г. Качественная оценка состава транспортного потока / А. Г. Шевцова, А. Г. Бурлуцкая // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы VII Международной научно-практической конференции. В 2-х томах, Орел, 18–19 мая 2021 года. – Орел: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2021. – С. 425-433
43. Шевцова, А. Г. Оценка методов применения технических и динамических параметров автомобилей в мировой практике / А. Г. Шевцова, А. Г. Локтионова // Воронежский научно-технический Вестник. – 2022. – Т. 2, № 2(40). – С. 74-81. – DOI 10.34220/2311-8873-2022-74-81.

44. Чванов В.В. Методы оценки и повышения безопасности дорожного движения с учетом условий работы водителя / Чванов В.В. // монография. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 416 с.
45. Боровской А.Е. Исследование степени насыщения пересечения при учете классификации легковых автомобилей / А.Е. Боровской, А.Г. Шевцова // Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 5. – С. 51-53.
46. А. Копусов-Долинин. Правила дорожного движения РФ на 1 марта 2023 года с комментариями и иллюстрациями (с последними изменениями и дополнениями). – 2023. – С.80.
47. Shevtsova A., Novikov A., Loktionova A. Methodology for determining parameters of design vehicle, taking into account conditions of Arctic zone of the Russian Federation / Journal of Applied Engineering Science, Belgrade, Serbia, 2023 21 (1) pp. 136-142. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-39696>
48. Novikov A., Glagolev S., Novikov I., Shevtsova A. (2019) Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model. IOP Conference Series Materials Science and Engineering, vol. 632, 012052, doi.org/10.1088/1757899X/632/1/012052
49. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>
50. Автостат. Исследования продаж легковых автомобилей [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://www.autostat.ru/research/0/532/538/>, свободный
51. VERcity. Статистика официальных продаж в России [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://auto.vercity.ru/statistics/sales/europe/russia/>, свободный
52. Локтионова А. Г. Разработка подхода к определению параметров калиброванного автомобиля / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Омск, 25–26 ноября 2021 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 210-214

53. Локтионова, А. Г. Оценка изменений технических параметров современных транспортных средств / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова, Е. А. Новописный // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 3(92). – С. 146-153. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-3-146-153.
54. Врубель Ю.А. О потоке насыщения. /. Минск.: Белорус, политех, ин-т. -1 с.- Рук. деп. В ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 663 -1988
55. Кравец В.Н. Теория автомобиля: учебник / В.Н. Кравец; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – 2-е изд., переработ. – Нижний Новгород, 2013. – 413 с.
56. Технические характеристики автомобилей [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://avto-flot.ru/spec/>, свободный
57. Петрушов В.А. Мощностной баланс автомобиля / В.А. Петрушов, В.В. Московкин, А.Н. Евграфов. - М.: Машиностроение, 1984. - 184 с.
58. Проектирование трансмиссии транспортно-технологических машин: учеб. пособие / В. Ф. Полетайкин, Е. В. Авдеева: СибГУ им. М. Ф. Решетнева. – Красноярск, 2020 – 100 с., Лейдерман С.Р. Эксплуатация грузовых автомобилей. -М.: Транспорт, 1966. -150 с.]
59. Программа для расчета мощности и крутящего момента двигателя внутреннего сгорания: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366373/ А. Г. Локтионова, С.А. Гузенко, А. Г. Шевцова. - №: 2023665048: заявл. 17.07.2023: опубл. 31.07.2023.
60. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. Heidelberg, Dordrecht, London, New York, Springer, 2011. 715 p.
61. Bener A., Crundall D., 2005. Road Traffic Accidents in the United Arab Emirates Compared to Western Countries. 2005. - pp. 9
62. Friedland M.L., Trebilcock M.J., Roach K. Regulating Traffic Safety. University of Toronto Press, Toronto. 1990 – pp. 211
63. Larsson P., Dekker S.W.A., Tingvall C. The need for a systems theory approach to road safety. Saf. Sci. 2010. 48 (9), 1167–1174

64. Adams S. Smeed's law: some further thoughts. *Traffic Engineering and Control* 10 (7). 1987 – pp. 70-73
65. Kerner B.S. *The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory, Understanding Complex Systems*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg. 2004 – pp. 705
66. Программа для расчета тяговой силы транспортных средств: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366370/ А. Г. Локтионова, С.А. Гузенко, А. Г. Шевцова. - №: 2023665044: заявл. 17.07.2023: опубли. 31.07.2023.
67. Вахламов В. К. *Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В. К. Вахламов. – М. : Академия, 2007 – 560 с.*
68. Кравец В. Н. *Теория автомобиля : учеб. пособие / В. Н. Кравец ; НГТУ. – Н. Новгород, 2007 – 368 с.*
69. Программа для расчета тягового баланса транспортных средств в условиях городского движения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366371/ А. Г. Локтионова, С.А. Гузенко, А. Г. Шевцова. - №: 2023665046: заявл. 17.07.2023: опубли. 31.07.2023.
70. Дорохин С. В. *Методика расчета допустимой скорости движения по криволинейной траектории / С. В. Дорохин // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 3(46). – С. 110-117.*
71. Московкин В.В. *Система методов для исследования и расчета топливной экономичности и скоростных свойств автомобиля: диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 05.05.03. - М., 1999. - 338 с.*
72. Технический паспорт. [Электронный ресурс]. Режим доступа паспорт <https://www.drom.ru/catalog/lada/granta/460323/>, свободный
73. Новиков И.А. *Технические средства организации дорожного движения / И.А. Новиков, А.Г. Шевцова. уч. пос. / Белгород, - 2020. – 175 с.*
74. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 (ред. от 24.10.2022) "О Правилах дорожного движения" (вместе с "Основными

положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения» [Электронный ресурс] / Сайт КонсультантПлюс. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/, свободный

75. Дунаев А.Н. Особенности динамического расчета современных автомобилей / А. Н. Дунаев, Д. В. Краснов, Б. М. Шипицын, А. М. Молодов // Актуальные вопросы развития науки и технологий: сборник статей международной научной конференции молодых учёных, Караваево, 04 апреля 2019 года. – Караваево: Костромская ГСХА, 2019. – С. 148-154.

76. Кузьмин Н.А. Теория эксплуатационных свойств автомобиля: учебное пособие [Текст] / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков. - М.: Форум; НИЦ ИНФРА, 2013. - 256 с.

77. Программа для расчета динамического фактора транспортных средств: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366372/ А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова, И.А. Новиков. - №: 2023665047: заявл. 17.07.2023: опубл. 31.07.2023.

78. Бабков В.Ф. Современные автомобильные магистрали / В.Ф. Бабков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1974. - 279 с.

79. Новиков А.Н., Современная оценка проблемы безопасности дорожного движения: монография / А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.Г. Шевцова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. – 108 с.

80. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учеб. для вузов. - М.: Трансп., 1993. - 271 с.

81. Бабков В.Ф., Афанасьев М.Б., Васильев А.П. и др. Дорожные условия и режимы движения / В.Ф. Бабков, М.Б. Афанасьев, А.П. Васильев и др. // М.: Транспорт, - 1967. – 227 с.

82. Chandler R. Traffic dynamics: studies in car following / R. Chandler, R. Herman, E. Montroll // Operations Research. - 1958. - Vol. 6, no 2. - P. 165-184.

83. Нарбут А. Н. Теория автомобиля: Учебное пособие/ МАДИ М.,2002.- 71 с.

84. Шутов А.И. Безопасность транспортных средств: Учеб. пособие/А.И. Шутов, А.Е. Боровской, И.А. Новиков, И.А. Щетинина.– Белгород:Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. – 47с.
85. Программа для расчета ускорений автомобиля: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202366374/ А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова, И.А. Новиков. - №: 2023665049: заявл. 17.07.2023: опубл. 31.07.2023.
86. Некрасова Ю. С. Введение в математический анализ : учебное пособие для студентов младших курсов технических направлений и специальностей / Ю. С. Некрасова. - Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. - 62 с.
87. Бутузов В.Ф. Математический анализ в вопросах и задачах : учеб. пособие / В. Ф. Бутузов [и др.] ; ред. В. Ф. Бутузов. - 2-е изд., перераб. - Москва : Высшая школа. – 1993. - 480 с.
88. Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения.-М.: Академкнига, 2005.-279с.
89. Иларионов В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля (теоретический анализ) / В.А. Иларионов. - М.: Машиностроение, 1966. - 280 с
90. Пугачев И.Н. Организация дорожного движения / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, А.И. Солодкий, А.В. Белов А.В. // уч. пос. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 272 с.
91. Capelle D.G., and C. Pinnell. «Capacity Study of Signalized Diamond Interchanges». Highway Research Board Bulletin 291:1-25 – 1961.
92. Assmus W.E. Operational Performance of Exclusive Double Left-Turn Lanes. Evanston, IL: Northwestern University, 1970
93. Carstens R.L. «Some Traffic Parameters at Signalized Intersections». Traffic Engineering, 1971
94. Жанказиев С.В. Оптимизация адаптивного управления светофорными объектами в рамках директивного управления транспортным потоком / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, М.Д. Бачманов // Вестник Московского автомобильно-

дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2016. - № 4 (47). – С. 138-143.

95. Левашев А.Г. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях: Автореф. диссерт. на соискание учен. степени кандидата технич наук. Иркутск: 2004.-17с.

96. Berry D.J. Capacity and Quality of Service of Arterial Street Intersections, Research Report 30-1. College Station, TX: Texas Transportation Institution, 1974

97. Гохман В.А. Пересечения и примыкания автомобильных дорог / В.А. Гохман, В.М. Визгалов, М.П. Поляков: Учеб. пособие для авт.-дор. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1989. – 319 с.

98. Sosin J.A. Delays at intersections controlled by fixed cycle traffic signals. //Traffic Eng. and Contr., 1980, v21, N5,p. 264 – 265.

99. Aimsun Version 8.0. (R10631). Copyright (C) 1997-2023 TSS-Transport Simulation Systems

100. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона. 2013. Т. 25. № 2 (25). С. 132.

101. Зырянов В.В. Применение моделирования для оценки проектов транспортной инфраструктуры // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. 2012. № 3. С. 7-12.

102. Бурлуцкая, А. Г. Параметры для проверки адекватности моделирования / А. Г. Бурлуцкая, Ю. В. Семикопенко, А. Г. Шевцова // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта : Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции, Тула, 22–23 декабря 2016 года. Том Выпуск 1. – Тула: Тульский государственный университет, 2017. – С. 279-283.

103. Adams S. Smeed's law: some further thoughts. Traffic Engineering and Control 10 (7). 1987 – pp. 70-73

104. Власов В. М., Жанказиев С. В., Николаев А. Б., Приходько В. М. - М.: Телематика на автомобильном транспорте, МАДИ (ГТУ), 2003, 174 с.

105. Разработка методики адаптации модели регулируемого пересечения / И. А. Новиков, А. Г. Шевцова, А. А. Кравченко, А. Г. Бурлуцкая // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 6(76). – С. 726-735. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735.

106. Зырянов В.В. Методы определения минимально необходимого уровня насыщения улично-дорожной сети пробными автомобилями // Научное обозрение. 2014. № 11-3. С. 949-952.

107. При помощи программного комплекса STATISTIKA [Statistica 13.0 Tral. Stat Soft 2016-201

108. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Юнити-Дана, 2004. – С. 573

109. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., - 2003. – 479 с.

110. Кашталинский А. С. Построение многофакторной зависимости неравномерности движения транспортных потоков в различных дорожно-транспортных условиях / А. С. Кашталинский // Актуальные проблемы науки и техники глазами молодых ученых : материалы Международной научно-практической конференции, Омск, 08–09 февраля 2016 года. – Омск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)", 2016. – С. 582-589.

111. Анохин Э. С. Исследование неравномерности изменения интенсивности движения городских транспортных потоков во времени / Э. С. Анохин // Избранные доклады 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых учёных, Томск, 20 апреля 2017 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – С. 177-180.

112. Кашталинский А. С. Методика учета временной неравномерности транспортных потоков при определении режимов многопрограммного светофорного регулирования на перекрестках / А. С. Кашталинский, В. Петров, Ю.

А. Рябоконт // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах : Сборник трудов (электронная версия) участников двенадцатой международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28–30 сентября 2016 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. – С. 243-249.

113. Об оценке неравномерности движения транспортного потока / Н. А. Лушников, П. А. Лушников, В. А. Кретов, В. Е. Николаевский // Дороги и мосты. – 2017. – № 2(38). – С. 18.

114. Локтионова, А. Г. Оценка изменений технических параметров современных транспортных средств / А. Г. Локтионова, А. Г. Шевцова, Е. А. Новописный // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 3(92). – С. 146-153. – DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-3-146-153.

115. Кашталинский А. С. Повышение эффективности функционирования изолированных регулируемых перекрестков с учетом неравномерности транспортных потоков: специальность 05.22.10 "Эксплуатация автомобильного транспорта": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кашталинский Александр Сергеевич. – Омск, 2017. – 22 с.

116. Robertson D. Transyt method for area traffic control // Traffic Engineering & Control. 1969. № 11. P. 276-281.

117. Капитанов В. Т. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. – Москва : Транспорт, 1985. – 94 с.

118. Расчет режимов работы светофорного объекта в условиях насыщенного движения / А. А. Власов, Н. А. Орлов, Д. В. Портов, П. Б. Скрипкин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. – С. 41.

119. Трофименко Ю.В. Влияние человеческого фактора на обеспечение безопасности дорожного движения / Трофименко Ю.В., Шашина Е.В. // Безопасность жизнедеятельности. 2016. № 1 (181). С. 24-27.

120. Fan W., Machemehl R. Optimal transit route network design problem: algorithms, implementations, and numerical results // Tech. Rep. SWUTC/04/ 167244-1, Center for Transportation Research, University of Texas. – 2004

121. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613161 Российская Федерация. Программа моделирования транспортных потоков и оптимизации режимов светофорного регулирования "Авеню 2.0": № 2021612091: заявл. 12.02.2021: опубл. 03.03.2021 / М. В. Кузин

122. AvenueApp 2.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://avenue-app.com>

123. Сравнительная оценка уровня экологической опасности автотранспортных средств / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева, М. В. Горбань, О. Ю. Гончаров // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса : Материалы 3-ей Международной научно-практической конференции, Орел, 21–23 мая 2013 года / под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2013. – С. 261-265.

124. Корчагин В.А. Оценка эффективности инженерных решений: учебное пособие / В.А. Корчагин, Ю.Н. Ризаева; под ред. В.А. Корчагина. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 160 с.

125. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. – Изд-во: Автополюс-плюс, 2008. – 78 с.

126. Приказ Минприроды России от 19.11.2021 № 871 «Об утверждении Порядка проведения инвентаризации стационарных источников и выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, корректировки ее данных, документирования и хранения данных, полученных в результате проведения таких инвентаризации и корректировки» [Электронный ресурс] / Сайт Минприроды России. – Режим доступа: https://normativ.org/upload/iblock/a19/q74zbeugn8fflb4rc7fm6405djagc952/Prikaz-Minprirody-ot-19.11.2021-_-871.pdf, свободный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А*(справочное)***Акты внедрения**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Костюкова ул., д.46, Белгород, 308012, тел.(4722)54-20-87, факс (4722)55-71-39.
 E-mail: rector@intbel.ru, http://www.bstu.ru



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

Евтушенко Е.И.

15 августа 2023 г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Комиссия в составе: Полякова В.М. – проректор по цифровой трансформации и образовательной деятельности, к.т.н., доцент; Новиков И.А. – директор транспортно-технологического института, д.т.н, профессор; Загородний Н.А. – заведующий кафедрой эксплуатация и организация движения автотранспорта, к.т.н, доцент, настоящим актом подтверждает внедрение результатов научно-исследовательской работы на тему: «Повышение эффективности светофорного регулирования с учетом изменения динамических показателей автотранспортных средств» (автор – Локтионова А.Г., аспирант) в учебный процесс кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» для преподавания дисциплин «Технические средства организации дорожного движения», «Транспортная логистика», у студентов направления подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов», а также дисциплины «Методология проектирования транспортных систем» у магистрантов направления подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов».

Председатель комиссии:

Поляков В.М.

Члены комиссии:

Новиков И.А.

Загородний Н.А.



**МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"УПРАВЛЕНИЕ БЕЛГОРБЛАГОУСТРОЙСТВО"
(МБУ "УБГБ")**



УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер МБУ "УБГБ"
Рыжков Д.С.
«11» _____ 2022 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
«Повышение эффективности светофорного регулирования с учетом изменения
динамических показателей автотранспортных средств»
аспиранта Локтионовой А.Г.

Мы нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

Начальник ЦОДД Кузьминов Д.В.

Зам. начальника ЦОДД Галюзин А.И.

Зам. начальника СМЭС Черненко Н.Е.

Составили настоящий акт, согласно которому сотрудниками ЦОДД МБУ «УБГБ» администрации г.Белгорода в период с 05.09.2022 г. по 30.09.2022 г. в период с 08:00 до 14:00 на пересечениях магистральной улицы - проспекта Б. Хмельницкого были внедрены новые режимы работы светофорного объекта - программы координации, рассчитанные с использованием показателей «калиброванного автомобиля» как условной транспортной единицы, имеющей усредненные показатели технических и динамических параметров современных транспортных средств, преобладающих в городском транспортном потоке г. Белгорода.

В результате внедрения с использованием имеющегося технологического оборудования были определены значения транспортных задержек при внедрении новых программ координации, которые в сравнении с использованием ранее существующих программ снизились в среднем на 7-9%, в зависимости от дня недели и времени суток.

Считаем целесообразным опробование предлагаемых программ координации на исследуемых перекрестках с выполнением соответствующей корректировки по равномерности движения транспортных потоков.

Председатель комиссии:

 Кузьминов Д.В.

Члены комиссии:

 Галюзин А.И.

 Черненко Н.Е.



БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ

**МИНИСТЕРСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
И ТРАНСПОРТА
БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель министра
автомобильных дорог и транспорта
Белгородской области

Рогов А.А.



АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы
«Повышение эффективности светофорного регулирования
с учетом изменения динамических показателей автотранспортных средств»**

Комиссия в составе Звягинцева А.Н. – начальник отдела развития дорожной инфраструктуры, Дик М.Ю. – консультант отдела развития дорожной инфраструктуры, Михеенко А.А. – консультант отдела развития дорожной инфраструктуры, составила настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Локтионовой А.Г. - аспиранта Белгородского государственного технологического института им. В.Г. Шухова в плане исследования въездных городских участков и типожирования состава транспортного потока использованы в работе Министерства автомобильных дорог и транспорта Белгородской области при подготовке программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Белгородской области.

Председатель комиссии

 Звягинцев А.Н.

Члены комиссии:

 Дик М.Ю.

 Михеенко А.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023613925

«Программа для расчета потока насыщения»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Локтионова Алина Геннадьевна (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*

Заявка № 2023612588

Дата поступления 09 февраля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 21 февраля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Продолжение приложения Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666370

«Программа для расчета тяговой силы транспортных средств»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Локтионова Алина Геннадьевна (RU), Гузенко Сергей Андреевич (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*



Заявка № 2023665044

Дата поступления 17 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 июля 2023 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666371

**«Программа для расчета тягового баланса
транспортных средств в условиях городского движения»**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Локтионова Алина Геннадьевна (RU), Гузенко
Сергей Андреевич (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна
(RU)*

Заявка № 2023665046

Дата поступления 17 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 июля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666372

«Программа для расчета динамического фактора
транспортных средств»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Локтионова Алина Геннадьевна (RU), Шевцова
Анастасия Геннадьевна (RU), Новиков Иван Алексеевич
(RU)*

Заявка № 2023665047

Дата поступления 17 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 июля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666373

«Программа для расчета мощности и крутящего момента двигателя внутреннего сгорания»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Локтионова Алина Геннадьевна (RU), Гузенко Сергей Андреевич (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU)*

Заявка № 2023665048

Дата поступления 17 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 июля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666374

«Программа для расчета ускорений автомобиля»

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (RU)*

Авторы: *Локтионова Алина Геннадьевна (RU), Шевцова Анастасия Геннадьевна (RU), Новиков Иван Алексеевич (RU)*

Заявка № 2023665049

Дата поступления 17 июля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 31 июля 2023 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

Результаты технического расчета динамических характеристик исследуемых легковых ТС в городском ТП г. Белгород

№1. Динамические характеристики модели ЛА - *Lada Vesta*

<i>№ п/п</i>	<i>Динамический фактор, Д</i>	<i>Коэффициент сопротивления дороги, ψ</i>	<i>Скорость движения автомобиля, $v_{ав}$ км/ч</i>	<i>Ускорение автомобиля, j, м/с²</i>
<i>I передача</i>				
1	0,166	0,018	9,48	0,854
2	0,201	0,018	13,12	1,057
3	0,232	0,018	16,77	1,233
4	0,258	0,018	20,41	1,382
5	0,279	0,018	24,05	1,505
6	0,296	0,018	27,69	1,602
7	0,308	0,018	31,34	1,672
8	0,316	0,018	34,98	1,716
9	0,319	0,018	38,62	1,733
10	0,317	0,018	42,27	1,723
11	0,311	0,018	45,91	1,687
12	0,300	0,018	49,55	1,625
13	0,285	0,018	53,20	1,536
14	0,265	0,018	56,84	1,421
<i>II передача</i>				
1	0,088	0,018	17,68	0,561
2	0,107	0,018	24,47	0,706
3	0,122	0,018	31,26	0,829
4	0,135	0,018	38,05	0,930
5	0,145	0,018	44,85	1,011
6	0,152	0,018	51,64	1,069
7	0,157	0,018	58,43	1,107
<i>III передача</i>				
1	0,060	0,018	25,40	0,366
2	0,072	0,018	35,16	0,466
3	0,081	0,018	44,92	0,546
4	0,088	0,018	54,68	0,606
<i>IV передача</i>				
1	0,039	0,018	36,63	0,192
2	0,045	0,018	50,71	0,242
<i>V передача</i>				
1	0,030	0,018	43,97	0,113
2	0,033	0,018	60,00	0,135

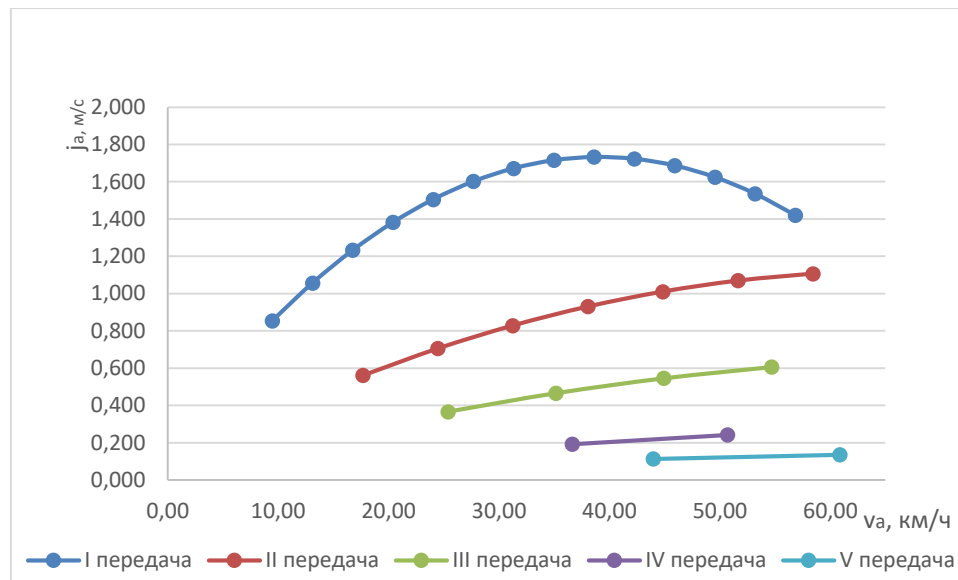


Рисунок 1- Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - Lada Vesta

№2. Динамические характеристики модели ЛА - Gelly Emgrand

№ n/n	Динамический фактор, Д	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, v _а , км/ч	Ускорение автомобиля, j, м/с²
<i>I передача</i>				
1	0,200	0,018	9,73	1,154
2	0,229	0,018	13,77	1,337
3	0,254	0,018	17,82	1,494
4	0,274	0,018	21,86	1,625
5	0,291	0,018	25,90	1,730
6	0,304	0,018	29,95	1,810
7	0,312	0,018	33,99	1,864
8	0,317	0,018	38,03	1,893
9	0,317	0,018	42,08	1,895
10	0,313	0,018	46,12	1,872
11	0,306	0,018	50,17	1,823
12	0,294	0,018	54,21	1,749
13	0,278	0,018	58,25	1,649
<i>II передача</i>				
1	0,119	0,018	16,33	0,808
2	0,135	0,018	23,12	0,942
3	0,149	0,018	29,91	1,054
4	0,161	0,018	36,70	1,146
5	0,169	0,018	43,50	1,217
6	0,176	0,018	50,29	1,266
7	0,179	0,018	57,08	1,295
<i>III передача</i>				
1	0,077	0,018	24,76	0,518
2	0,087	0,018	35,06	0,604

3	0,095	0,018	45,35	0,671
4	0,100	0,018	55,64	0,720
<i>IV передача</i>				
1	0,054	0,018	34,05	0,328
2	0,059	0,018	48,21	0,376
<i>V передача</i>				
1	0,045	0,018	39,68	0,247
2	0,048	0,018	56,18	0,274

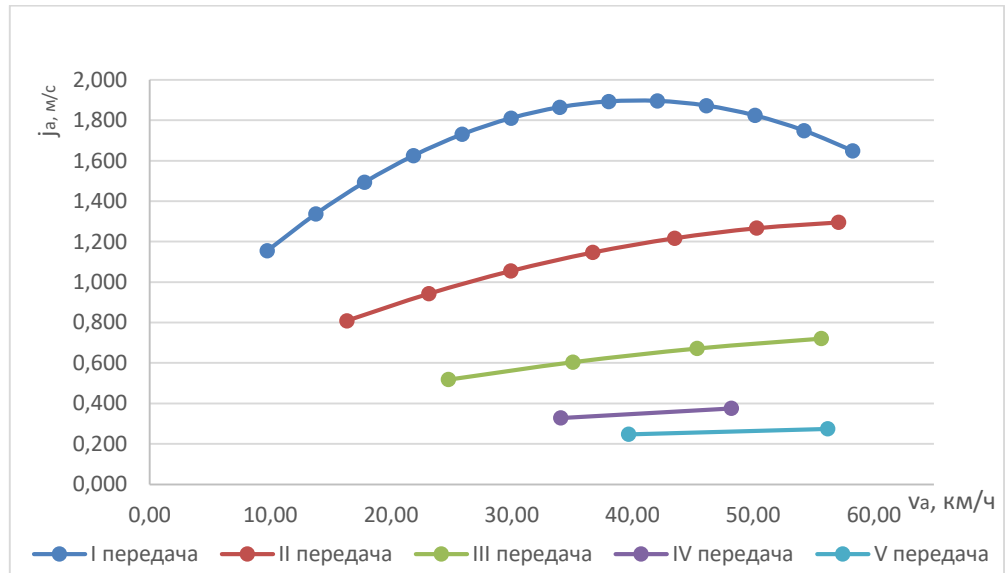


Рисунок 2 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - Gelly Emgrand

№3. Динамические характеристики модели ЛА - Kia Rio

№ n/n	Динамический фактор, Д	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, v_{av} км/ч	Ускорение автомобиля, j , м/с ²
<i>I передача</i>				
1	0,285	0,018	7,96	1,493
2	0,314	0,018	11,34	1,655
3	0,339	0,018	14,71	1,796
4	0,360	0,018	18,08	1,915
5	0,378	0,018	21,46	2,013
6	0,391	0,018	24,83	2,090
7	0,401	0,018	28,20	2,145
8	0,407	0,018	31,57	2,179
9	0,409	0,018	34,95	2,192
10	0,408	0,018	38,32	2,183
11	0,403	0,018	41,69	2,153
12	0,393	0,018	45,07	2,102
13	0,380	0,018	48,44	2,029
14	0,364	0,018	51,81	1,935
15	0,343	0,018	55,19	1,820
<i>II передача</i>				

1	0,154	0,018	14,68	1,066
2	0,169	0,018	20,89	1,185
3	0,182	0,018	27,11	1,286
4	0,193	0,018	33,33	1,370
5	0,201	0,018	39,54	1,435
6	0,207	0,018	45,76	1,483
7	0,211	0,018	51,98	1,513
8	0,212	0,018	58,19	1,525
<i>III передача</i>				
1	0,102	0,018	21,91	0,727
2	0,111	0,018	31,19	0,806
3	0,118	0,018	40,47	0,868
4	0,124	0,018	49,75	0,915
	0,127	0,018	59,03	0,945
<i>IV передача</i>				
1	0,076	0,018	28,97	0,518
2	0,081	0,018	41,24	0,567
3	0,085	0,018	53,51	0,598
<i>V передача</i>				
1	0,060	0,018	35,77	0,379
2	0,062	0,018	50,93	0,402
<i>VI передача</i>				
1	0,047691	0,018	42,69	0,195
2	0,047533	0,018	60,78	0,194

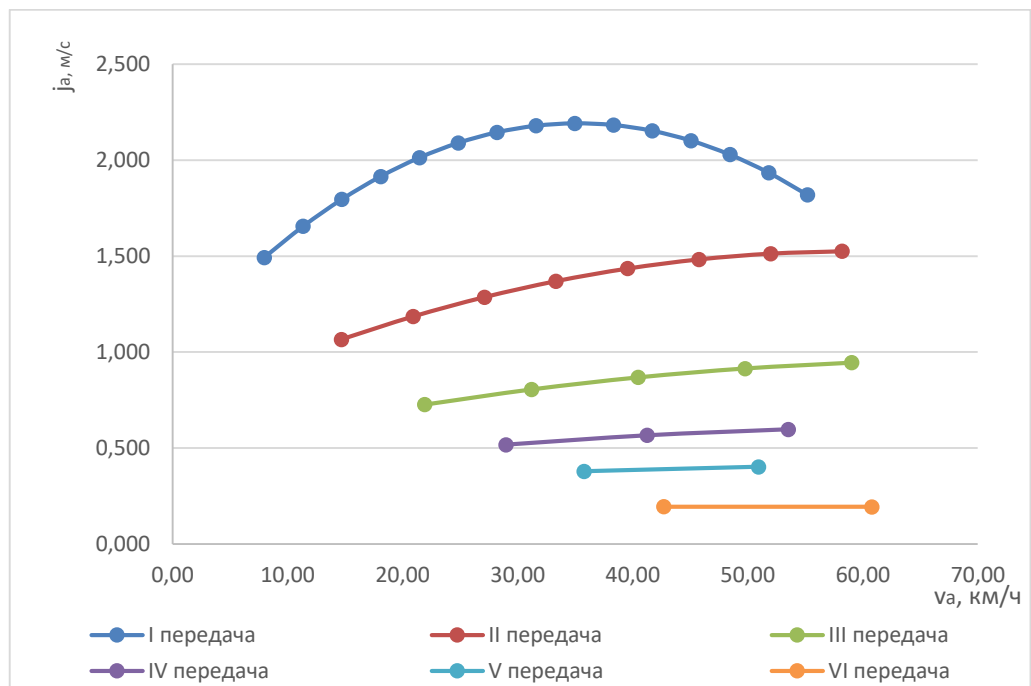


Рисунок 3 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА – *Kia Rio*

№4. Динамические характеристики модели ЛА - *Toyota Camry*

<i>№ n/n</i>	<i>Динамический фактор, Д</i>	<i>Коэффициент сопротивления дороги, ψ</i>	<i>Скорость движения автомобиля, v_{av}, км/ч</i>	<i>Ускорение автомобиля, j, м/с²</i>
<i>I передача</i>				
1	0,050	0,018	9,90	1,351
2	0,115	0,018	14,33	1,504
3	0,171	0,018	18,75	1,636
4	0,221	0,018	23,18	1,748
5	0,263	0,018	27,60	1,840
6	0,298	0,018	32,03	1,911
7	0,325	0,018	36,46	1,963
8	0,345	0,018	40,88	1,994
9	0,358	0,018	45,31	2,004
10	0,363	0,018	49,74	1,995
11	0,361	0,018	54,16	1,965
12	0,352	0,018	58,59	1,915
<i>II передача</i>				
1	0,029	0,018	17,13	0,978
2	0,065	0,018	24,78	1,090
3	0,097	0,018	32,44	1,185
4	0,124	0,018	40,10	1,263
5	0,147	0,018	47,76	1,323
6	0,166	0,018	55,42	1,366
<i>III передача</i>				
1	0,017	0,018	26,27	0,640
2	0,040	0,018	38,02	0,710
3	0,059	0,018	49,77	0,762
4	0,074	0,018	61,52	0,798
<i>IV передача</i>				
1	0,011	0,018	36,03	0,423
2	0,025	0,018	52,14	0,456
<i>V передача</i>				
1	0,005	0,018	47,91	0,253
2	0,012	0,018	69,34	0,246

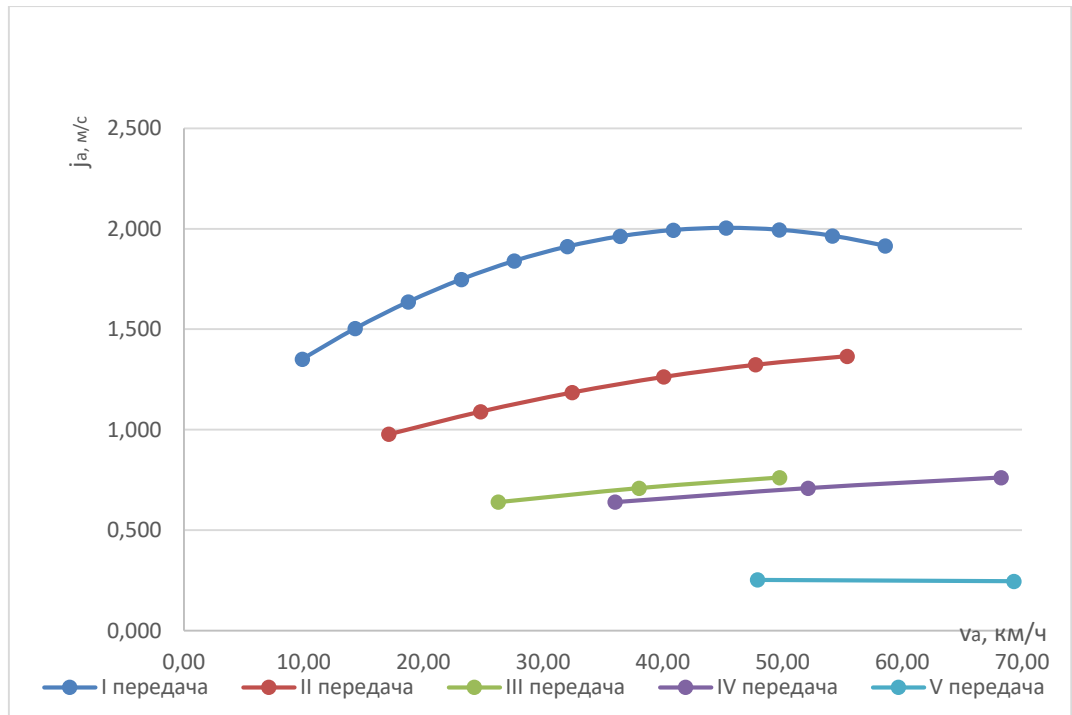


Рисунок 4 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - *Toyota Camry*

№ 5. Динамические характеристики модели ЛА - *Naval Jolion*

№ n/n	Динамический фактор, Д	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, v_a , км/ч	Ускорение автомобиля, j , м/с ²
<i>I передача</i>				
1	0,199	0,018	8,95	0,984
2	0,249	0,018	12,53	1,255
3	0,293	0,018	16,11	1,491
4	0,330	0,018	19,69	1,693
5	0,361	0,018	23,27	1,860
6	0,386	0,018	26,84	1,994
7	0,404	0,018	30,42	2,092
8	0,416	0,018	34,00	2,157
9	0,421	0,018	37,58	2,187
10	0,420	0,018	41,16	2,182
11	0,413	0,018	44,74	2,144
12	0,400	0,018	48,32	2,071
13	0,380	0,018	51,90	1,963
14	0,354	0,018	55,48	1,821
15	0,321	0,018	59,06	1,645
<i>II передача</i>				
1	0,112	0,018	15,85	0,717
2	0,140	0,018	22,19	0,928
3	0,163	0,018	28,53	1,110
4	0,184	0,018	34,88	1,263
5	0,200	0,018	41,22	1,387
6	0,212	0,018	47,56	1,483

7	0,221	0,018	53,90	1,550
8	0,226	0,018	60,24	1,588
<i>III передача</i>				
1	0,071	0,018	24,63	0,454
2	0,087	0,018	34,48	0,596
3	0,101	0,018	44,34	0,714
4	0,112	0,018	54,19	0,807
<i>IV передача</i>				
1	0,046	0,018	36,10	0,251
2	0,055	0,018	50,54	0,330
<i>V передача</i>				
1	0,032	0,018	46,30	0,133
2	0,036	0,018	64,82	0,168
<i>VI передача</i>				
1	0,02554	0,018	53,19	0,054
2	0,026235	0,018	74,46	0,059

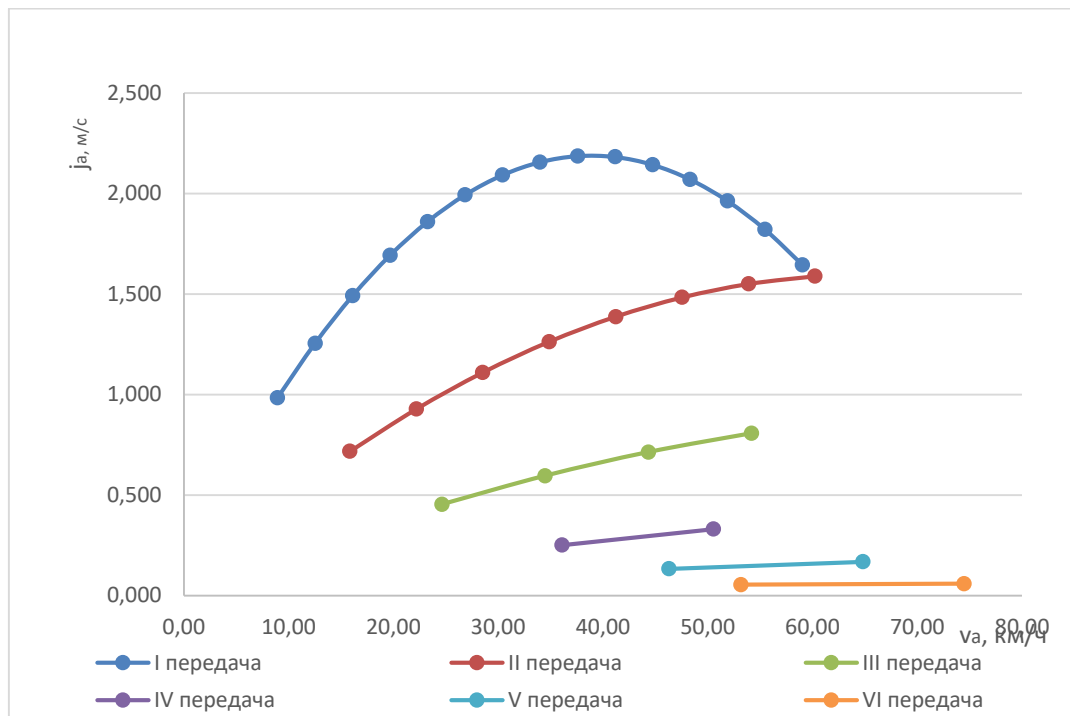


Рисунок 5 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - *Haval Jolion*

№6. Динамические характеристики модели ЛА - *Hyundai Creta*

<i>№ n/n</i>	<i>Динамический фактор, Д</i>	<i>Коэффициент сопротивления дороги, ψ</i>	<i>Скорость движения автомобиля, v_a, км/ч</i>	<i>Ускорение автомобиля, j, м/с²</i>
<i>I передача</i>				
1	0,132	0,018	7,60	0,636
2	0,187	0,018	10,88	0,947
3	0,236	0,018	14,16	1,221
4	0,278	0,018	17,44	1,457
5	0,314	0,018	20,72	1,655

6	0,342	0,018	23,99	1,817
7	0,365	0,018	27,27	1,941
8	0,380	0,018	30,55	2,027
9	0,389	0,018	33,83	2,077
10	0,391	0,018	37,11	2,088
11	0,386	0,018	40,39	2,063
12	0,375	0,018	43,67	2,000
13	0,357	0,018	46,95	1,899
14	0,333	0,018	50,23	1,762
15	0,301	0,018	53,50	1,587
<i>II передача</i>				
1	0,071	0,018	14,01	0,415
2	0,101	0,018	20,05	0,648
3	0,126	0,018	26,09	0,850
4	0,148	0,018	32,14	1,023
5	0,167	0,018	38,18	1,165
6	0,181	0,018	44,22	1,278
7	0,192	0,018	50,27	1,361
8	0,198	0,018	56,31	1,414
<i>III передача</i>				
1	0,043	0,018	22,27	0,223
2	0,061	0,018	31,88	0,375
3	0,076	0,018	41,49	0,503
4	0,087	0,018	51,10	0,606
5	0,096	0,018	60,71	0,685
<i>IV передача</i>				
1	0,031	0,018	29,50	0,120
2	0,043	0,018	42,23	0,225
3	0,052	0,018	54,95	0,306
<i>V передача</i>				
1	0,026	0,018	34,14	0,072
2	0,035	0,018	48,87	0,151
<i>VI передача</i>				
1	0,021	0,018	39,40	0,017
2	0,027	0,018	56,40	0,053

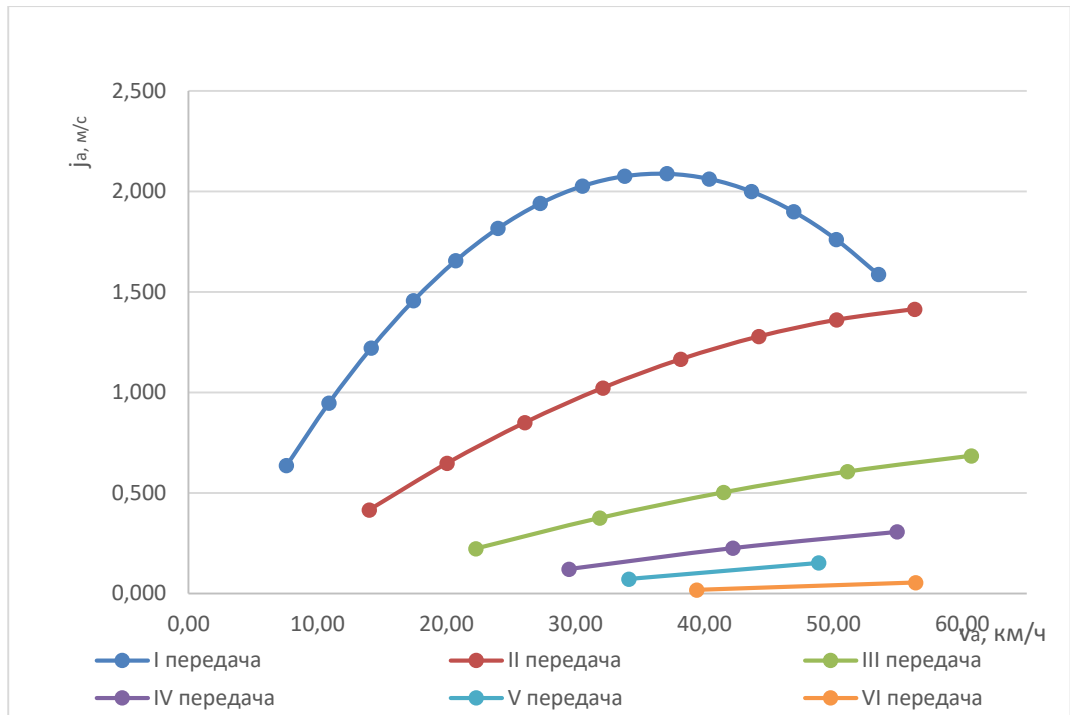


Рисунок 6 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - *Hyundai Creta*

№7. Динамические характеристики модели ЛА - *УАЗ Patriot*

№ п/п	Динамический фактор, D	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, v_a , км/ч	Ускорение автомобиля, j , м/с²
<i>I передача</i>				
1	0,701	0,018	7,96	3,518
2	0,786	0,018	10,27	3,953
3	0,861	0,018	12,58	4,342
4	0,928	0,018	14,89	4,685
5	0,986	0,018	17,20	4,983
6	1,034	0,018	19,51	5,234
7	1,074	0,018	21,82	5,439
8	1,105	0,018	24,13	5,598
9	1,127	0,018	26,44	5,711
10	1,140	0,018	28,75	5,779
11	1,144	0,018	31,06	5,800
12	1,140	0,018	33,36	5,775
13	1,126	0,018	35,67	5,704
14	1,103	0,018	37,98	5,587
15	1,071	0,018	40,29	5,424
<i>II передача</i>				
1	0,382	0,018	14,61	2,750
2	0,428	0,018	18,84	3,096
3	0,468	0,018	23,08	3,404
4	0,504	0,018	27,32	3,676
5	0,535	0,018	31,55	3,909
6	0,561	0,018	35,79	4,106

7	0,582	0,018	40,02	4,265
8	0,598	0,018	44,26	4,387
9	0,609	0,018	48,50	4,471
10	0,616	0,018	52,73	4,518
11	0,617	0,018	56,97	4,527
<i>III передача</i>				
1	0,240	0,018	23,17	1,902
2	0,268	0,018	29,89	2,144
3	0,293	0,018	36,61	2,358
4	0,314	0,018	43,33	2,543
5	0,333	0,018	50,05	2,701
6	0,348	0,018	56,77	2,829
<i>IV передача</i>				
1	0,166	0,018	33,09	1,331
2	0,185	0,018	42,68	1,497
3	0,200	0,018	52,28	1,641
<i>V передача</i>				
1	0,145	0,018	37,60	1,153
2	0,161	0,018	48,50	1,295
3	0,174	0,018	59,40	1,413

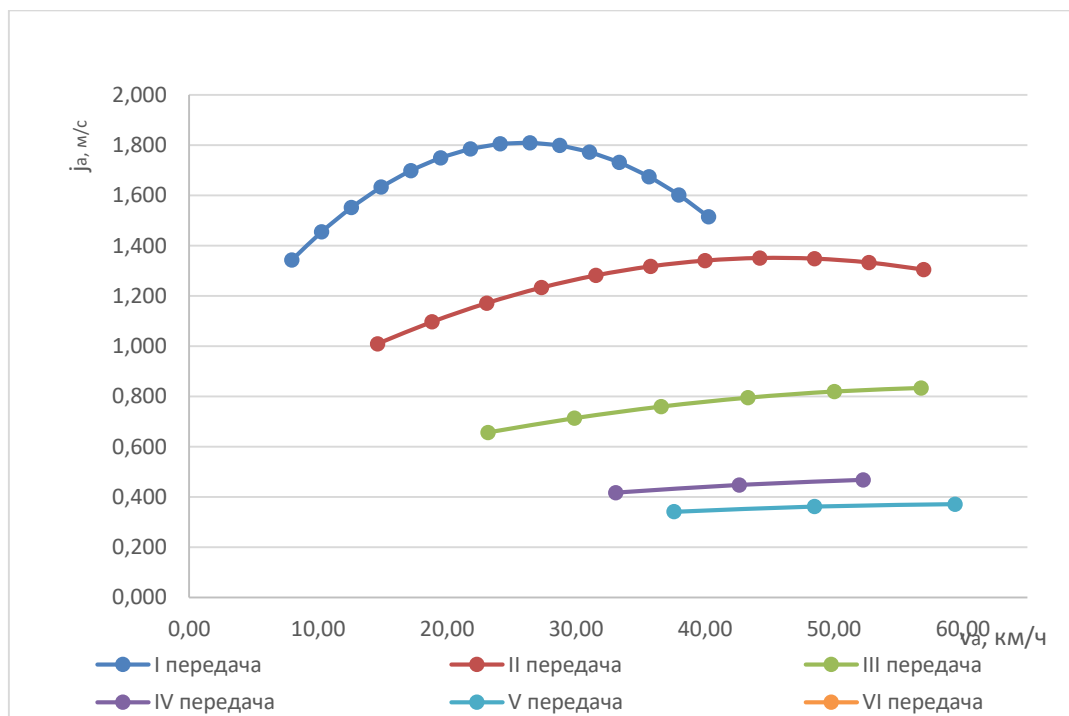


Рисунок 7 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - УАЗ Patriot

№8. Динамические характеристики модели ЛА - Renault Logan

№ n/n	Динамический фактор, Д	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, $v_{ав}$ км/ч	Ускорение автомобиля, j , м/с ²
<i>I передача</i>				
1	0,304	0,018	7,68	1,448

2	0,348	0,018	10,15	1,579
3	0,386	0,018	12,62	1,692
4	0,418	0,018	15,09	1,788
5	0,444	0,018	17,56	1,865
6	0,464	0,018	20,03	1,925
7	0,478	0,018	22,50	1,967
8	0,485	0,018	24,96	1,992
9	0,487	0,018	27,43	1,999
10	0,482	0,018	29,90	1,988
11	0,472	0,018	32,37	1,959
12	0,455	0,018	34,84	1,913
13	0,432	0,018	37,31	1,849
14	0,403	0,018	39,78	1,767
15	0,368	0,018	42,25	1,668
<i>II передача</i>				
1	0,167	0,018	13,98	1,037
2	0,191	0,018	18,47	1,134
3	0,211	0,018	22,97	1,216
4	0,228	0,018	27,46	1,284
5	0,241	0,018	31,95	1,338
6	0,251	0,018	36,44	1,377
7	0,258	0,018	40,94	1,403
8	0,261	0,018	45,43	1,413
9	0,261	0,018	49,92	1,410
10	0,257	0,018	54,42	1,392
11	0,250	0,018	58,91	1,359
<i>III передача</i>				
1	0,113	0,018	20,55	0,718
2	0,128	0,018	27,16	0,784
3	0,141	0,018	33,76	0,838
4	0,152	0,018	40,37	0,880
5	0,159	0,018	46,98	0,910
6	0,165	0,018	53,58	0,927
7	0,168	0,018	60,19	0,932
<i>IV передача</i>				
1	0,082	0,018	27,82	0,496
2	0,092	0,018	36,76	0,538
3	0,100	0,018	45,71	0,567
4	0,106	0,018	54,65	0,584
<i>V передача</i>				
1	0,061	0,018	36,01	0,334
2	0,067	0,018	47,59	0,351
3	0,072	0,018	59,16	0,355

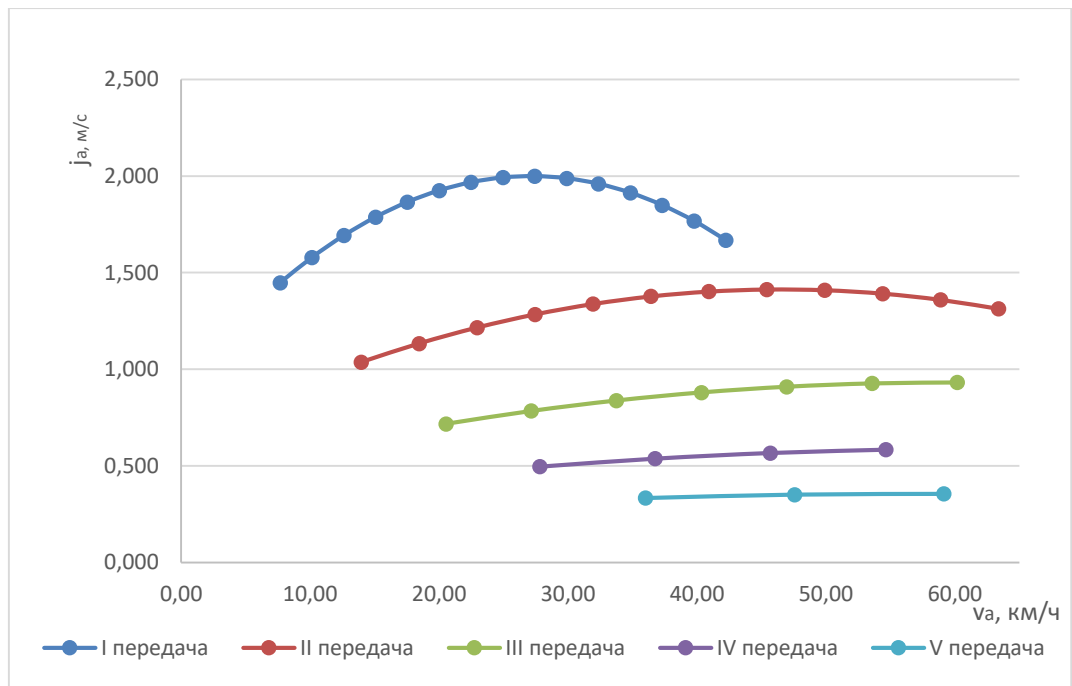


Рисунок 8 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - *Renault Logan*

№9. Динамические характеристики модели ЛА - *Mazda CX-5*

№ n/n	Динамический фактор, Д	Коэффициент сопротивления дороги, ψ	Скорость движения автомобиля, v_a , км/ч	Ускорение автомобиля, j , м/с ²
<i>I передача</i>				
1	0,190	0,018	8,67	0,975
2	0,237	0,018	12,14	1,244
3	0,278	0,018	15,61	1,479
4	0,314	0,018	19,08	1,680
5	0,343	0,018	22,54	1,847
6	0,366	0,018	26,01	1,980
7	0,384	0,018	29,48	2,078
8	0,395	0,018	32,95	2,142
9	0,400	0,018	36,42	2,172
10	0,399	0,018	39,88	2,168
11	0,393	0,018	43,35	2,129
12	0,380	0,018	46,82	2,057
13	0,361	0,018	50,29	1,950
14	0,336	0,018	53,76	1,808
15	0,305	0,018	57,23	1,633
<i>II передача</i>				
1	0,099	0,018	16,48	0,646
2	0,123	0,018	23,07	0,840
3	0,144	0,018	29,66	1,007
4	0,162	0,018	36,25	1,147
5	0,176	0,018	42,84	1,260
6	0,187	0,018	49,43	1,345
7	0,194	0,018	56,02	1,404

<i>III передача</i>				
1	0,065	0,018	24,68	0,409
2	0,080	0,018	34,55	0,540
3	0,092	0,018	44,42	0,648
4	0,102	0,018	54,29	0,733
<i>IV передача</i>				
1	0,050	0,018	31,18	0,287
2	0,061	0,018	43,65	0,381
3	0,069	0,018	56,12	0,453
<i>V передача</i>				
1	0,039	0,018	38,33	0,189
2	0,045	0,018	53,66	0,250
<i>VI передача</i>				
1	0,028479	0,018	47,18	0,069
2	0,031094	0,018	66,05	0,086

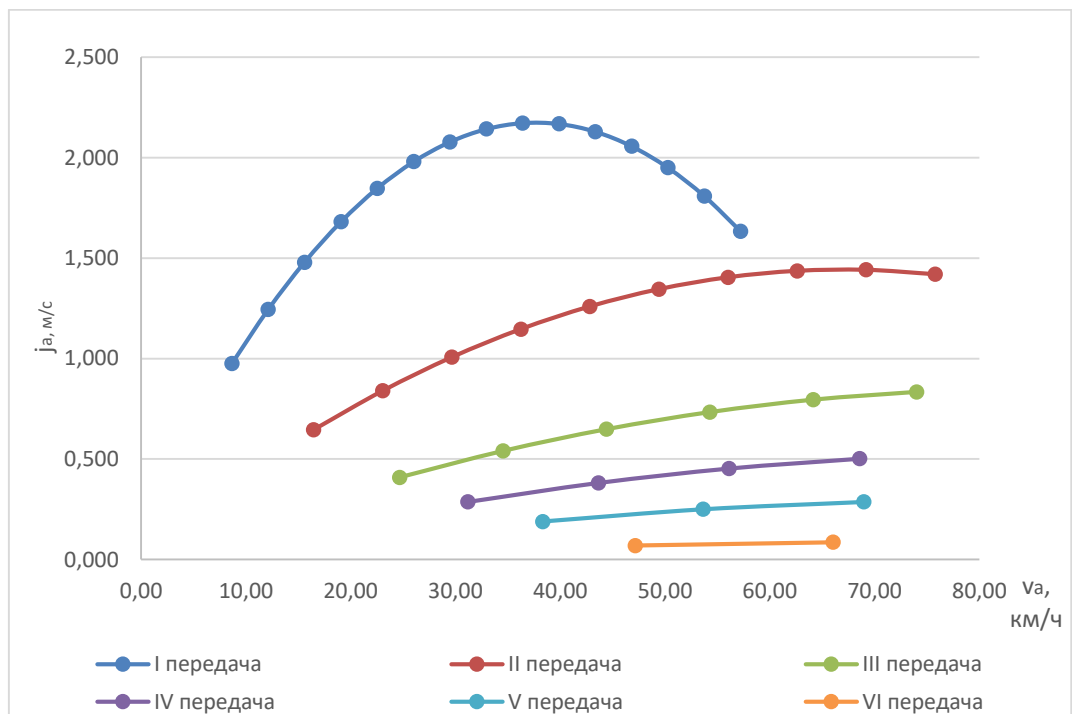


Рисунок 9 - Графическое изображение динамической характеристики модели ЛА - Mazda CX-5