

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Г. ШУХОВА»

На правах рукописи



**Камбур Алина Сергеевна**

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ  
НА ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
доцент  
**Кущенко Лилия Евгеньевна**

Белгород 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4	
 Глава 1 ПРОБЛЕМА АВАРИЙНОСТИ С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ ..... 10		
1.1 Анализ состояния аварийности с погибшими на мировом уровне .....	10	
1.2 Оценка аварийности с погибшими в Российской Федерации и Белгородской области.....	13	
1.3 Изучение причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов .....	25	
1.4 Пути решения проблемы: методики, модели. <u>Профилактика дорожно-</u> <u>транспортного травматизма .....</u>	31	
1.5 Выводы по главе 1 .....	36	
 Глава 2 ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВА ДТП И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ В РЕГИОНЕ .....		39
2.1 Определение зависимости между количеством ДТП с участием пешеходов и дорожными условиями .....	39	
2.2 Исследование характеристик пешеходного потока на территории региона 46		
2.2.1 Изучение параметров движения пешеходного потока в условиях городской агломерации .....	48	
2.2.2 Изучение параметров движения пешеходного потока за пределами города .....	51	
2.3 Разработка методики сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом .....	53	
2.3.1 Обучение сверточных нейронных сетей .....	56	
2.3.2 Способы увеличения точности распознавания сверточной нейросети...	62	

2.4 Определение корреляционной связи между количеством ДТП с участием пешеходов и временными интервалами .....	63
2.5 Выводы по главе 2.....	67
Глава 3 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ПОДХОДА.....	70
К СНИЖЕНИЮ НАЕЗДОВ НА ПЕШЕХОДА И ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ В ПУТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ .....	70
3.1 Разработка математической модели управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующуюся на основе свода правил нечеткой логики .....	70
3.1.1 Управление длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования посредством среды Matlab .....	81
3.2 Разработка системы повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу .....	87
3.3 Выводы по главе 3.....	89
Глава 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ .....	91
4.1 Снижение потерь от ущерба, связанного с ДТП .....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	97
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И <u>УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ</u> .....	101
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	116
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	126

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Повышение безопасности движения пешеходов обуславливается высокими показателями смертности вследствие наступления дорожно-транспортного происшествия (ДТП) с вышеуказанными участниками движения.

Данный вопрос является приоритетным направлением государственной политики и важным фактором обеспечения устойчивого социально-экономического и демографического развития страны согласно прогноза социально-экономического развития на период до 2030 года. Указом президента России определены национальные цели развития страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. До 2030 года смертность на дорогах по сравнению с 2023 годом должна сократиться в 1,5 раза, до 2036 – в 2 раза.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью повышения безопасности дорожного движения (БДД) и эффективности функционирования участков улично-дорожной сети (УДС), в частности пешеходных переходов (ПП) на основе комплекса мероприятий, способствующих минимизации вероятности возникновения ДТП, а следовательно, снижения смертности на дорогах.

**Степень разработанности темы.** Вопросам повышения безопасности дорожного движения на пешеходных переходах, а также совершенствования организации дорожного движения посвящены научные работы следующих отечественных и зарубежных ученых: М.Б. Афанасьев, В.Ф. Бабков, В.Н. Басков, С.Ю. Бригеда, В.Е. Верейкин, В.М. Власов, А.Н. Воробьев, А.Э. Горев, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, Д.Б. Ефименко, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И. Клинковштейн, В.И. Коноплянко, В.Г. Кочерга, Ю.А. Кременец, Л.Е. Кущенко, Г.Я. Маркелов, А.Ю. Михайлов, Е.В. Куракина, Д.Ю. Морозов, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, М.П. Печерский, А.А. Поляков, И.Н. Пугачев, В.В. Сильянов, В.Н. Сытник, С.П. Бейкер, Ф.В. Вебстер,

А. Вильявесес, Д. Дрю, М.Л. Кларк, Т.М. Метсон, А.Д. Миллер, Ф. Рачиоппи, К. Тингвалл, В. Хэддон, Л. Эриксон и др.

Анализ наездов на пешеходов, происходящих на нерегулируемых и регулируемых ПП свидетельствует о высоком уровне аварийности.

Проведение полного статистического анализа ДТП с тяжкими последствиями и со смертельным исходом позволит выявить места концентрации ДТП, временные интервалы с наибольшим количеством ДТП, время года и другие факторы, оказывающие влияние на вероятность возникновения ДТП.

Развитие практико-ориентированных методик и методов повышения безопасности дорожного движения таких участников дорожного движения как пешеходы, а также разработка математических моделей с непосредственным обучением нейронной сети и теории нечеткой логики требует постановки и решения научной задачи.

**Целью** работы является повышение безопасности движения пешеходов на нерегулируемых и регулируемых пешеходных переходах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести анализ причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов, на основании которого установить взаимосвязь между количеством дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов и дорожными условиями, влияющими на возникновение дорожно-транспортных происшествий.

2. Разработать методику сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом.

3. Выявить зависимость между количеством дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные дорожно-транспортные происшествия.

4. Разработать математическую модель управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующуюся на основе свода правил нечеткой логики.

5. Разработать систему повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу для минимизации вероятности возникновения наезда на пешехода.

6. Произвести апробацию и осуществить экономическую оценку предложенных решений с точки зрения повышения безопасности дорожного движения.

**Объект исследования** – пешеходные потоки на нерегулируемом и регулируемом пешеходных переходах.

**Предметом исследования** являются характеристики пешеходного потока в различных местах и условиях движения в регионе.

**Научная новизна исследования:**

1. На основании статистических данных и сведений о дорожно-транспортных происшествиях, при которых они были совершены, установлена взаимосвязь между количеством наездов на пешеходов и дорожными условиями в городских агломерациях.

2. На основании теории вероятностей и математической статистики получены новые зависимости между количеством наездов на пешеходов и установленным временным интервалом, позволяющие выявить места повышенной аварийности, на которых необходимо проводить организационно-технические мероприятия.

3. Впервые разработана и апробирована математическая модель управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующаяся на основе свода правил нечеткой логики, позволяющих эффективно изменять длительность разрешающего сигнала светофорного регулирования, снижая задержки транспортных средств в пути.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Взаимосвязь между количеством дорожно-транспортных происшествий и существующими условиями в городской агломерации.

2. Методика сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом.

3. Сформированная база правил системы нечеткого вывода входных  $[\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3]$  и выходной  $[\alpha_4]$  лингвистических переменных, характеризующих параметры пешеходного потока, эффективно осуществляющая выбор команды для управления светофорным объектом.

4. Система повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу, позволяющая снизить вероятность наезда на пешехода.

5. Апробация разработанных мероприятий с точки зрения повышения безопасности дорожного движения и оценка экономических показателей.

**Теоретическая значимость работы** состоит в установлении зависимости между количеством дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов и дорожными условиями с детализацией факторов, влияющих на возникновение дорожно-транспортных происшествий; разработке методики сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом; разработке математической модели управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующуюся на основе свода правил нечеткой логики.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке системы повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу для минимизации вероятности возникновения наезда на пешехода за счет совокупности и совершенствования элементов технических средств организации дорожного движения и применении результатов исследования органами исполнительной власти и федеральными структурами на уровне субъекта, что подтверждено актами внедрения, выданными: муниципальным бюджетным учреждением «Управление Белгорблагоустройство» (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.**

Задачи, установленные в диссертационном исследовании, решены посредством применения натурного наблюдения, методов обработки статистических данных, полученных в результате проведения видеофиксации, математического и имитационного моделирования, теории нечеткой логики, нейронных сетей, системного анализа.

**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 и аprobация результатов.** Основные положения и результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на конференциях и форумах: «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2017-2018 гг., 2020-2025 гг.,); «Образование. Наука. Производство» (Белгород, 2018-2025 гг.); «Организация и безопасность движения» (Тюмень, 2018-2019 гг.); «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов, 2020-2022 гг.); MATEC Web of Conferences The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems», (ITMTS 2021); «Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте» (Вологда, 2021 г.); «Проблемы национальной экономики в цифрах статистики» (Тамбов, 2021 г.); «Современные автомобильные материалы и технологии» (Курск, 2021-2023 гг.); «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк, 2022 г.); «Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты» (Донецк, 2022 г.); «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2022-2024 гг.); «Молодежь и транспорт. Настоящее и будущее» (Орёл, 2023-2024 гг.); «Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути

совершенствования» (Орёл, 2024 г.); «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург 2024 г.).

**Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.**

Проведенные исследования в диссертационной работе удовлетворяют требованиям, содержащимся в паспорте научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по пункту 3. «Исследование закономерностей, разработка моделей, алгоритмов и специального программного обеспечения в решении задач проектирования, организации, планирования, управления и анализа транспортного процесса»; по пункту 8. «Исследования в области технологий организации дорожного движения, развития технических средств организации дорожного движения».

**Личный вклад автора.** Автором поставлена цель и установлены задачи, указаны направления теоретических и экспериментальных исследований, проведен анализ собранных статистических данных, выявлены основные положения, направленные на разработку методики, математической модели и системы, способствующих повышению безопасности дорожного движения на пешеходных переходах, а также приведены основные результаты диссертационного исследования, их апробация и сформулированы выводы.

**Публикации.** Основные положения научно-квалификационной работы изложены в 1 монографии, 20 статьях, в том числе 8 – в ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций, 3 – в изданиях, включенных в зарубежные аналитические базы данных SCOPUS/ Web of Science, получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Завершенная научно-квалификационная работа включает в себя введение, четыре главы, заключение, список принятых сокращений и условных обозначений, а также список литературы из 144 источников и 4 приложений. Текст диссертации изложен на 127 страницах машинописного текста и имеет 16 таблиц и 59 рисунков.

## **Глава 1 ПРОБЛЕМА АВАРИЙНОСТИ С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ**

### **1.1 Анализ состояния аварийности с погибшими на мировом уровне**

Исходя из Доклада Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о состоянии безопасности дорожного движения (БДД), за период прошлого десятилетия с 2014 г. по 2024 г. удалось снизить показатели смертности в результате ДТП на 5%, что составляет 1,2 млн случаев летальных исходов в год [1-3].

При более 40 – 50 млн случаев возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) люди получают ранения различной степени тяжести, становятся инвалидами, что негативно отражается на работоспособности, экономике, а также демографической составляющей [3].

Аварийность на дорогах представляет собой огромную проблему в области здравоохранения, так как вероятность гибели пешеходов, велосипедистов и других уязвимых участников дорожного движения (ДД) остается на высоких прогрессирующих показателях [3].

Согласно статистическому анализу аварийности на мировом уровне лидирующие позиции в Грузии, показатели составляют 163,6 тыс. чел на 1 млн. чел. В Российской Федерации аварийность немного ниже – 160,4 тыс. чел., в Армении – 114,7 тыс. чел., в Индии – 111,5 тыс. чел., в США – 109,5 тыс. чел., в Болгарии - 98,6 тыс. чел., в Турции – 95,7 тыс. чел., в Латвии – 94,5 тыс. чел., в Албании – 93,5 тыс. чел [3].

Самые низкие показатели аварийности в результате ДТП наблюдаются в Норвегии и составляют 22,5 тыс. чел., в Швеции – 26,4 тыс. чел., в Великобритании – 27,7 тыс. чел., в Швейцарии – 30,5 тыс. чел., в Ирландии – 35,8 тыс. чел., в Испании – 36,4 тыс. чел., в Нидерландах – 36,7 тыс. чел., в Японии – 38,3 тыс. чел., в Израиле – 38,4 тыс. чел [3].

Показатели аварийности (тыс. чел. на 1 млн чел.) представлены на рисунке 1.

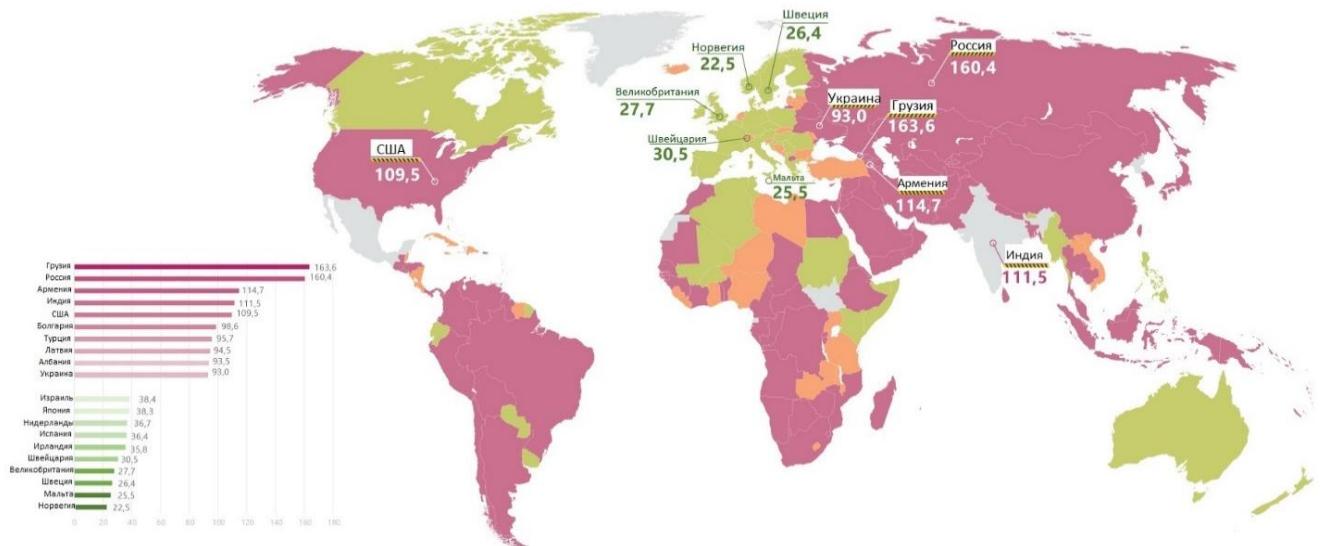


Рисунок 1 – Показатели аварийности (тыс. чел. на 1 млн чел.)

Снижение смертности в результате ДТП (более 50%) удалось достичь в десятке стран, например, Беларусь, Дания, Япония, Литва, Норвегия, РФ и другие.

Снижение показателей смертности в результате ДТП на 30-50% удалось достичь в более 30 странах мира.

В Юго-Восточной Азии самые высокие показатели смертности в результате ДТП – 28%; на Тихом океане – 25%, в Африке – 19%, Америка – 12%, Восточное Средиземноморье – 11%, Европа – 5%.

Высокие показатели смертности в результате ДТП связаны с низким уровнем дохода, недоступностью медицинской помощи в регионах Африки и Азии.

Около 52% всех смертельных случаев на дорогах приходится на уязвимых участников ДД: пешеходы составляют 22%, мотоциклисты – 23%, велосипедисты – 4%, пассажиры ТС – 31% и другие – 21%.

Процентное распределение смертности на дорогах мира в зависимости от участников дорожного движения показано на рисунке 2.

В результате такого вида ДТП, как наезд на пешеходов, процентное количество погибших составило: в Европе – 26%, на долю Восточного Средиземноморья приходится 27%, в Америке – 22%, в Юго-Восточной Азии –

13%, в Западной части Тихого океана – 23%, а в Африке самые высокие показатели – 39%.

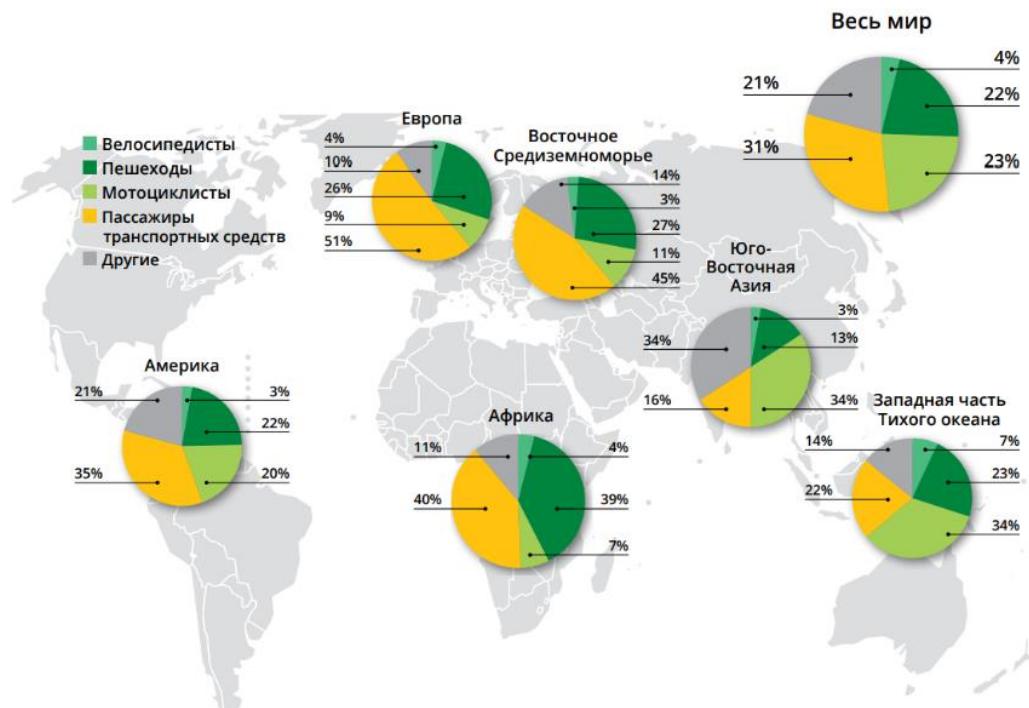


Рисунок 2 – Распределение смертности на дорогах мира в зависимости от участника ДД

За период прошлого десятилетия количество погибших пешеходов на мировом уровне увеличилось на 3%, а количество погибших велосипедистов – на 15%.

По данным исследований, 80% дорог в мире не отвечают стандартам безопасности пешеходов и лишь 0,2% дорог имеют велосипедные полосы, что подвергает опасности данных участников ДД.

Причиной смертности детей в возрасте от 5 лет, а также молодых людей в возрасте до 29 лет, является дорожно-транспортный травматизм. Большинство аварий на дорогах происходит с участниками трудоспособного возраста. На рисунке 3 представлены показатели дорожно-транспортной смертности в Европейском регионе ВОЗ в разбивке по возрастным группам и полу.

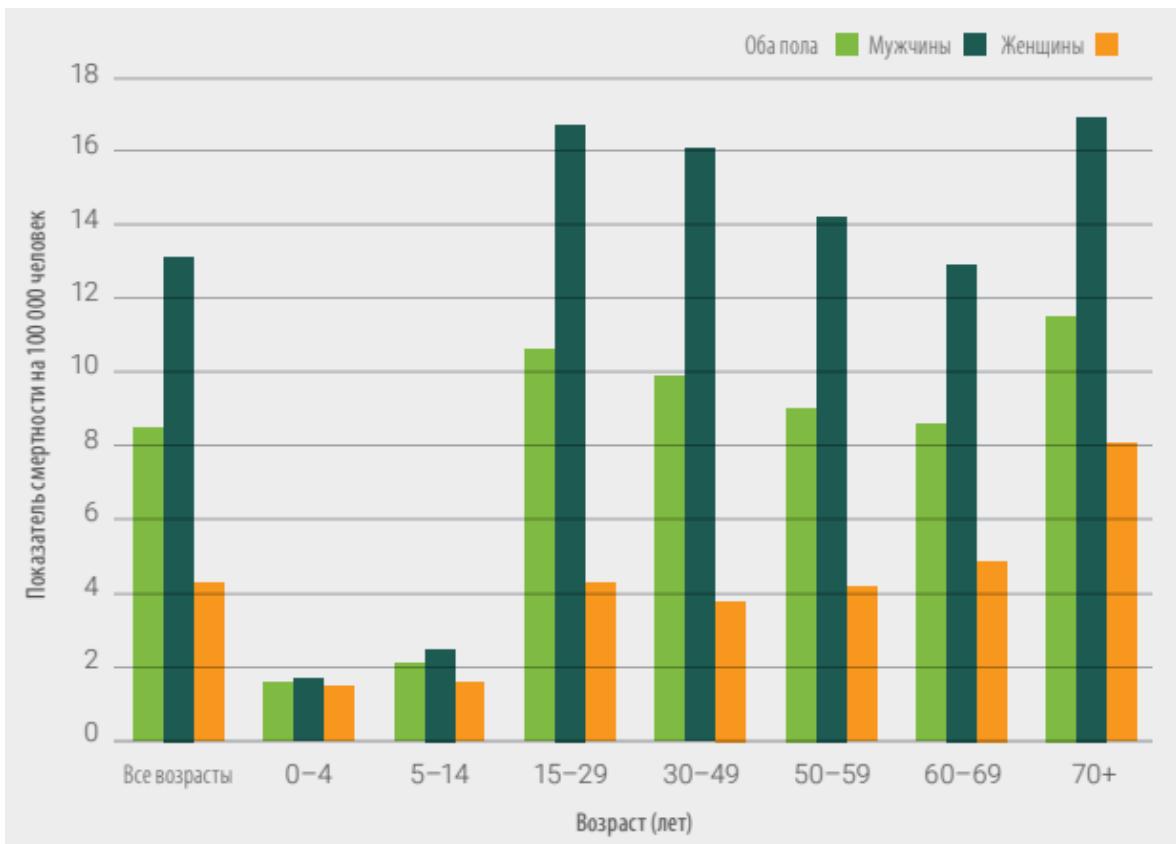


Рисунок 3 – Дорожно-транспортная смертность в Европейском регионе ВОЗ  
в разбивке по возрастным группам и полу

Доклад ВОЗ о состоянии БДД в мире за 2024 г. является пятым в серии докладов, посвященных оценке прогресса в снижении смертности в результате ДТП. В нем отражен прогресс, достигнутый в период прошлого десятилетия, и приведены исходные данные для принятия мер по достижению намеченного в рамках Десятилетия действий ООН 2021–2030 гг. целевого показателя, предусматривающего сокращение вдвое количества смертей в результате дорожных происшествий к 2030 г.

## **1.2 Оценка аварийности с погибшими в Российской Федерации и Белгородской области**

Интенсивность движения транспортных потоков (ТП) и пешеходных потоков (ПП) является одним из важных факторов, влияющих не только на пропускную способность дороги, но и на БДД.

Рациональное управление ПП благоприятно влияет на улучшение пропускной способности автодороги, снижение заторов и рисков возникновения ДТП с участием пешеходов, а также количество выбросов вредных веществ в атмосферу [9].

Посредством нейронной сети и методики ее обучения наблюдается положительная динамика при управлении длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования для ПП.

Управлению движением ТП и ПП посвящено множество разработок, методов, моделей, стратегий как в России, так и за рубежом.

Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с последующим прогнозом до 2035 г. обеспечивают целостный (системный) подход к решению проблемы дорожно-транспортного травматизма.

Снижение показателей аварийности и смертности является первоочередной задачей страны. Указом президента России определены национальные цели развития страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. До 2030 года смертность на дорогах по сравнению с 2023 годом должна сократиться в 1,5 раза, до 2036 – в 2 раза.

Согласно информационно-аналитическому обзору Научного центра безопасности дорожного движения (НЦ БДД) МВД России за 2024 год, наезд на пешеходов является вторым по частоте в РФ видом происшествий на дорогах (27,6%), на который приходится четверть (25,8%) от общего числа погибших в ДТП [3, 4, 10, 11].

Анализируя статистику аварийности установлено, что в осенне-зимний период количество наездов на пешеходов стремительно увеличивается. Основная причина такой тенденции заключается в сокращении светового дня, ухудшении погодных условий, что сопровождается увеличением тормозного пути за счет снижения сцепления автомобиля с дорожным покрытием [12, 13].

По данным исследования НЦ БДД выяснилось, что применение светоотражающих элементов на одежде позволяет сократить количество ДТП в

темное время суток в 6,5 раз, но в 79% случаев наезда на пешеходов в темное время суток светоотражающие элементы отсутствуют [14-16].

За указанный период в России зафиксировали снижение количества ДТП с пострадавшими на 8,2% — до 41,9 тысячи случаев. В них погибли 4467 человек (-3,1%) и пострадали 53 101 человек (-8,5%).

Сократилось количество ДТП с участием детей на 3,3% (5018 чел.), число погибших — на 14,2% (158 чел.) и раненых — на 3,1% (5348 чел.).

Отмечено снижение случаев ДТП по причине выезда на встречную полосу на 9,9% (3837 чел.), погибших в них стало на 4,5% меньше (1123 чел.), раненых — на 9,8% (6837 чел.).

Наезд на пешехода занимает 2-е место по причинам аварийности и составляет, после столкновения транспортных средств. Далее идут нарушения требований светофорного регулирования, правил проезда кольцевого движения, несоблюдение дистанции.

Показатели аварийности с участием водителей с признаками алкогольного опьянения снизились практически на 20% в сравнении с предыдущим годом, это связано с ужесточением наказания и штрафов. Число погибших в данных происшествиях уменьшилось более чем на 30% (785 чел.), раненых в них — на 19,2% (5567 чел.).

Отмечено, что успешно достигнуты целевые показатели снижения аварийности нацпроекта «Безопасные качественные дороги». По итогам 2024 года удалось достичь значения транспортного риска ниже, чем планового значения — 2,47 против 2,57. Социальный риск равен плановому значению — 10,2.

Снижение аварийности и смертности установлено в ряде регионов РФ, например, Орловская, Белгородская, Воронежская, Липецкая области, а также в республиках Калмыкия, Мордовия, Татарстане и Карачаево-Черкессии.

Количество погибших растет и зафиксировано в 25 субъектах РФ. Каждое произошедшее ДТП анализируется, изучается и устанавливаются его причины и условия в момент совершения ДТП. Определяются очаги аварийности, с

помощью которых в дальнейшем определяется внедрение того или иного мероприятия для предотвращения вероятности возникновения ДТП.

На рисунке 4 представлены основные показатели количества погибших в дорожных происшествиях (на 1000 чел.) по регионам страны за 2024 год.



Рисунок 4 – Количество погибших в ДТП (на 1000 чел.)  
по регионам страны в 2024 г.

Количество наездов на пешеходов в 2020 – 2024 гг. сократилось на 8,5%, но тем не менее число погибших возросло практически на 2%, раненых – на 3%.

Совершенствованные технические средства организации дорожного движения, а именно, источники уличного освещения, дорожные знаки, вертикальная и горизонтальная разметка, выбор оптимального скоростного режима движения при приближении к ПП различных видов безусловно оказывают существенное влияние на снижение такого вида ДТП, как наезд на пешеходов.

Количество ДТП с участием пешеходов за 2018-2024 гг. в РФ представлено на рисунке 5.

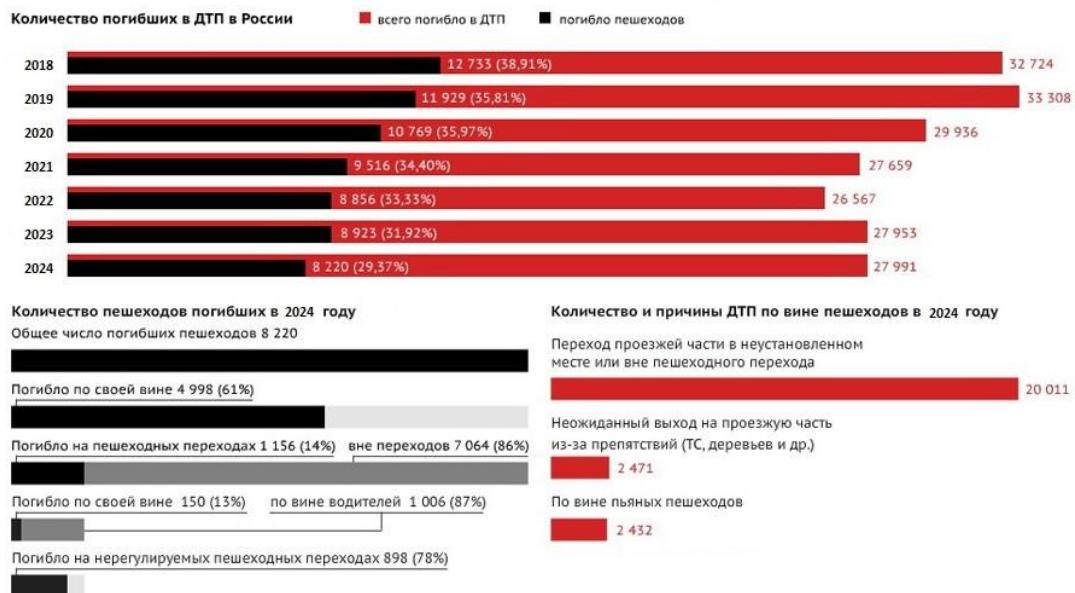


Рисунок 5 – Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2018-2024 гг. в РФ

Проведенный анализ статистических данных свидетельствует о том, что необходимо регулярно уделять особое внимание безопасности движения пешеходов.

С 2018 г. по 2024 г. наблюдается тенденция снижения аварийности из-за наездов на пешеходов на 2%.

Несмотря на снижение количества ДТП с участием пешеходов, виден рост числа погибших в данных дорожных происшествиях на 10%, что еще раз подтверждает актуальность выбранной темы и свидетельствует о необходимости разработки моделей, методик и мероприятий, направленных на повышение безопасности движения пешеходов.

На территории Белгородской области происходят ДТП по различным причинам с различной степенью тяжести и последствий.

Анализ проведен на основе официальных данных ГИБДД по Белгородской области за период 2020-2024 гг. На рисунке 6 представлены основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов на территории Белгородской области за 2020-2024 гг., на рисунке 7 – на территории Белгородской городской агломерации (БГА).

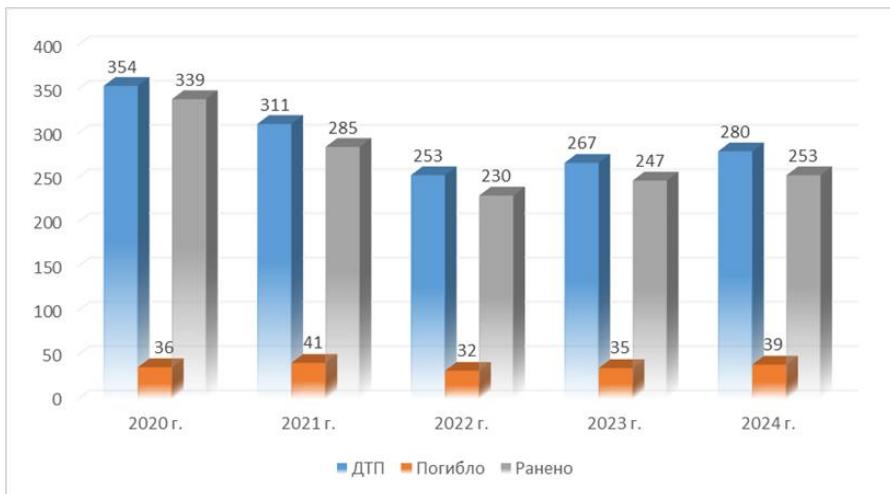


Рисунок 6 – Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2020-2024 гг. в регионе

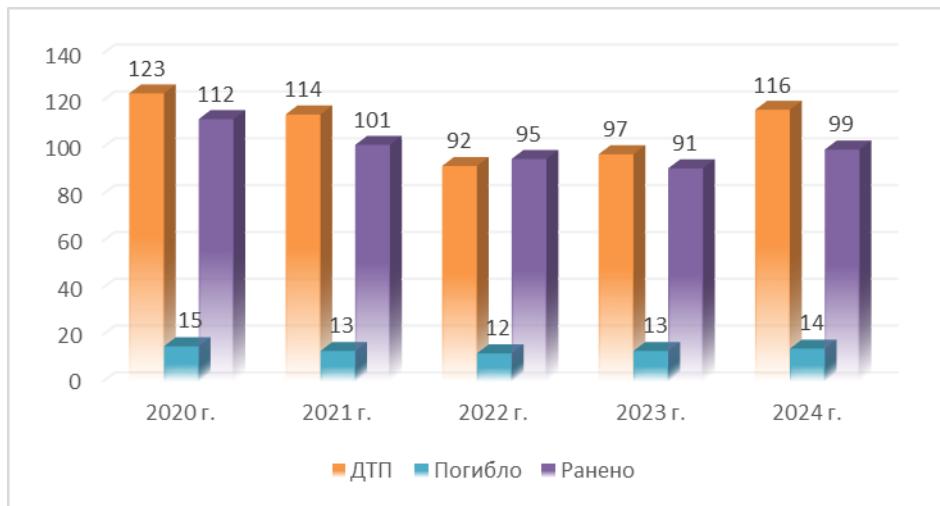


Рисунок 7 – Основные показатели аварийности из-за наездов на пешеходов за период 2020-2024 гг. в Белгородской городской агломерации

В 2020 г. на территории Белгородской области зарегистрировано было 354 ДТП (-1,7%), связанных с наездами на пешеходов, в которых погибло 36 чел. (-12,4%), получили ранения 339 чел. различной степени тяжести (-0,8%).

Рассматривая 2021 г. было отмечено, что на территории Белгородской области количество наездов на пешеходов сократилось, но увеличилось число погибших. Показатели составили 311 ДТП (-12,1%), в которых погибли 41 чел. (+14,1%), получили ранения 285 чел. различной степени тяжести (-15,9%).

В 2022 г. на территории Белгородской области наблюдается сокращение количества наездов на пешеходов.

В 2022 г. совершено 253 ДТП (-18,6%), в которых погибло 32 чел. (-21,9%), получили ранения 230 чел. различной степени тяжести (-19,3%).

Рассматривая 2023-2024 гг. было отмечено, что на территории Белгородской области ежегодно количество наездов на пешеходов увеличивалось.

В 2023 г. совершено 267 ДТП (+5,5%), в которых погибло 35 чел. (+9,4%), получили ранения 247 чел. различной степени тяжести (+7,4%).

В 2024 г. совершено 280 ДТП (+4,9%), в которых погибло 39 чел. (+11,4%), получили ранения 253 чел. различной степени тяжести (+2,4%).

При проведении анализа статистических данных о количестве ДТП установлено, что наезды на пешеходов занимают второе место после такого вида ДТП, как столкновение (рисунок 8).



Рисунок 8 – Процентное соотношение видов ДТП

В ходе проведения диссертационного исследования за изучаемую территорию была определена Белгородская городская агломерация (БГА), ввиду того, что она занимает 1/3 региона, в ее состав входят дороги местного, регионального и федерального значений, а количество ДТП с участием пешеходов составило 38%.

Детализированный анализ статистики ДТП указывает на следующие результаты с участием пешеходов в регионе за последние 5 лет, где наибольший

процент занимают ДТП на нерегулируемом пешеходном переходе, а именно, более 55 % (рисунок 9).



Рисунок 9 – Процентное соотношение распределения ДТП с участием пешеходов в регионе

В 2020 г. на территории БГА на нерегулируемых ПП было совершено 97 ДТП, в которых 102 чел. получили ранения, 17 чел. погибли. На регулируемых ПП было совершено 62 наезда, в которых 63 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2021 г. на территории БГА количество ДТП с наездами на пешеходов сократилось и составляет: на нерегулируемых ПП 88 ДТП, в которых 93 чел. получили ранения, 14 чел. погибли; на регулируемых ПП - 57 наездов, в которых 55 чел. получили ранения, 5 чел. погибли.

В 2022 г. статистика ДТП с участием пешеходов на регулируемых и нерегулируемых ПП улучшается: на нерегулируемых ПП совершено 83 ДТП, в которых 97 чел. получили ранения, 10 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 49 наездов, в которых 51 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2023 г. и в 2024 г. статистика ДТП с участием пешеходов на регулируемых и нерегулируемых ПП ежегодно увеличивается.

В 2023 г. на нерегулируемых ПП совершено 94 ДТП, в которых 92 чел. получили ранения, 13 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 63 наезда, в которых 68 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2024 г. на нерегулируемых ПП совершено 86 ДТП, в которых 94 чел. получили ранения, 14 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 64 наезда, в которых 60 чел. получили ранения, 7 чел. погибли.

Распределение наездов на пешеходов и погибших в них в зависимости от места совершения представлено на рисунке 10.

Отмечено, что в городах и населенных пунктах количество наездов на пешеходов за период 2020-2024 гг. стабильно снижается.

Вне города установлено снижение за период 2020-2022 гг., а в 2023-2024 гг. отмечено увеличение наездов на пешеходов.



Рисунок 10 – Распределение наездов на пешеходов в зависимости от места совершения за период 2020-2024 гг.

В 2020 г. в городах и населенных пунктах совершено 182 ДТП с участием пешеходов (-2,3%), в которых 187 чел. ранены (+1,4%), 16 чел. погибли (-11,8%). Вне городов и населенных пунктов совершено 172 ДТП с участием пешеходов (-1,3%), в которых 152 чел. ранены (-2,2%), 20 чел погибли (-1,1%).

Рассматривая 2021 г. и 2022 г., отмечено снижение показателей как в городах и населенных пунктах, так и вне городов и населенных пунктов.

В 2021 г. в городах и населенных пунктах совершено 165 ДТП с участием пешеходов (-9,3%), в которых 144 чел. ранены (-23%), 22 чел. погибли (+37,5%); вне городов и населенных пунктов совершено 146 ДТП с участием пешеходов (-15,1%), в которых 141 чел. ранены, (-7,2%), 19 чел. погибли (-5%).

В 2022 г. в городах и населенных пунктах совершено 142 ДТП с участием пешеходов (-13,9%), в которых 132 чел. ранены (-8,3%), 14 чел. погибли (-36,4%).

Вне городов и населенных пунктов совершено 111 ДТП с участием пешеходов (-24%), в которых 98 чел. ранены (-30,5%), 18 чел. погибли (-5,3%).

В 2023-2024 гг. в городах и населенных пунктах по-прежнему снижаются показатели наездов на пешеходов, в то время, как вне городов и населенных пунктов значительно увеличилось количество ДТП с участием пешеходов.

В 2023 г. в городах и населенных пунктах совершило 114 ДТП с участием пешеходов (-19,7%), в которых 103 чел. ранены (-22%), 17 чел. погибли (+21,4%). Вне городов и населенных пунктов совершено 153 ДТП с участием пешеходов (+37,8%), в которых 144 чел. ранены (+29,7%), 18 чел. погибли.

В 2024 г. в городах и населенных пунктах совершило 104 ДТП с участием пешеходов (-8,8%), в которых 94 чел. ранены (-8,7%), 16 чел. погибли (-5,9%). Вне городов и населенных пунктов совершено 176 ДТП с участием пешеходов (+15,1%), в которых 159 чел. ранены (+10,4%), 23 чел. погибли (+27,8%).

В 2020 г. наблюдается снижение погибших в ДТП с участием пешеходов в г. Белгород, а также по всем районам области, кроме Новооскольского и Чернянского районных округов (рисунок 11).

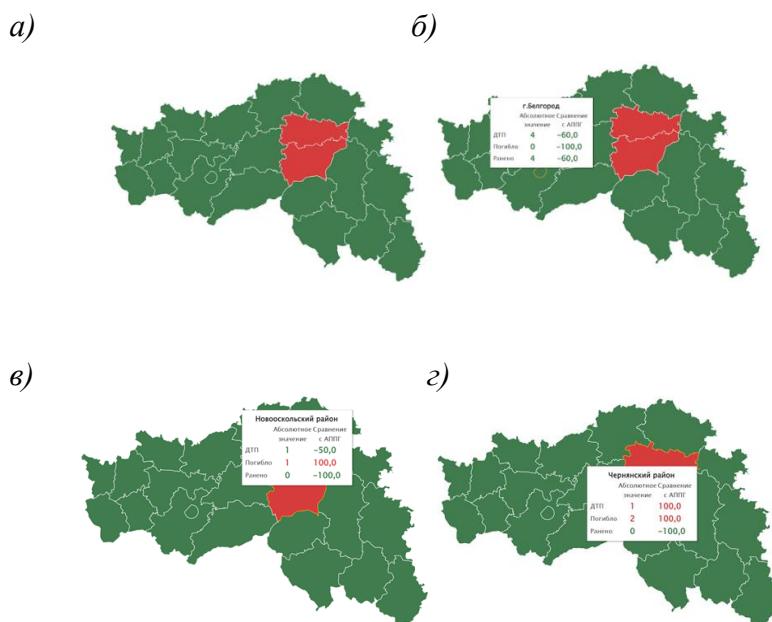


Рисунок 11 – Показатели снижения и увеличения погибших пешеходов по районным округам Белгородской области за 2020 г.

В 2021 году наблюдается снижение погибших в ДТП с участием пешеходов по всем районам области, кроме Яковлевского, Старооскольского, Красногвардейского и Волоконовского районных округов, а в г. Белгород – без изменений (рисунок 12).

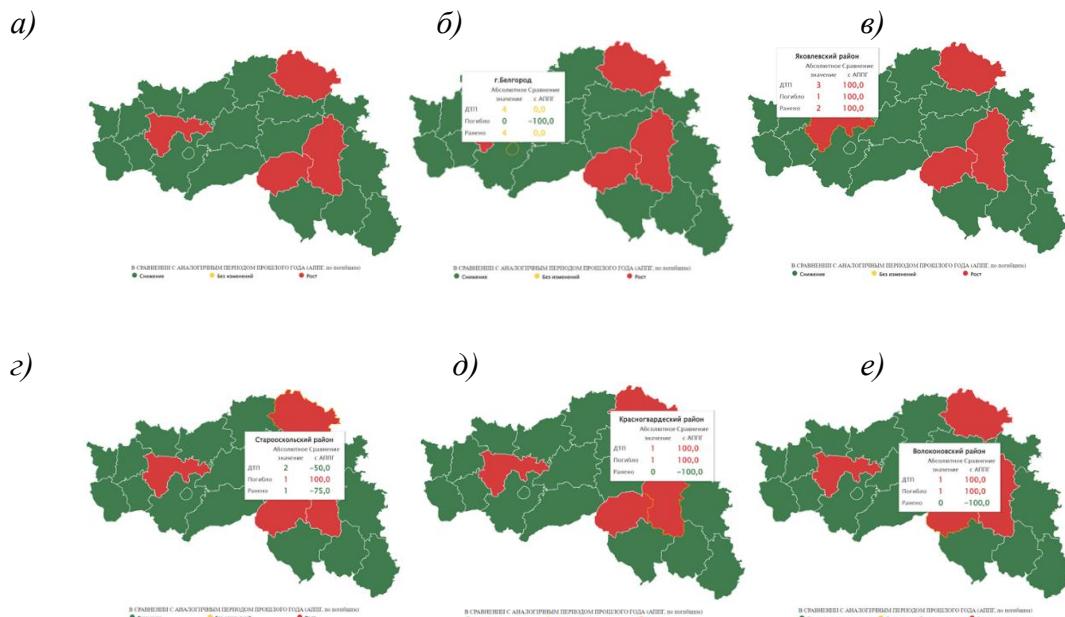


Рисунок 12 – Показатели снижения и увеличения погибших пешеходов по районным округам Белгородской области за 2021 г.

В 2022 г. наблюдается снижение погибших в ДТП с участием пешеходов по всем районам области, кроме Ивнянского, Шебекинского, Валуйского районных округов, а также г. Белгород (рисунок 13).

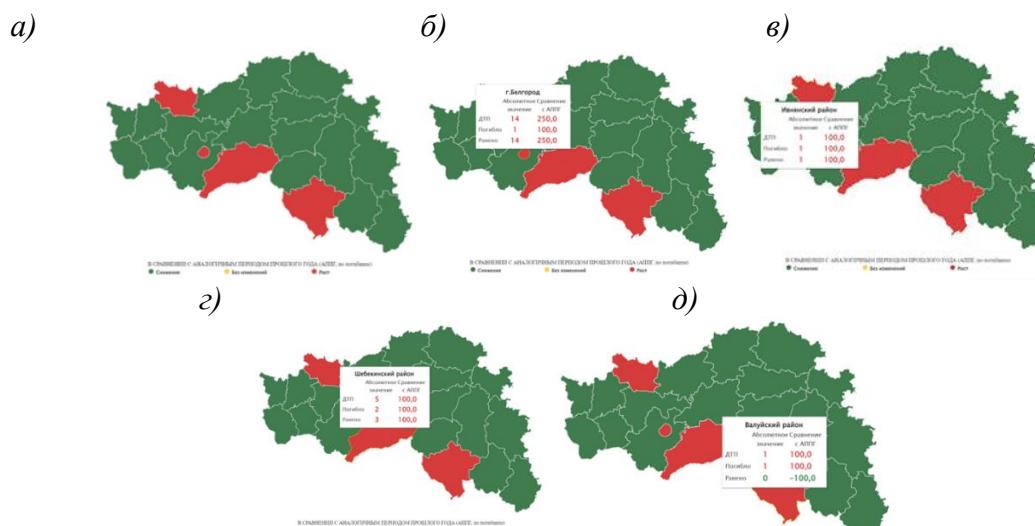


Рисунок 13 – Показатели снижения и увеличения погибших пешеходов по районным округам Белгородской области за 2022 г.

В 2023 г. наблюдается снижение погибших в ДТП с участием пешеходов по всем районам области, кроме Чернянского и Старооскольского районов, в Валуйском районе – без измерений (рисунок 14).

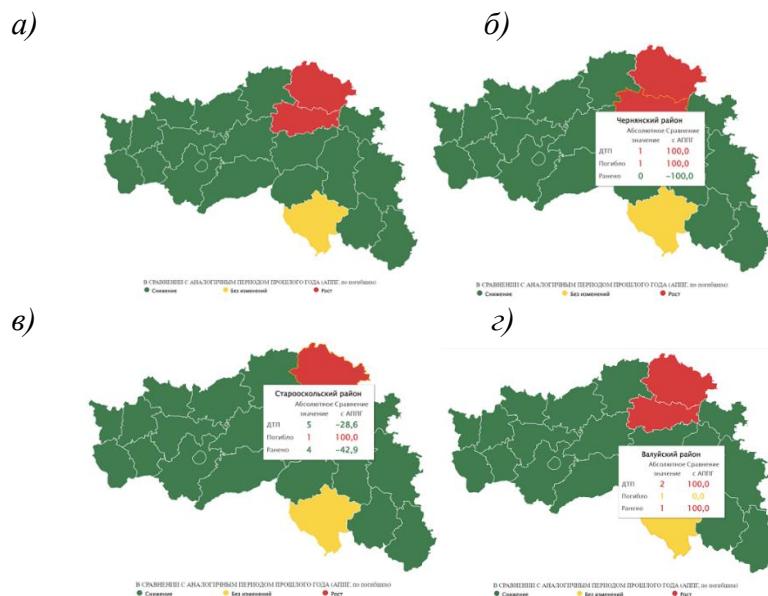


Рисунок 14 – Показатели снижения и увеличения погибших пешеходов по районным округам Белгородской области за 2023 г.

В 2024 г. наблюдается снижение погибших в ДТП с участием пешеходов по всем районам области, кроме Борисовского, Белгородского и Старооскольского районов (рисунок 15).

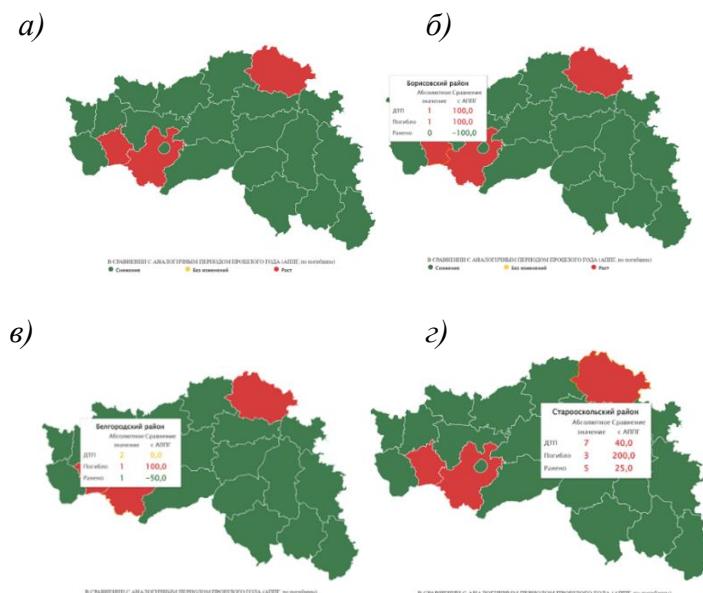


Рисунок 15 – Показатели снижения и увеличения погибших пешеходов по районным округам Белгородской области за 2024 г.

Анализ наездов на пешеходов свидетельствует о высоком уровне аварийности с данными участниками ДД.

Проведение полного статистического анализа ДТП с тяжкими последствиями и со смертельным исходом позволит выявить места концентрации ДТП, временные интервалы с наибольшим количеством ДТП, время года и другие факторы, оказывающие влияние на вероятность наездов на пешеходов.

### **1.3 Изучение причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов**

Для установления причин возникновения ДТП с участием пешеходов, в первую очередь, необходимо изучить статистику нарушений ПДД как со стороны водителей, так и со стороны самих пешеходов.

Распределение наездов на пешеходов в зависимости от вины участника представлены на рисунках 16, 17.

С 2020 г. по 2024 г. основными нарушениями ПДД в наездах на пешеходов со стороны водителей являлись:

- несоблюдение скоростного режима – 23%;
- не предоставление преимущества движению пешеходов – 18%;
- нарушение правил проезда пешеходного перехода – 16%;
- нарушение правил расположения ТС на проезжей части – 14%;
- нарушение правил проезда на запрещающий сигнал светофора – 12%;
- вождение ТС в состоянии алкогольного или наркотического опьянения – 10%;
- другие нарушения ПДД водителей – 7%.



Рисунок 16 – Нарушения ПДД в наездах на пешеходов со стороны водителей за период 2020-2024 гг.

Основные нарушения ПДД в наездах на пешеходов по вине пешехода:

- переход через проезжую часть вне пешеходного перехода – 38%;
- переход через проезжую часть в неустановленном месте – 24%;
- ходьба вдоль проезжей части при наличии в удовлетворительном состоянии тротуаров – 18%;
- неподчинение сигналам регулирования – 12%;
- иные нарушения пешеходов – 8%.

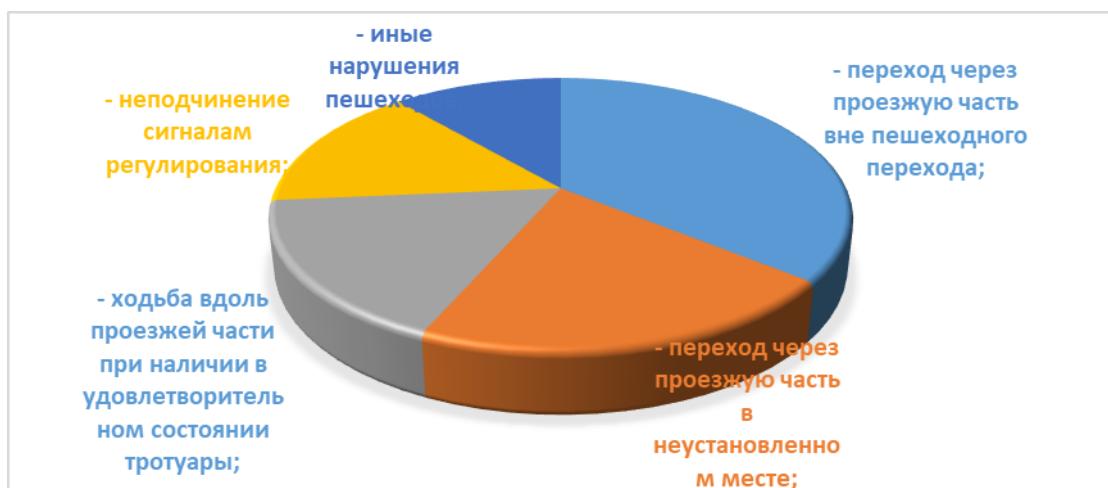


Рисунок 17 – Нарушения ПДД в наездах на пешеходов со стороны пешеходов за период 2020-2024 гг.

Вид транспортного средства также играет важную роль при изучении причин возникновения ДТП с участием пешеходов [21].

По статистике за 2024 г. на территории РФ с легковыми автомобилями произошло 99 548 случаев, причем с марта по август наблюдается тенденция увеличения происходящего [22, 23].

С грузовыми автомобилями 15 997 случаев, в течение года стабильная ситуация без критических увеличений, либо снижений.

С автобусами 7110 случаев, большая часть которых приходится на холодное время года. Вероятнее всего дело в некачественном покрытии шин у данных ТС.

С мотоциклистами дела обстоят иначе: 7485 случаев приходится на теплое время года с мая по сентябрь, т.е. в «мотосезон».

На рисунке 18 представлено ежемесячное распределение случаев возникновения ДТП по видам транспорта за 2020-2024 гг. на федеральном уровне.



Рисунок 18 – Распределение количества ДТП в зависимости от времени и вида ТС в течение 5 лет

На рисунке 19 представлено число ДТП с участием пешеходов в зависимости от дня недели.

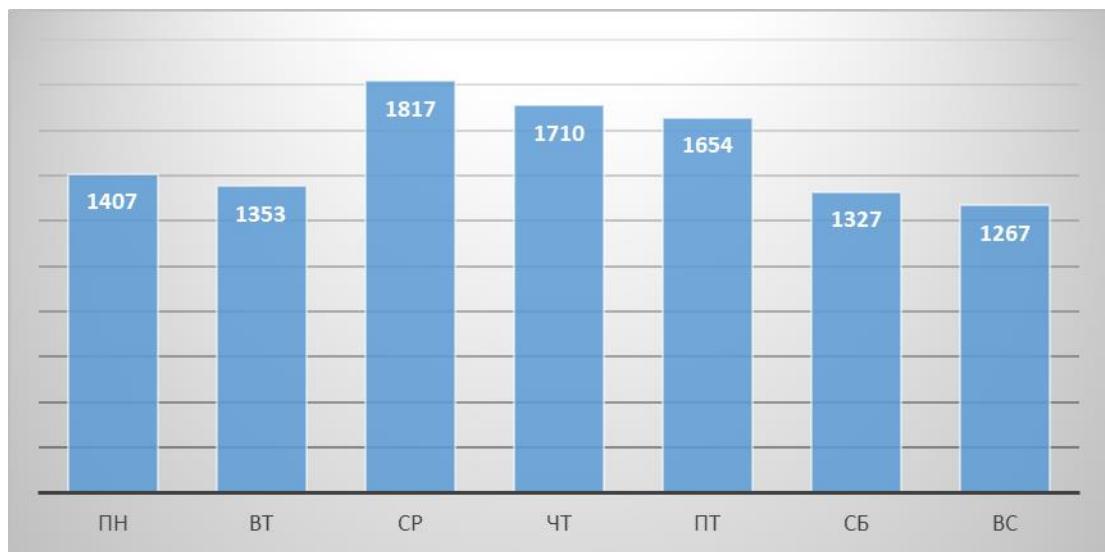


Рисунок 19 – Количество наездов на пешеходов в зависимости от дня недели за последние 5 лет в РФ

Рассматривая статистику наездов на пешеходов по дням недели за 2020-2024 гг. в Белгородском регионе отмечается, что в понедельник было совершено 198 наездов на пешеходов, во вторник – 286, в среду – 272, в четверг – 257, в пятницу – 236, в субботу – 148, в воскресенье – 157 (рисунок 20).

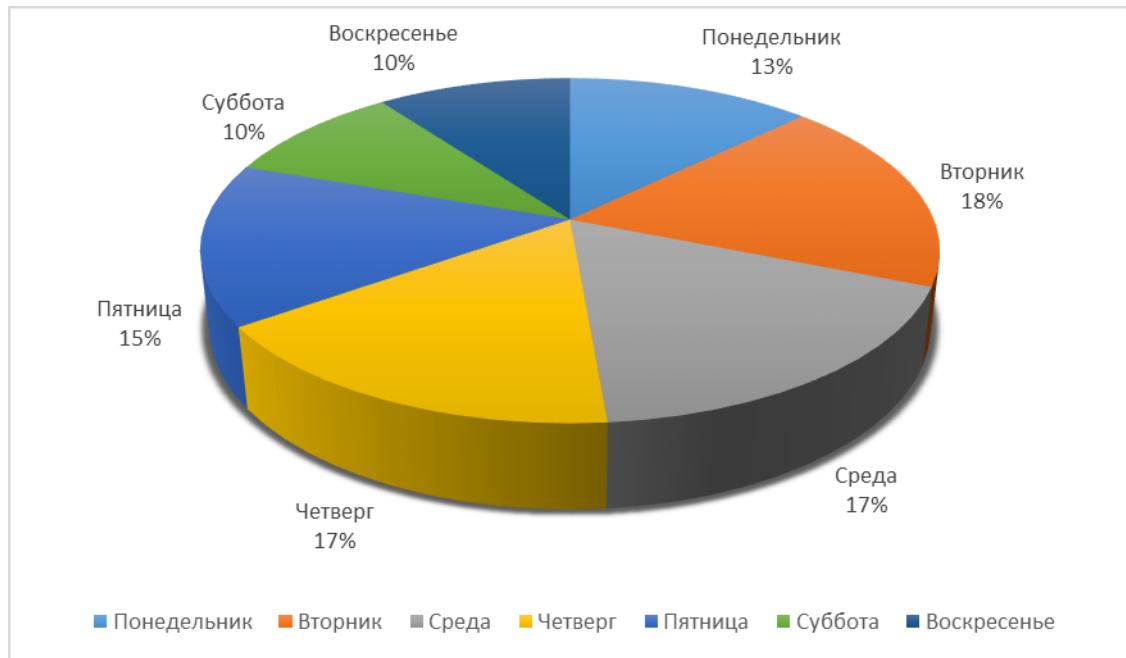


Рисунок 20 – Распределение наездов на пешеходов по дням недели за период 2020-2024 гг.

Время суток и тип также имеет свои особенности при установлении причин ДТП с участием пешеходов.

Например, в период с 06:00 ч до 07:00 ч в утренний пик случаев наездов на пешеходов при спешке на работу, восходе солнца, «сонности» организма.

В период с 16:00 ч до 17:00 ч в вечерний пик, после работы люди спешат в детские сады, школы, магазины, психоэмоциональный фон и усталость после работы отрицательно сказываются на БДД, и, тем самым, учащаются случаи наездов на пешеходов.

На рисунке 21 продемонстрировано количество ДТП с участием пешеходов по времени суток на территории РФ.



Рисунок 21 – Количество ДТП с участием пешеходов по времени суток на территории РФ за 2020-2024 гг.

Водительский стаж и возраст влияют на время и реакцию водителя при внештатной ситуации. На рисунках 22, 23 представлены графики ДТП в зависимости от стажа и возраста водителя.

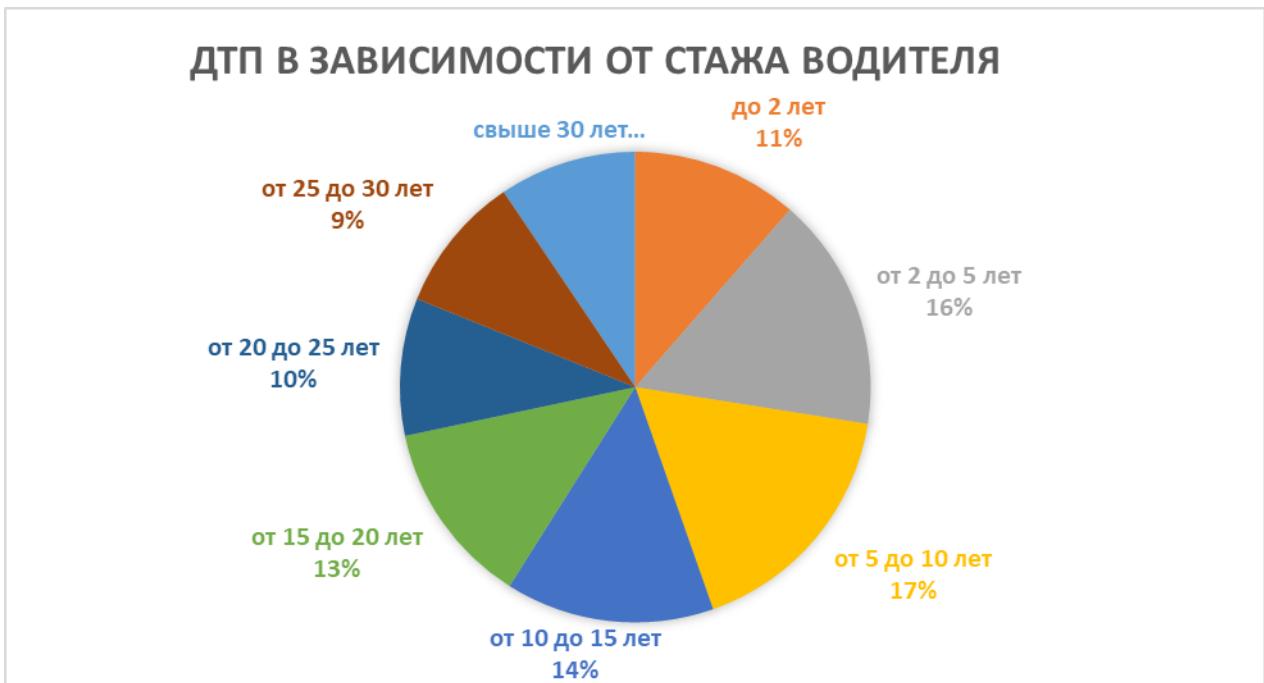


Рисунок 22 – ДТП в зависимости от стажа водителя



Рисунок 23 – Возраст виновного водителя

На рисунке 24 разделение по полу виновного водителя в ДТП (среди ДТП, в которых водитель признан виновным). Как видно из графика, женщины водят намного безопаснее, соблюдая ПДД.

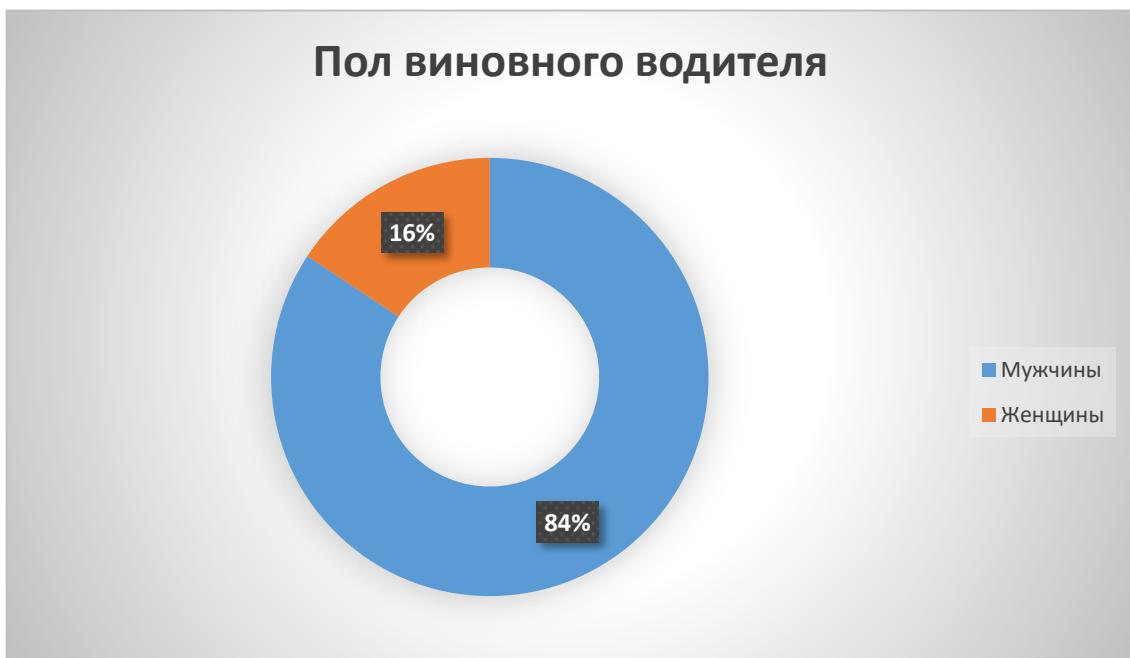


Рисунок 24 – Пол виновного водителя

#### **1.4 Пути решения проблемы: методики, модели. Профилактика дорожно-транспортного травматизма**

Снижение показателей аварийности и смертности является первоочередной задачей страны. Указом президента России определены национальные цели развития страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. До 2030 года смертность на дорогах по сравнению с 2024 годом должна сократиться в 1,5 раза, до 2036 – в 2 раза.

В настоящее время идет подготовка проекта Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2025-2030 годы с перспективой до 2036 года, которая будет увязана с новым национальным проектом «Инфраструктура для жизни».

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года обеспечивают целостный (системный) подход к решению проблемы дорожно-транспортного травматизма [27].

Перечисленные нормативно-правовые документы направлены на достижение основной цели – социально-экономическое развитие страны посредством внедрения инновационных разработок, способствующих снижению

смертности на дорогах РФ. Главную роль данных стратегий играет увеличение конкурентоспособности национальной экономики, направленной на повышение качества и комфорта населения.

Стратегии разработаны в соответствии с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации», «Основными параметрами прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020-2030 годов», а также «Демографической политикой Российской Федерации на период до 2025 года».

Кроме того, в рамках этих программ разработаны документы стратегического планирования, которые включают в себя целый комплекс мероприятий. Эти мероприятия объединены общими задачами, сроками их выполнения, исполнителями и необходимыми ресурсами. Все эти документы и стратегии направлены на снижение показателей аварийности на дорогах, уменьшение числа смертей и травм среди участников ДД, особенно среди уязвимых групп, таких как пешеходы и дети-пешеходы.

Таким образом, реализация данных стратегий не только способствует улучшению безопасности на дорогах, но и в целом создает более безопасную и комфортную среду для передвижения по территории РФ.

Эффективная работа по снижению дорожно-транспортного травматизма требует комплексного подхода, включающего в себя как законодательные инициативы, так и практические меры, направленные на улучшение инфраструктуры и повышение осведомленности населения о ПДД [28-30].

К основным методам определения БДД относят [12, 20, 31, 77]:

1. Статистические методы обработки данных ДТП.
2. Методы определения параметров условий и режимов движения автомобилей.
3. Методы анализа конфликтных ситуаций.
4. Методы, основанные на поведении водителя.
5. Методы определения комплексной БДД.

- Рейнгольд Ф. разработал метод статистической обработки данных ДТП, позволяющий выявить места концентрации и опасные участки:

$$V_0 = p_0 n_0 + p_1 n_1 + p_2 n_2 + p_3 n_3, \quad (1)$$

где  $V_0$  – показатель опасности;  $p_0 - p_3$  – условные коэффициенты тяжести ДТП;  $n_0 - n_3$  – число ДТП с материальным ущербом и различной степенью тяжести.

- Методы определения параметров условий и режимов движения ТС состоят из:

а) метод коэффициентов безопасности:

$$K_{\text{без}} = \frac{V_{\max}}{V_{\text{вх}}}, \quad (2)$$

где  $V_{\max}$  – максимальная скорость движения на рассматриваемом участке;  $V_{\text{вх}}$  – максимальная скорость въезда автомобилей на рассматриваемый участок;

б) метод коэффициентов аварийности:

$$K_{\text{ит}} = \prod_{i=1}^n K_i, \quad (3)$$

где  $K_i$  – частные коэффициенты аварийности, определяемые по результатам анализа статистических данных о ДТП и характеризующие влияние на безопасность движения параметров дорог и улиц, элементов обустройства, интенсивности движения, состояния покрытия;  $i = 1 \dots n$  – число частных коэффициентов аварийности, учитываемых при оценке безопасности движения на дорогах или городских улицах различной категории.

- Методы анализа конфликтных ситуаций приведены в [12, 20] и состоят из:
  - а) метод «конфликтных ситуаций»:

$$K_{\text{кс}} = 0,44 \cdot K_1 + 0,83 \cdot K_2 + K_3, \quad (4)$$

где  $K_{\text{кс}}$  – критическое количество конфликтных ситуаций;  $K_1, K_2, K_3$  – степень конфликтной ситуации представлены в научных трудах [12, 20];

б) метод оценки опасности конфликтной точки:

$$q_i = K_i M_i N_i \frac{25}{K_r} \cdot 10^{-7}, \quad (5)$$

где  $q_i$  – опасность конфликтной точки;  $K(i)$  – относительная аварийность конфликтной точки;  $M(i)$  и  $N(i)$  – интенсивности движения на главной и второстепенной дороге, соответственно, пересекающихся в данной конфликтной точке потоков, авт/сут;  $K(r)$  – коэффициент годовой неравномерности движения, определяется по таблице 6.3 нормативного документа [12, 20, 28, 32]; коэффициент 25 введен в формулу (5) для учета среднего количества рабочих дней в месяце, в течение которых загрузка дорог резко превышает загрузку в нерабочие дни;

в) метод оценки опасности конфликтной точки (показатель безопасности движения) [12, 20, 33, 52]:

$$K_a = \frac{G \cdot 10^7 \cdot K_r}{(M+N)25}, \quad (6)$$

где  $K_a$  – показатель безопасности движения, характеризующий количество ДТП на 10 млн. автомобилей, прошедших через пересечение;  $G$  – теоретически вероятное количество ДТП на пересечении за год;  $M$  и  $N$  – интенсивности движения на главной и второстепенной дороге, соответственно, пересекающихся в данной конфликтной точке потоков, авт/сут;

г) метод конфликтных точек:

$$m = n_0 + 3n_c + 5n_n, \quad (7)$$

где  $n_0$ ,  $n_c$ ,  $n_n$  – число точек отклонения, слияния и пересечения представлены в научных трудах [12, 20];

д) метод Шнабеля-Лозе [12, 20]:

$$G_n = \sum_{i=1}^n K_0 G_i , \quad (8)$$

где  $G_i$  - показатель конфликтности для  $i$ -й конфликтной точки.

- Методы, на базе которых исследовано поведение водителя:

а) метод оценки состояния водителя.

Данный метод разработан профессором Э.В. Гавриловым, в его основе лежит сравнение изменений частоты сердцебиения в зависимости от нормы. Такой метод способствует определению изменения состояния водителя, которое зависит от множества факторов, оказывающих влияние на водителя и его поведение при управлении ТС:

$$F = \frac{f-f_0}{f} \cdot 100 , \quad (9)$$

где  $f$  – норма частоты сердцебиения;  $f_0$  – частота сердцебиения при отклонении в зависимости от дорожных условий передвижений.

б) Разработанный алгоритм Д. Клебельсбергом анализа отклонений от нормального поведения водителей заключается в установлении сложного процесса взаимосвязи между условиями движения и водителем с точки зрения психологии [12, 20, 34-36].

- Методы, в основе которых заложена комплексная БДД:

а) комплексный подход, разработанный Полищук В.П.:

$$F = D - S \rightarrow \min , \quad (10)$$

где  $D$  – суммарные потери общества от произошедших ДТП;  $S$  – стоимость работ.

б) подход, базирующийся на комплексном многофакторном анализе, представляет собой квалиметрический метод, состоящий из эргономических, технических и экономических составляющих:

$$K_{БД} = K_T + K_{ЭР} + K_{Э}, \quad (11)$$

где  $K_T$ ,  $K_{ЭР}$ ,  $K_{Э}$  – технические, эргономические и экономические составляющие [12, 20, 37, 89].

Путем решения проблем дорожного движения помимо методик и моделей является профилактика дорожно-транспортного травматизма.

Госавтоинспекция придает большое значение проблеме детского травматизма на дорогах, который является приоритетной задачей в рамках федеральных и национальных проектов.

Для защиты жизни детей используется весь доступный мировой опыт и эффективные методы, которые уже зарекомендовали себя в этой области.

Этот подход основывается на нескольких ключевых элементах: безопасных дорогах и прилегающих территориях, адекватных скоростных ограничениях, надежных транспортных средствах и внимательных участниках дорожного движения. Все эти факторы необходимо учитывать для того, чтобы избежать дорожно-транспортных происшествий, приводящих к смертельным исходам, а также для снижения уровня серьезных травм на дорогах [38-40].

## **1.5 Выводы по главе 1**

1. Снижение показателей аварийности и смертности является первоочередной задачей страны. Указом президента России определены национальные цели развития страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. До 2030 года смертность на дорогах по сравнению с 2023 годом должна сократиться в 1,5 раза, до 2036 – в 2 раза.

Согласно информационно-аналитическому обзору Научного центра безопасности дорожного движения (НЦ БДД) МВД России за 2020-2024 гг., наезд на пешеходов является вторым по частоте в РФ видом происшествий на дорогах (27,6%), на который приходится четверть (25,8%) от общего числа погибших в ДТП.

Количество наездов на пешеходов в 2020 – 2024 гг. сократилось на 8,5%, но тем не менее число погибших возросло практически на 2%, раненых – на 3%.

2. В Белгородском регионе в 2020 г. в городах и населенных пунктах совершено 182 ДТП с участием пешеходов (-2,3%), в которых 187 чел. ранены (+1,4%), 16 чел. погибли (-11,8%). Вне городов и населенных пунктов совершено 172 ДТП с участием пешеходов (-1,3%), в которых 152 чел. ранены (-2,2%), 20 чел. погибли (-1,1%).

В 2021 г. в городах и населенных пунктах совершено 165 ДТП с участием пешеходов (-9,3%), в которых 144 чел. ранены (-23%), 22 чел. погибли (+37,5%); вне городов и населенных пунктов совершено 146 ДТП с участием пешеходов (-15,1%), в которых 141 чел. ранены, (-7,2%), 19 чел. погибли (-5%).

В 2022 г. в городах и населенных пунктах совершено 142 ДТП с участием пешеходов (-13,9%), в которых 132 чел. ранены (-8,3%), 14 чел. погибли (-36,4%). Вне городов и населенных пунктов совершено 111 ДТП с участием пешеходов (-24%), в которых 98 чел. ранены (-30,5%), 18 чел. погибли (-5,3%).

В 2023-2024 гг. в городах и населенных пунктах по-прежнему снижаются показатели наездов на пешеходов, в то время, как вне городов и населенных пунктов значительно увеличилось количество ДТП с участием пешеходов.

В 2023 г. в городах и населенных пунктах совершено 114 ДТП с участием пешеходов (-19,7%), в которых 103 чел. ранены (-22%), 17 чел. погибли (+21,4%). Вне городов и населенных пунктов совершено 153 ДТП с участием пешеходов (+37,8%), в которых 144 чел. ранены (+29,7%), 18 чел. погибли.

В 2024 г. в городах и населенных пунктах совершено 104 ДТП с участием пешеходов (-8,8%), в которых 94 чел. ранены (-8,7%), 16 чел. погибли (-5,9%). Вне

городов и населенных пунктов совершено 176 ДТП с участием пешеходов (+15,1%), в которых 159 чел. ранены (+10,4%), 23 чел. погибли (+27,8%).

В Белгородской городской агломерации показатели ДТП следующие: в 2020 г. на нерегулируемых ПП было совершено 97 ДТП, в которых 102 чел. получили ранения, 17 чел. погибли. На регулируемых ПП было совершено 62 наезда, в которых 63 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2021 г. количество ДТП с наездами на пешеходов сократилось и составляет: на нерегулируемых ПП 88 ДТП, в которых 93 чел. получили ранения, 14 чел. погибли; на регулируемых ПП - 57 наездов, в которых 55 чел. получили ранения, 5 чел. погибли.

В 2022 г. статистика ДТП с участием пешеходов на регулируемых и нерегулируемых ПП улучшается: на нерегулируемых ПП совершено 83 ДТП, в которых 97 чел. получили ранения, 10 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 49 наездов, в которых 51 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2023 г. и в 2024 г. статистика ДТП с участием пешеходов на регулируемых и нерегулируемых ПП ежегодно увеличивается.

В 2023 г. на нерегулируемых ПП совершено 94 ДТП, в которых 92 чел. получили ранения, 13 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 63 наезда, в которых 68 чел. получили ранения, 6 чел. погибли.

В 2024 г. на нерегулируемых ПП совершено 86 ДТП, в которых 94 чел. получили ранения, 14 чел. погибли; на регулируемых ПП совершено 64 наезда, в которых 60 чел. получили ранения, 7 чел. погибли.

3. Снижение показателей аварийности и смертности является первоочередной задачей страны. Указом президента России определены национальные цели развития страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. До 2030 года смертность на дорогах по сравнению с 2023 годом должна сократиться в 1,5 раза, до 2036 – в 2 раза.

4. Рассмотрены методы и методики повышения БДД, а также роль профилактики дорожно-транспортного травматизма для снижения аварийности и смертности в результате ДТП.

## Глава 2 ПРОВЕДЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КОЛИЧЕСТВА ДТП И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕШЕХОДНЫХ ПОТОКОВ В РЕГИОНЕ

### 2.1 Определение зависимости между количеством ДТП с участием пешеходов и дорожными условиями

Проанализированы статистические показатели ДТП в Белгородской области.

На рисунке 25 представлены показатели ДТП с наездами на пешеходов в Белгородской городской областной агломерации и регионе за 2020-2024 гг.

В регионе совершено 939 ДТП с участием пешеходов, среди которых 856 раненых, 116 погибших. В БГА – 528 ДТП, среди которых 498 раненых, 67 погибших.



Рисунок 25 – Показатели ДТП с наездами на пешеходов в Белгородской городской агломерации и регионе за 2020-2024 гг.

На рисунке 26 представлена ежемесячная статистика ДТП с участием пешеходов за 2020-2024 гг.

Распределение наездов на пешеходов в зависимости от участков УДС Белгородской городской агломерации представлено на рисунке 27.

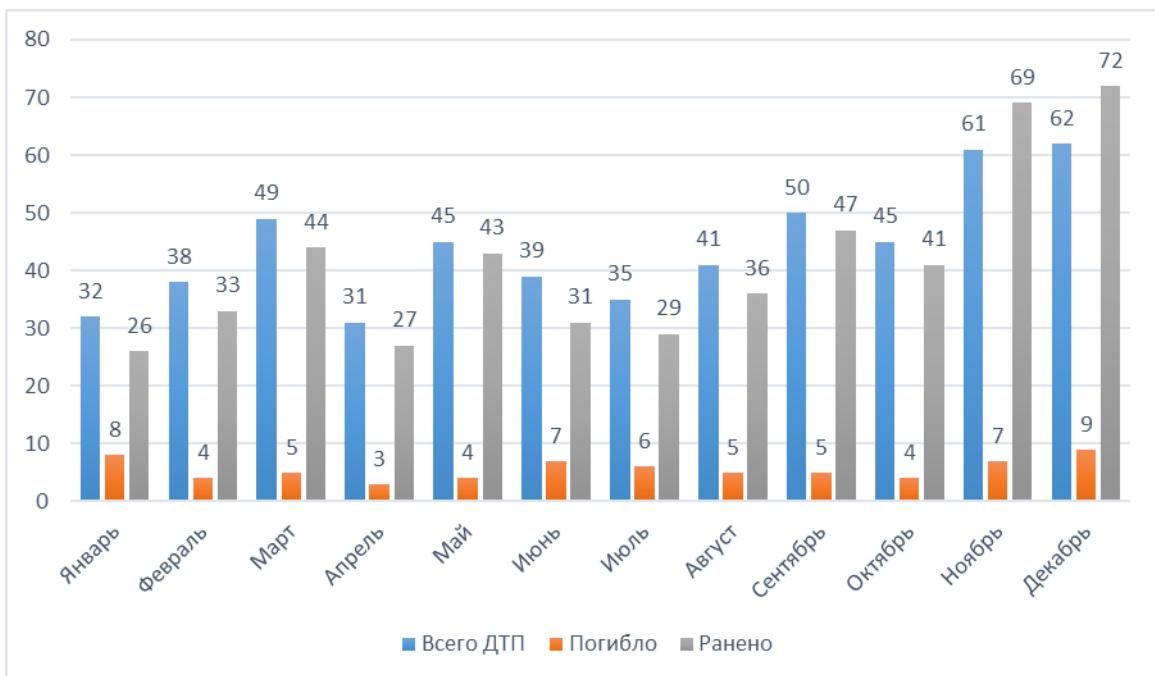


Рисунок 26 – Количество ДТП погибших и раненых пешеходов в зависимости от временного интервала (месяца) за последние 5 лет в Белгородской городской агломерации

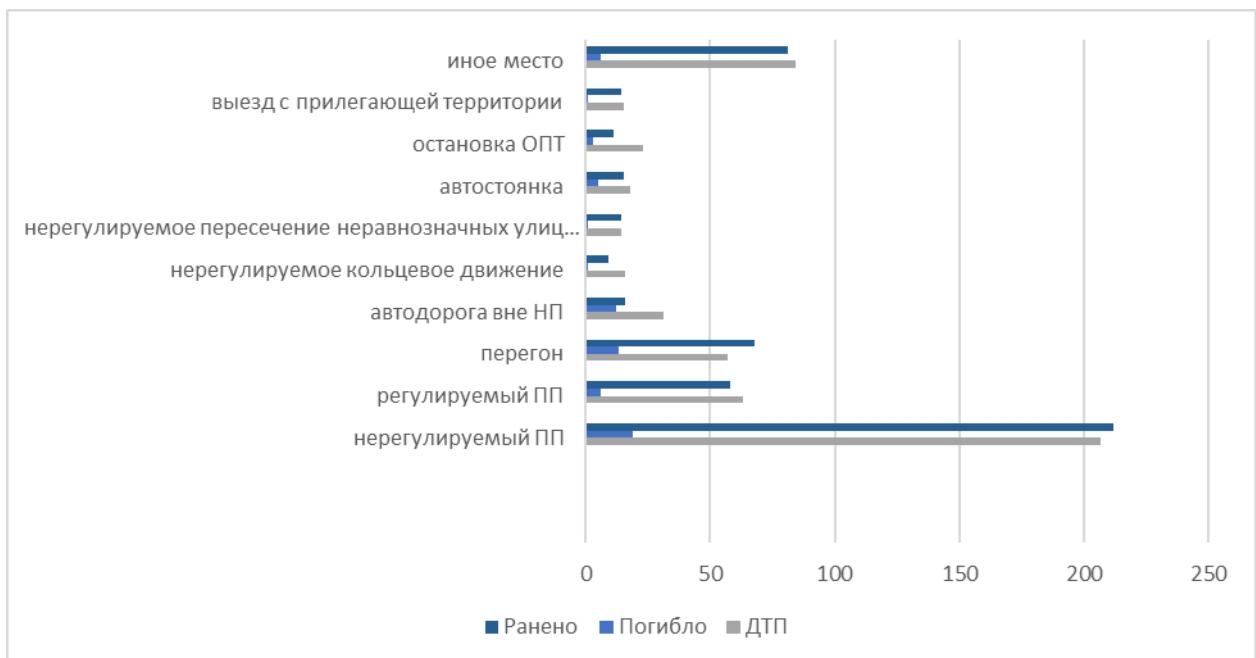


Рисунок 27 – Распределение наездов на пешеходов в зависимости от участков УДС Белгородской городской агломерации

Летальный исход пешехода в результате ДТП несет огромные потери как с экономической, так и с демографической стороны.

На рисунках 28-30 представлены условия движения, при которых произошел летальный исход пешеходов в результате ДТП в 2020-2024 гг. на территории БГА.



Рисунок 28 – Погодные условия и количество ДТП (в т.ч. летальных) с участием пешеходов

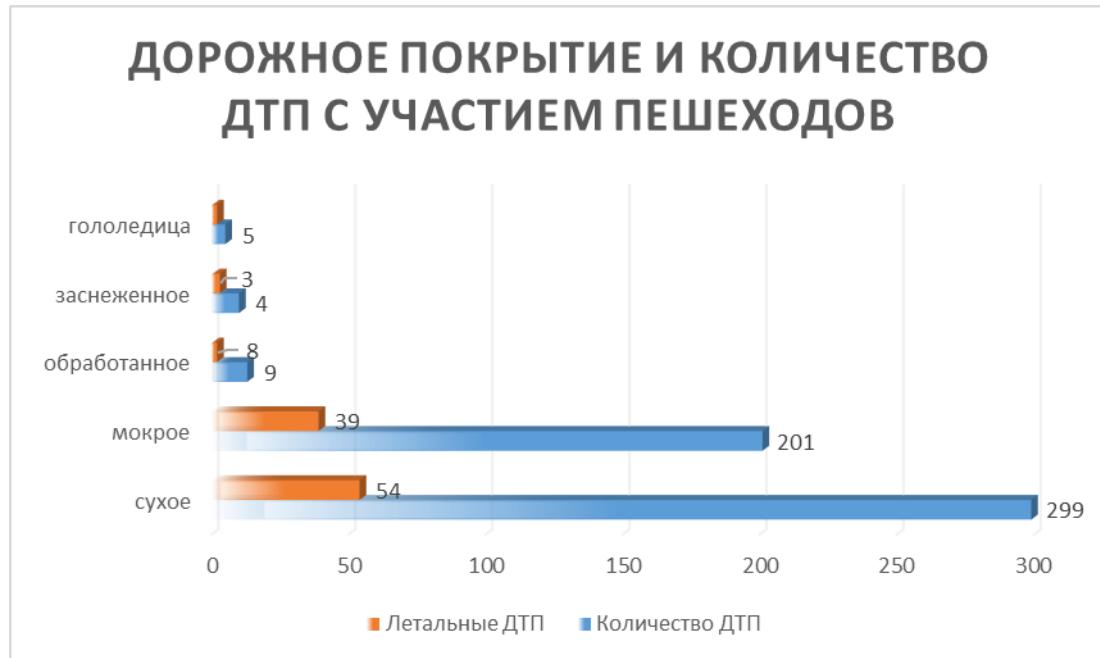


Рисунок 29 – Дорожное покрытие и количество ДТП (в т.ч. летальных) с участием пешеходов



Рисунок 30 – Состояние освещения и количество ДТП (в т.ч. летальных) с участием пешеходов

В течение 5 лет были проведены исследования на нерегулируемых пешеходных переходах (НПП) и регулируемых пешеходных переходах (РПП) исследуемой территории.

На рисунке 31 представлены ПП с самыми высокими показателями аварийности Белгородской городской агломерации.

Установлено, что на данных ПП за последние 5 лет количество ДТП составило 62 случая, в которых 14 человек погибли, 59 человек получили ранения различной степени тяжести, среди которых на РПП: 27 ДТП, 5 человек погибло, 25 человек получили ранения, а на НПП: 35 ДТП, 9 человек погибли, 34 человека получили ранения.

При изучении данных карточек учета ДТП с участием пешеходов, а также посредством статистического анализа количества ДТП с участием пешеходов (таблица 1) была установлена связь между условиями движения [65, 133] (погодные условия-состояние покрытия-наличие освещенности) и количеством ДТП с участием пешеходов (таблица 2, рисунок 32).

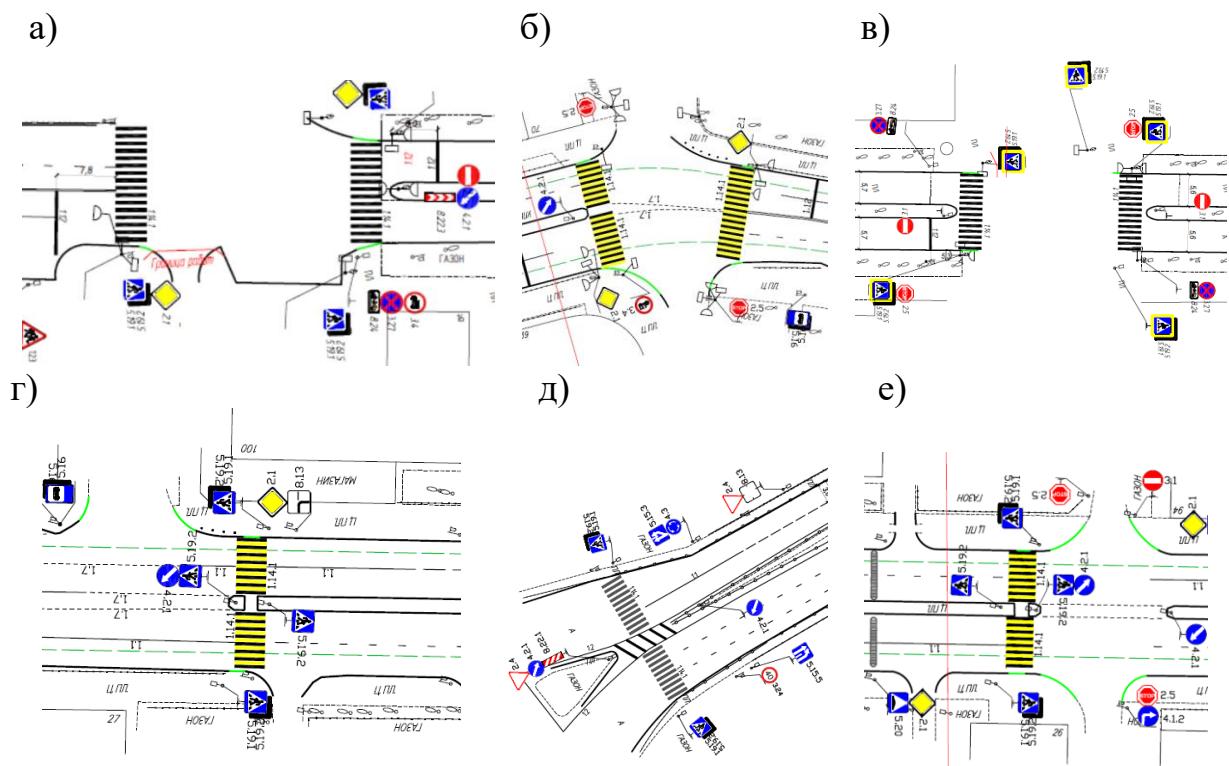


Рисунок 31 – Исследуемые ПП Белгородской городской агломерации:  
 а – ул. Сумская – ул. Декабристов (г. Белгород); б – ул. Волчанская –  
 ул. Михайловское шоссе (г. Белгород); в – ул. Зеленая Поляна – ул. Парковая  
 (п. Зеленая Поляна); г – ул. Королева – ул. Губкина (г. Белгород);  
 д – ул. Корочанская – ул. Тепличная (п. Новосадовый); е – ул. Спортивная –  
 ул. Олимпийская (с. Севрюково)

Таблица 1 – Обработка статистических данных ДТП с участием пешеходов

Дата	Время	Место ДТП	Погодные условия	Дорожные условия (Состояние покрытия)	Время суток	Освещение
13.01.2020	19:05	НПП	Пасмурно	Сухое	Темное	Включено
28.02.2020	07:50	РПП	Дождь	Мокрое	Темное	Отсутствует
09.03.2020	17:21	НПП <b>(1 погиб)</b>	Ясно	Сухое	Светлое	-
29.06.2020	10:10	Автостоянка	Ясно	Сухое	Светлое	-
01.10.2020	06:45	Остановка <b>(1 погиб)</b>	Дождь	Мокрое	Темное	Включено

Таблица 2 – Условия движения и количество ДТП с участием пешеходов на территории Белгородской городской агломерации, 2020-2024 гг.

Погодные условия-состояние покрытия-наличие освещенности	Зима	Весна	Лето	Осень
1	2	3	4	5
ясно/сухое/светлое	40	138	200	147
ясно/сухое/темное/освещение включено	28	26	33	63
ясно/сухое/темное/освещение отсутствует	35	31	40	73
ясно/мокрое/светлое	7	6	3	9
ясно/мокрое/темное/освещение включено	9	11	8	17
ясно/мокрое/темное/освещение отсутствует	7	15	4	19
ясно/обработанное/светлое	6	0	0	0
ясно/обработанное/темное/освещение включено	1	0	0	0
ясно/обработанное/темное/освещение отсутствует	5	0	0	0
ясно/гололедица/светлое	7	0	0	0
ясно/гололедица/темное/освещение включено	3	0	0	0
ясно/гололедица/темное/освещение отсутствует	1	0	0	0
ясно/заснеженное/светлое	2	0	0	0
ясно/заснеженное/темное/освещение включено	3	0	0	0
ясно/заснеженное/темное/освещение отсутствует	5	0	0	0
ясно/со снежным накатом/светлое	4	0	0	0
ясно/со снежным накатом/темное/освещение включено	6	0	0	0
ясно/со снежным накатом/темное/освещение отсутствует	0	0	0	0
пасмурно/сухое/светлое	25	30	47	50
пасмурно/сухое/темное/освещение включено	17	4	47	29
пасмурно/сухое/темное/освещение отсутствует	19	7	22	29
пасмурно/мокрое/светлое	85	38	18	47
пасмурно/мокрое/темное/освещение включено	92	16	3	49
пасмурно/мокрое/темное/освещение отсутствует	106	20	7	61
пасмурно/обработанное/светлое	8	0	0	0
пасмурно/обработанное/темное/освещение включено	12	0	0	0
пасмурно/обработанное/темное/освещение отсутствует	11	0	0	0
пасмурно/гололедица/светлое	1	0	0	0
пасмурно/гололедица/темное/освещение включено	2	0	0	0
пасмурно/гололедица/темное/освещение отсутствует	4	0	0	0
пасмурно/заснеженное/светлое	4	0	0	0
пасмурно/заснеженное/темное/освещение включено	5	0	0	0
пасмурно/заснеженное/темное/освещение отсутствует	9	0	0	0
пасмурно/со снежным накатом/светлое	0	0	0	0
пасмурно/со снежным накатом/темное/освещение включено	0	0	0	0
пасмурно/со снежным накатом/темное/освещение отсутствует	1	0	0	0
дождь/мокрое/светлое	12	20	11	53
дождь/мокрое/темное/освещение включено	5	9	1	38
дождь/мокрое/темное/освещение отсутствует	6	9	2	15
туман/сухое/светлое	0	11	0	12
туман/сухое/темное/освещение включено	0	6	0	10
туман/сухое/темное/освещение отсутствует	0	5	0	7
туман/мокрое/светлое	0	0	0	6

*Продолжение таблицы 4*

1	2	3	4	5
туман/мокрое/темное/освещение отсутствует	0	4	0	0
снегопад/мокрое/светлое	7	6	0	0
снегопад/мокрое/темное/освещение включено	1	0	0	0
снегопад/мокрое/темное/освещение отсутствует	3	0	0	0
снегопад/обработанное/светлое	7	5	0	0
снегопад/обработанное/темное/освещение включено	1	0	0	0
снегопад/обработанное/темное/освещение отсутствует	2	0	0	0
снегопад/заснеженное/светлое	6	4	0	0
снегопад/заснеженное/темное/освещение включено	5	0	0	0
снегопад/заснеженное/темное/освещение отсутствует	0	3	0	0
снегопад/со снежным накатом/светлое	5	0	0	0
снегопад/со снежным накатом/темное/освещение включено	5	0	0	0
снегопад/со снежным накатом/темное/освещение отсутствует	6	0	0	0

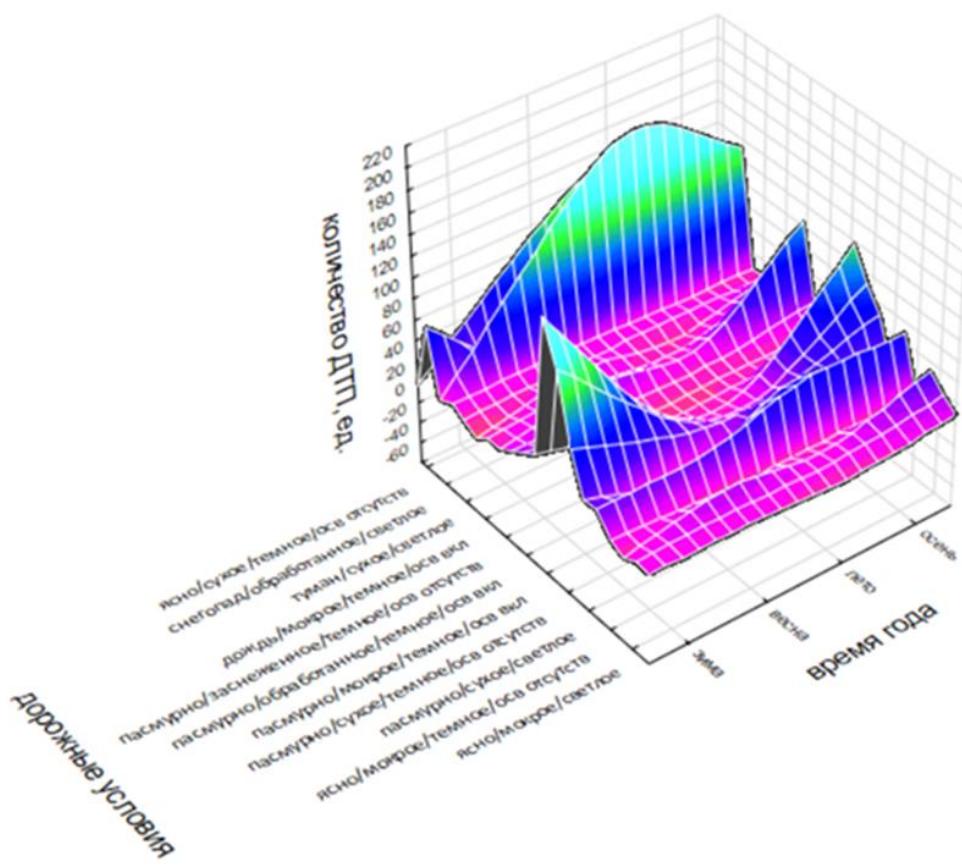


Рисунок 32 – Условия движения и количество ДТП с участием пешеходов на территории региона за период 2020-2024 гг.

В результате анализа статистических данных установлено, что наезд на пешеходов наиболее часто происходит при следующих условиях движения: «ясно – сухое – светлое».

Количество ДТП с участием пешеходов распределено данным образом [65, 132]: зимой (7,6%), весной (26,3%), летом (38,1%), осенью (28%); при условиях движения «ясно – сухое – темное – освещение включено»: зимой (18,7%), весной (17,3%), летом (22%), осенью (42%); при условиях движения «ясно – сухое – темное – освещение отсутствует»: зимой (19,6%), весной (17,3%), летом (22,3%), осенью (40,8%); при условиях движения «пасмурно – сухое – светлое»: зимой (16,5%), весной (19,7%), летом (30,9%), осенью (32,9%); при условиях движения «пасмурно – сухое – темное – освещение включено»: зимой (17,5%), весной (4,1%), летом (48,5%), осенью (29,9%); при условиях движения «пасмурно – сухое – темное – освещение отсутствует»: зимой (24,7%), весной (9,1%), летом (28,6%), осенью (37,6%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – светлое»: зимой (45,2%), весной (20,2%), летом (9,6%), осенью (25%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – темное – освещение включено»: зимой (57,5%), весной (10%), летом (1,9%), осенью (30,6%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – темное – освещение отсутствует»: зимой (54,6%), весной (10,3%), летом (3,7%), осенью (31,4%); при условиях движения «дождь – мокрое – светлое»: зимой (12,5%), весной (20,8%), летом (11,5%), осенью (55,2%).

## **2.2 Исследование характеристик пешеходного потока на территории региона**

Рациональная организация дорожного движения в реальном времени представляет собой одну из наиболее актуальных проблем современного общества. С учетом стремительного развития технологий, решение данной проблемы стало возможным благодаря внедрению интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и использованию нейросетей.

Для обеспечения безопасности и комфорта передвижения транспортных и пешеходных потоков по улично-дорожной сети (УДС) необходима минимизация временных затрат на обработку данных.

Как транспортные, так и пешеходные потоки по степени детализации используемых параметров разделяют на макроскопические, мезоскопические и микроскопические [52-54].

Микроскопические модели сосредоточены на учете движения каждого отдельного пешехода или автомобиля; мезоскопические – рассматривают поведение отдельных участников ДД для того, чтобы определить параметры движения всего потока или закона распределения потока; макроскопические – оценивают характеристики потока в целом, не рассматривая поведение отдельных участников ДД.

Мезоскопическое моделирование наиболее применимо для обеспечения эффективного учета движения пешеодного потока в режиме реального времени.

Задержки, возникающие у транспортных средств ввиду необходимости пропускать пешеходные потоки, непосредственно влияют на ОДД и безопасность движения пешеходов.

Временные потери пешеходов также необходимо учитывать при разработке оптимальной схемы ОДД для создания сбалансированной и безопасной транспортной системы.

Целесообразно использовать методы теории массового обслуживания и теории восстановления для разработки аналитического аппарата, который позволит оценить временные потери транспортных и пешеходных потоков.

При движении пешеходов в направлении ПП удобно применять модели, описывающие их поток движения как случайный процесс, применяя случайные функции.

Интервалы времени между последовательно идущими пешеходами подчиняются гамма-распределению, в частном случае – распределению Эрланга, согласно работам исследования N. Bode [60].

Характеристики пешеодного потока в малых социальных группах отличаются скоростью и динамикой движения в отличие от последовательно идущих пешеходов [61-63].

Исходные данные для определения параметров пешеходного потока предполагается получать как с камер видеонаблюдения, так и посредством натурного исследования характеристик пешеходных потоков.

### **2.2.1 Изучение параметров движения пешеходного потока в условиях городской агломерации**

Пешеходные потоки характеризуются основными показателями – интенсивностью, плотностью и скоростью.

Интенсивность пешеходного потока  $N_{new}$  зависит от времени суток, от назначения и расположения участка УДС. Например, в зоне торговых центров, остановок маршрутного транспорта, вокзалов, аэропортов интенсивность движения пешеходов высокая.

Плотность пешеходного потока  $q_{new}$  зависит от пропускной способности ПП и скорости движения пешеходов. Сезонность также влияет на плотность пешеходного потока, так как габаритные размеры пешеходов летом составляют  $0,1 - 0,2 \text{ м}^2$ , зимой до  $0,25 \text{ м}^2$ , в случае наличия ручной клади – до  $0,5 \text{ м}^2$ .

Скорость пешеходного потока  $v_{new}$  при спокойном шаге составляет  $0,5 - 1,5 \text{ м/с}$ . На скорость пешехода влияет возраст, пол, состояние здоровья, цель передвижения, погодно-климатические условия, дорожные условия, состояние освещенности участка [70-72].

Состояние дорожного покрытия влияет на изменение скорости пешеходного потока более чем в 2 раза, возраст – в 1,7 раза, протяженность ПП – в 1,5 раз.

Темп движения пешеходов (с/м) также является важной характеристикой пешеходных потоков, которая будет учитываться в дальнейших исследованиях.

В таблице 3 представлена примерная скорость пешеходов при различных условиях движения.

Таблица 3 – Скорость движения пешеходов при различных условиях

Движение по тротуару	Скорость, м/с	Движение по ПП	Скорость, м/с
Свободные условия	0,7 – 1,1	Малая плотность	1,1 – 1,5
Стесненные условия	0,5 – 0,9	Высокая плотность	0,6 – 0,9

В некоторых случаях, скорость движения пешеходов может отличаться от табличных. Отмечено, что в условиях быстрого шага мужчины в возрасте от 19 до 35 лет способны передвигаться со скоростью более 3,5 м/с, в условиях бега – до 7 м/с, что увеличивает расстояние, необходимое для остановки.

Обязательным параметром при ОДД является показатель продолжительности задержек не только транспортных, но и пешеходных потоков. Повышение БДД пешеходных потоков обуславливается применением различных методик, моделей и систем, рациональной организации остановочных комплексов, возведением барьерных ограждений, обеспечением удобных и безопасных НПП и РПП.

Важным аспектом является назначение оптимальных маршрутов для основных пешеходных потоков, что позволяет избежать заторов и минимизировать время в пути.

В городе Белгород существуют различные виды пешеходных переходов: надземные, подземные, регулируемые, нерегулируемые. На НПП и РПП чаще всего случаются наезды на пешеходов. Для экспериментальных данных необходимо определить характеристики пешеходного потока согласно таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика пешеходного потока

Возраст	Пол	Скорость движения км/ч	Плотность пешеходного потока
Дети	Мужской	Средняя (5-10)	Средняя
	Женский		
Взрослые	Мужской	Быстрая (>10)	Низкая
	Женский		
Пожилые	Мужской	Медленная (<5)	Высокая
	Женский		

Скорость пешеходного потока зависит от различных факторов, таких как плотность потока, ширина пешеходного перехода, а также средняя скорость движения пешеходов, которая в среднем составляет 5 км/ч (1,3 м/с). Обычно в плотных пешеходных зонах скорость пешеходного потока ниже, чем на свободных тротуарах.

Для более детального определения скорости движения пешеходов по РНН и НПП состав пешеходного потока был разбит на возрастные группы.

Скорость передвижения пешеходов вычислялась как отношение длины исследуемого участка (4 метра) ко времени, затраченному на его преодоление. Для фиксации времени движения использовались секундомеры. Возраст пешеходов определен посредством социального опроса.

Установлено, что на НПП скорость пешеходного потока выше более чем на 10%, данные представлены в таблицах 5, 6.

Таблица 5 – Скорость движения пешеходов на НПП

Состав пешеходного потока	м/с	км/ч
Дети 6-12 лет	1,7	6,12
Подростки 12-18 лет	2,0	7,2
Мамы с колясками	1,1	3,96
Мамы с детьми до 6 лет	1,2	4,32
Люди с ОВЗ	0,8	2,88
Женщины 18-25 лет	1,6	5,76
Мужчины 18-25 лет	1,8	6,48
Женщины 25-40 лет	1,5	5,4
Мужчины 25-40 лет	1,7	6,12
Женщины 40-50 лет	1,4	5,04
Мужчины 40-50 лет	1,6	5,76
Женщины 50-60 лет	1,3	4,68
Мужчины 50-60 лет	1,55	5,58
Пожилые старше 60 лет	0,9	3,24

Таблица 6 – Скорость движения пешеходов на РПП

Состав пешеходного потока	м/с	км/ч
Дети 6-12 лет	1,5	5,4
Подростки 12-18 лет	1,85	6,66
Мамы с колясками	1,0	3,6
Мамы с детьми до 6 лет	1,1	3,96
Люди с ОВЗ	0,75	2,7
Женщины 18-25 лет	1,45	5,22
Мужчины 18-25 лет	1,7	6,12
Женщины 25-40 лет	1,35	4,86
Мужчины 25-40 лет	1,5	5,4
Женщины 40-50 лет	1,25	4,5
Мужчины 40-50 лет	1,4	5,04
Женщины 50-60 лет	1,15	4,14
Мужчины 50-60 лет	1,25	4,5
Пожилые старше 60 лет	0,8	2,88

### **2.2.2 Изучение параметров движения пешеходного потока за пределами города**

В первую очередь, дорожное движение за пределами города отличается повышенной скоростью движения. Это влечет за собой более серьезные последствия при возникновении дорожного происшествия. Нерегулируемые ПП являются очагом опасности в данном случае.

За пределами города скорость движения у автомобилей выше, у пешеходов – ниже, так как им необходимо неоднократно убедиться в том, что водитель их заметил и снизил скорость, вплоть до полной остановки ТС.

Скорость движения пешеходов за пределами города на нерегулируемых ПП представлена в таблице – 7, на регулируемых ПП – в таблице 8.

Таблица 7 – Скорость движения пешеходов на НПП за переделами города

Состав ПП	м/с	км/ч
Дети 6-12 лет	1,1	3,96
Подростки 12-18 лет	1,1	3,96
Мамы с колясками	0,8	2,88
Мамы с детьми до 6 лет	1,0	3,6
Люди с ОВЗ	0,6	2,16
Женщины 18-25 лет	1,1	3,96
Мужчины 18-25 лет	1,1	3,96
Женщины 25-40 лет	1,1	3,96
Мужчины 25-40 лет	1,1	3,96
Женщины 40-50 лет	1,1	3,96
Мужчины 40-50 лет	1,1	3,96
Женщины 50-60 лет	1,0	3,6
Мужчины 50-60 лет	1,0	3,6
Пожилые старше 60 лет	0,75	3,24

Таблица 8 – Скорость движения пешеходов на РПП за пределами города

Состав ПП	м/с	км/ч
Дети 6-12 лет	1,2	4,32
Подростки 12-18 лет	1,2	4,32
Мамы с колясками	1,0	3,6
Мамы с детьми до 6 лет	1,1	3,96
Люди с ОВЗ	0,7	2,52
Женщины 18-25 лет	1,2	4,32
Мужчины 18-25 лет	1,2	4,32
Женщины 25-40 лет	1,2	4,32
Мужчины 25-40 лет	1,2	4,32
Женщины 40-50 лет	1,2	4,32
Мужчины 40-50 лет	1,2	4,32
Женщины 50-60 лет	0,85	3,06
Мужчины 50-60 лет	0,85	3,06
Пожилые старше 60 лет	0,75	3,24

Установлено, что при увеличении числа пешеходов в группе (от двух и более человек) скорость передвижения как самой группы, так и всего пешеходного потока уменьшается на 15-20%. Когда количество людей в группе растет, это приводит к снижению их скорости движения примерно на 10-12%.

### **2.3 Разработка методики сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом**

Обработка статистических данных ДТП с участием пешеходов (таблица 2) позволила установить, что на регулируемых ПП происходят наезды на пешеходов с летальным исходом.

В связи с этим, было принято решение по разработке методики сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом, которая посредством управления длительностью светофорного регулирования как для пешеходных, так и для транспортных потоков.

Одной из регулярно используемых классических методик при расчете длительности светофорного цикла является методика Вебстера:

$$t_{\Pi_i} = \frac{B_{\text{пч}}}{4 \cdot V_{\text{пш}}}, \quad (12)$$

где  $B_{\text{пч}}$  - ширина ПЧ, пересекаемой пешеходами в  $i$ -й фазе регулирования, м;  $V_{\text{пш}}$  - расчетная скорость движения пешеходов (1,3 м/с).

В мире регулярно происходит модернизация существующих методик, методов и способов, направленных на эффективное управление в сфере ОДД и повышения БДД. Однако в данном вопросе постоянно требуется совершенствование и разработка мероприятий, направленных на решение такого рода задач.

Эффективным методом для рационального управления ПП является применение сверточной нейросети (Convolutional Neural Network - CNN).

Основная идея данного метода заключается в том, чтобы использовать сверточные слои для извлечения локальных признаков из входных данных и уменьшения их размерности, а затем использовать полно связные слои для классификации или регрессии (рисунок 33) [123, 126-131].

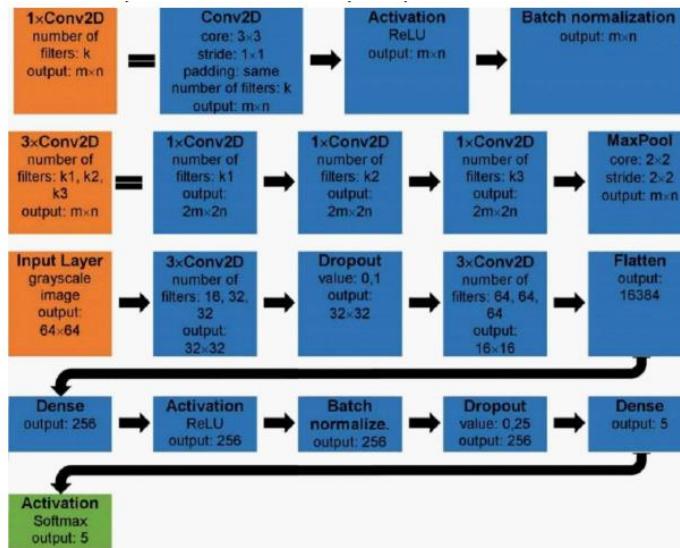


Рисунок 33 – Использование сверточных слоев нейросети при разнородности состава потока

Разнородность состава потока, скорость и интенсивность движения, возраст пешеходов представляют собой основные характеристики пешеходных потоков, которые посредством применения сверточной нейронной сети позволяют управлять циклом светофорного регулирования пешеходных потоков в режиме реального времени.

Обучение сверточных нейронных сетей обеспечивает устойчивость к изменениям условий распознавания лиц, а также способность обработки большой базы данных. Характеристики пешеходных потоков представлены в главе 2, таблице 5, состав и скорость пешеходных потоков в – в таблицах 6-9.

Для повышения безопасности пешеходов внедряется программа, основанная на технологиях компьютерного зрения.

В рамках этой программы потребуется установить IP-камеры и интегрировать их с общим сервером светофоров, что позволит более эффективно управлять сигналами светофоров для регулирования дорожного движения.

Сверточная нейросеть - это тип нейронной сети, который обрабатывает входные данные, такие как изображения, тексты или звуковые сигналы, с помощью сверточных слоев, которые извлекают признаки из входных данных [119, 122, 126-131]. Широко используются в задачах обработки изображений, таких как распознавание объектов, сегментация изображений, классификация изображений и других. Они также могут быть применены в задачах обработки звуковых сигналов и текстов [66-69], сверточные слои содержат наборы фильтров (ядер свертки), которые сканируют входные данные, извлекая признаки в каждой позиции (рисунок 34).

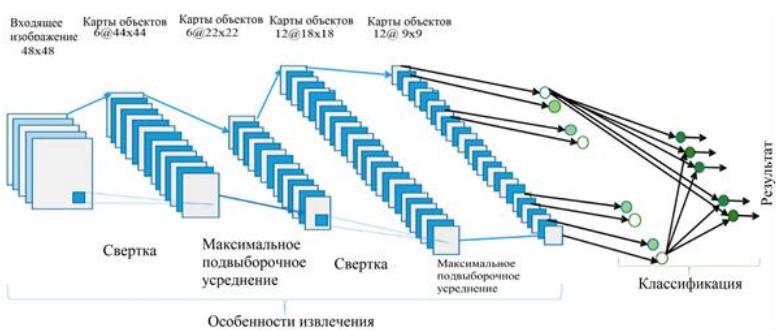


Рисунок – 34 Архитектура сверточной нейронной сети

Каждый фильтр представляет собой небольшую матрицу весов, которая перемещается по всему входному изображению (или другим входным данным) и вычисляет скалярное произведение между весами фильтра и соответствующей областью входа [69-71, 123]. Результаты свертки образуют карты признаков, содержащие информацию о локальных структурах входных данных.

Затем следует слой пулинга (Pooling Layer), который уменьшает размерность карт признаков, объединяя соседние значения в каждой карте признаков в одно значение [72, 73, 123]. Это позволяет уменьшать количество

параметров и вычислений в сети, а также улучшает инвариантность к малым изменениям входных данных.

После нескольких сверточных и пулинговых слоев обычно следует полносвязный слой (Fully Connected Layer) [74-77, 98, 123], который используется для классификации или регрессии на основе извлеченных признаков (рисунок 35).

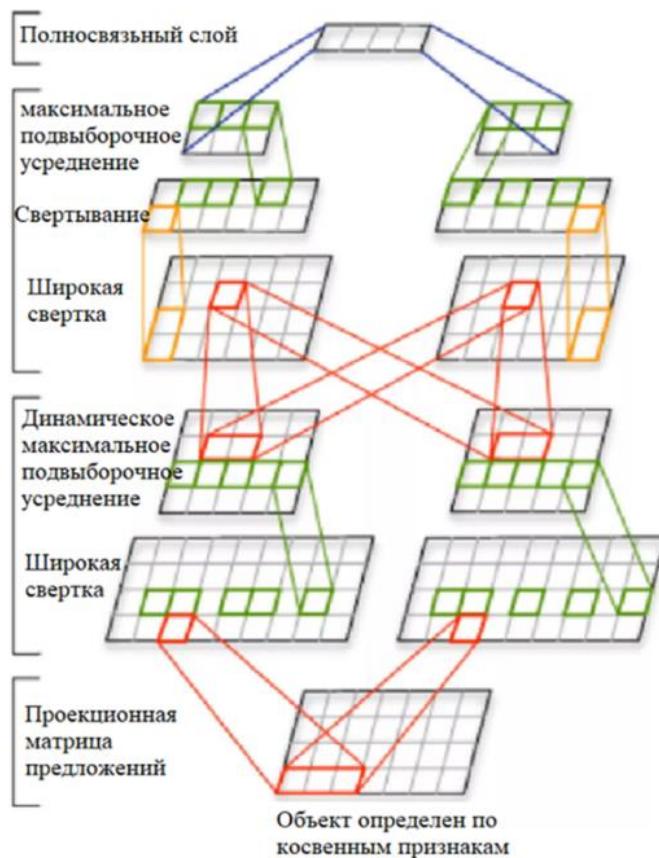


Рисунок 35 - Полносвязный слой (Fully Connected Layer)

### 2.3.1 Обучение сверточных нейронных сетей

Для обучения сверточной нейронной сети используется метод обратного распространения ошибки (Backpropagation), который позволяет оптимизировать веса нейросети на основе заданной функции потерь [78-82, 119, 123]. Как правило, обучение сверточной нейронной сети требует большого количества данных и вычислительных ресурсов.

Сверточные нейронные сети широко применяются в обработке изображений, например, в распознавании объектов на фотографиях, в автоматическом анализе медицинских изображений, в сегментации изображений и многих других задачах компьютерного зрения. Они могут также использоваться для обработки звуковых данных.

Входные данные измерений в тензорной обработке представляются следующим образом (рисунок 36) и включают в себя высоту изображения, ширину и число цветовых каналов.

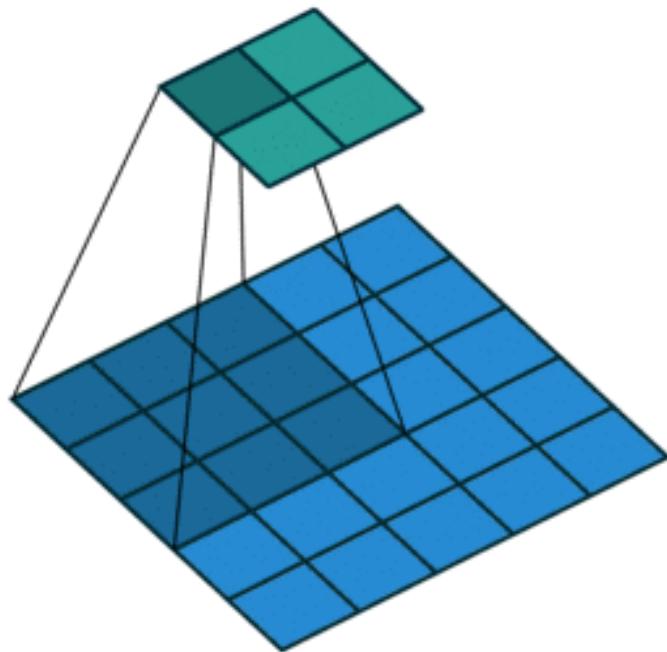


Рисунок 36 – Тензорная обработка

Нейронные сети и связанные с ними технологии становятся все более важными в нашей повседневной жизни, открывая новые горизонты для развития и внедрения инноваций в самых различных областях [83-88, 119, 123].

Наглядно структура обучения сверточной нейронной сети при распознавании лица (образа) человека выглядит следующим образом (рисунок 37):

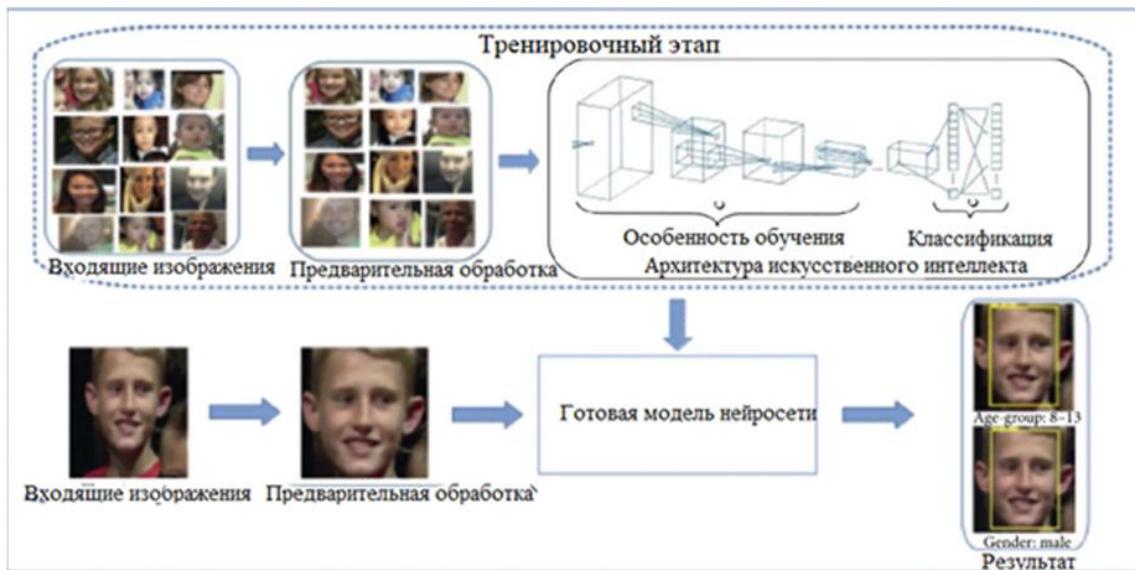


Рисунок 37 – Структура обучения сверточной нейронной сети

Конечная цель данной программы - определить пол и возраст людей на изображении и управлять длительность разрешающего сигнала светофора в зависимости от этих данных [89-92, 123]. Для достижения этой цели программа использует несколько инструментов и технологий.

Считывание параметров пешеходного потока осуществляется датчиками движения (рисунок 38).



Рисунок 38 – Пешеходный переход на ул. Студенческая г. Белгорода

На данном пересечении наибольшее количество людей можно встретить в дневной час-пик - 504 чел/ч. В утренний час-пик заметно увеличивается количество пешеходов - 492 чел/ч. Вечерний час-пик отличается меньшей интенсивностью ПП - 464 чел/ч.

Анализ данных позволил разработать методику сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед РПП, повышающую БДД пешеходов на основании сверточной нейронной сети.

Управление длительностью светофорного регулирования для пешеходных потоков зависит от скорости, характеристики и состава пешеходных потоков, информация и описание которых представлены в таблицах 4-9.

Для данной методики написаны программы, составлен код, которые представлены в приложении 3.

В методе `run` происходит основная работа программы [93-98, 123]. Загружаются каскады Хаара для обнаружения лиц, открывается камера для работы с изображениями. Затем для каждого обнаруженного лица на изображении происходит определение возраста и пола с помощью нейронных сетей. Количество мужчин и женщин подсчитывается, а также вычисляется средний возраст. Результаты выводятся на изображение (рисунок 39).

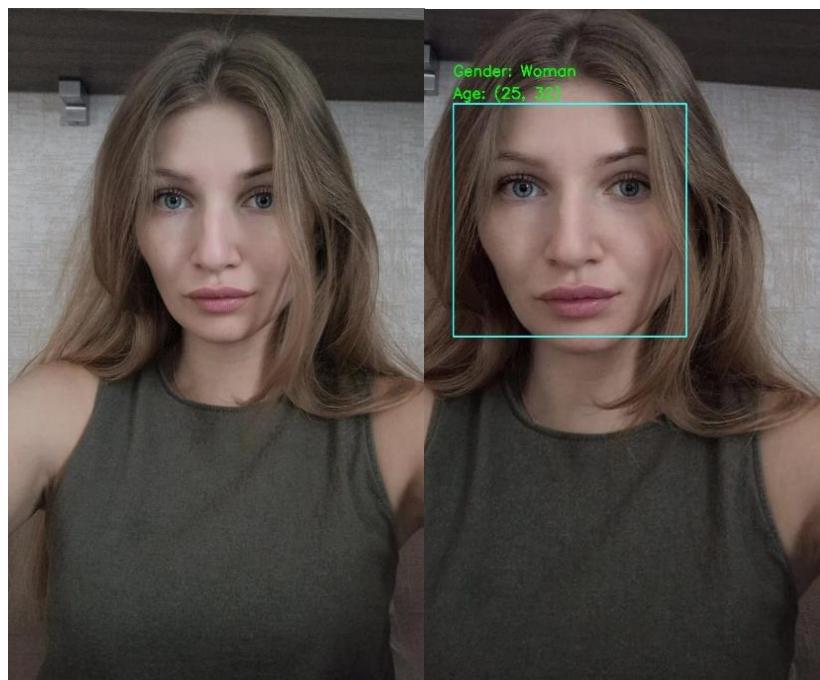


Рисунок 39 – Изображение до и после обработки его программой

Далее происходит определение текущего светофорного регулирования. Если на изображении обнаружено более одного лица, то в зависимости от среднего возраста изменяется время работы светофора (рисунок 40).



Рисунок 40 – Определение длительности разрешающего сигнала светофора

В данной программе основную роль играет модель сверточной нейросети age\_net. Конечная цель модели age\_net, используемой в программе, - определить возраст человека на изображении. Для достижения этой цели модель обучена на большом наборе данных, содержащем тысячи изображений лиц с разными возрастами. Модель использует сверточные нейронные сети для обработки изображений и извлечения признаков, а затем применяет полно связанные слои для определения возраста [99-101].

При корректировке весового значения сверточной нейронной сети применяется методика оптимизации, позволяющая поэтапно уменьшать ошибки на каждом периоде или эпохе обучения. Оптимизатор Adam является важнейшим звеном в процессе моделирования и применения методики оптимизации для глубокого обучения [102-105, 123].

Важным аспектом обучения модели age\_net является предобработка данных. Для того, чтобы модель могла эффективно обучаться, изображения лиц должны быть нормализованы и приведены к одному размеру. Кроме того, необходимо учитывать возможные искажения в данных, такие как изменение освещения или повороты головы на изображении. Для этого используются различные методы аугментации данных, которые позволяют создавать новые обучающие примеры путем изменения яркости, контрастности, поворота и тому подобные способы (рисунок 41).

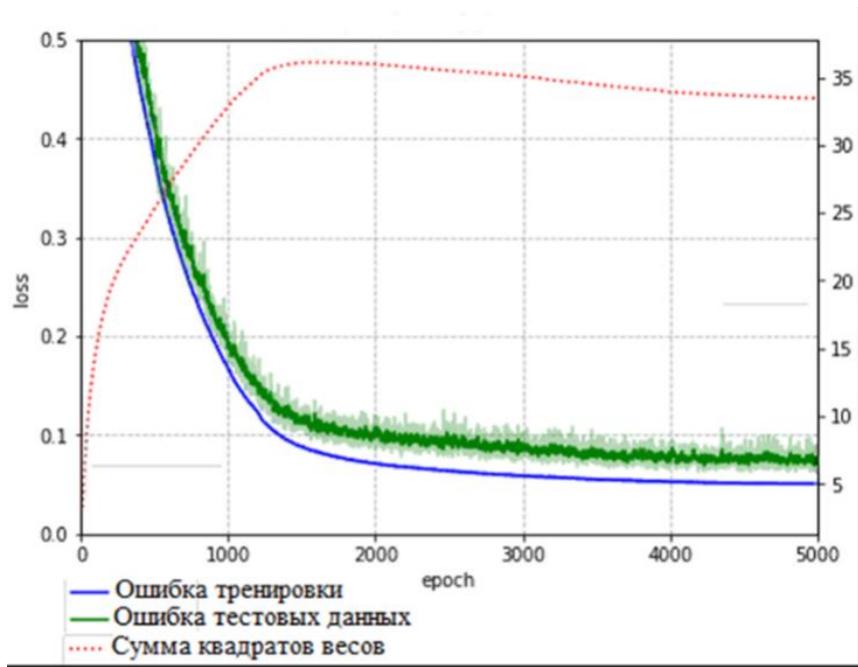


Рисунок 41 – График обучения сверточной нейронной сети age\_net

Модель age\_net - это пример того, как нейронные сети могут использоваться для решения задач обработки изображений и распознавания объектов на них. Модель age\_net обучена на большом наборе данных и может быстро и точно определять возраст на изображении. Такие модели могут быть полезны во многих областях, от медицинских приложений, где необходимо определить возраст пациента на основе медицинских изображений, до различных приложений в области безопасности, где необходимо автоматически определять возраст и пол людей на видеонаблюдении.

Данная программа показывает, как с помощью нейронных сетей, инструментов и технологий можно создавать интеллектуальные системы, которые могут анализировать изображения и принимать решения в режиме реального времени. Такие системы могут быть полезны во многих областях, от управления транспортными потоками до диагностики медицинских изображений [106-114].

Далее для определения изменения характеристик таких как: время задержки, плотность, время остановки, скорость движения, количество остановок и длина очереди в программном продукте Aimsunt выполнено моделирование. Результаты до и после внедрения методики представлены на рисунке 42 [94].

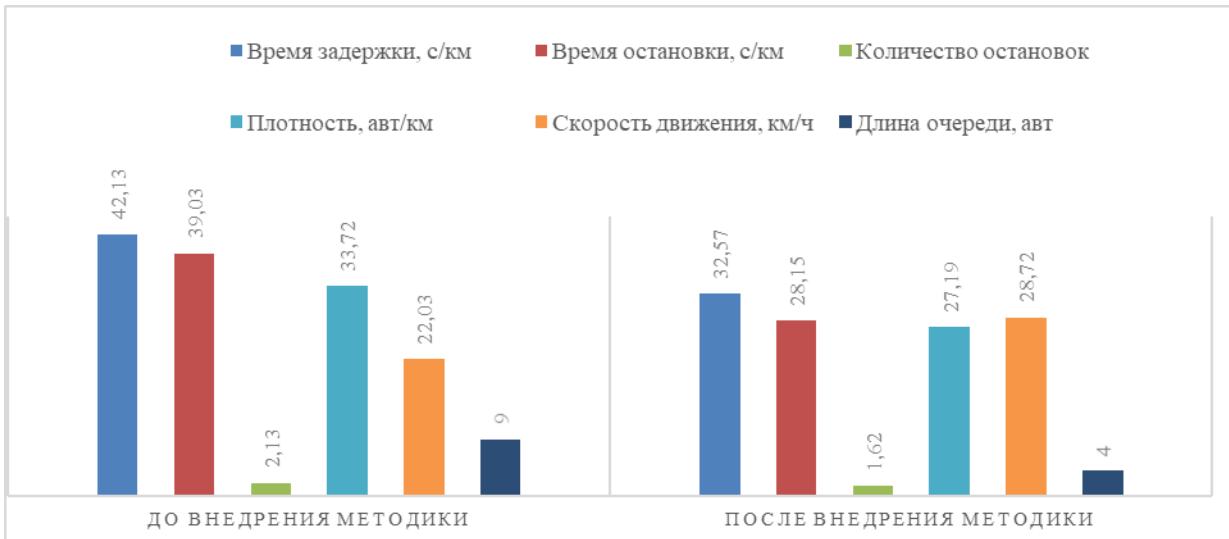


Рисунок 42 – Графическое изображение изменения характеристик при применении разработанной методики

### 2.3.2 Способы увеличения точности распознавания сверточной нейросети

1. Увеличение размера и глубины модели: увеличение числа слоев и размерности сверточных фильтров может улучшить качество распознавания. Однако увеличение размера модели может привести к увеличению времени тренировки и ресурсоемкости.
2. Использование предобученных моделей: можно использовать предобученные модели, которые обучены на большом количестве данных, например, на данных сетях ImageNet или COCO. Это может улучшить качество распознавания на новых данных.
3. Использование аугментации данных: аугментация данных позволяет увеличить разнообразие тренировочных данных путем их искажения, поворота, изменения масштаба и т.д. Это позволяет модели лучше обобщать свои знания на новые данные и улучшить точность распознавания.
4. Нормализация данных: нормализация данных может улучшить качество распознавания, поскольку позволяет уменьшить разброс значений признаков. Это может ускорить сходимость модели и улучшить ее точность.

5. Использование dropout: dropout - это метод регуляризации, который случайным образом удаляет нейроны в процессе тренировки. Это позволяет уменьшить переобучение и улучшить обобщающую способность модели [116-118, 120-122].

## **2.4 Определение корреляционной связи между количеством ДТП с участием пешеходов и временными интервалами**

На территории Белгородской городской агломерации за период 2020-2024 гг. проводилась фиксация таких данных, как интенсивность движения пешеходных потоков, так и учет количества ДТП с участием пешеходов.

Для дальнейших исследований необходимо выявить зависимость между количеством ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные дорожные происшествия

Математическая модель процесса представлена в выражении (13) [41-44, 63, 65, 71]:

$$x_i = \varphi(t_i) + \Delta_i, \quad (13)$$

где  $x_i$  – значения, представленные на ряде наблюдений ( $i=1, 2, \dots, n$ );  $\varphi(t_i)$  – детерминированная функция, показывающая изменение  $x_i$  (тренд);  $\Delta_i$  – случайные отклонения, проявляемые при возникновении ошибки по отношению к  $\varphi(t_i)$ , в связи, с чем возникает случайный процесс.

В основном применяют соотношение  $\varphi(t) \approx F(t, C_1, \dots, C_k)$ , а функцию  $F$  показывают в виде многочлена [63, 65, 71]:

$$\varphi(t) \cong F(t, C_1, \dots, C_k) = C_1 + C_2 t + C_3 t^2 + \dots + C_k t^{k-1}. \quad (14)$$

Случайным процессом называют исследовательность величин. В сфере ОДД на возникновение случайных процессов влияет множество факторов:

возраст, пол, стаж водителя, дорожные условия (состояние покрытия), погодно-климатические факторы, освещение проезжей части.

К случайнм процессам относят интенсивность дорожного движения, пропускную способность проезжей части, которые напрямую зависят от скорости движения, а также вероятность возникновения ДТП, аварийность, заторы и прочее.

Для расчета ожидания случайного процесса, характеризующегося величиной  $X(t)$  применимо выражение:

$$M[X(t)] = m_x(t). \quad (15)$$

Расчет дисперсии, а также стандартного отклонения возможно определить согласно следующим формулам:

$$D[X(t)] = D_x(t), \quad (16)$$

$$\delta[X(t)] = \delta_x(t). \quad (17)$$

Обозначая корреляционную функцию для моментов времени  $t$  и  $t'$  через  $K_x(t, t')$ , получена [47-49, 63, 65, 71]:

$$K_x(t, t') = M[\dot{\bar{X}}(t)\dot{\bar{X}}(t')], \quad (18)$$

где  $\dot{\bar{X}}(t)$  – центрированное значение, состоящее из разности значений между случайной функции времени и ее математическим ожиданием:

$$\dot{\bar{X}}(t) = X(t) - m_x(t). \quad (19)$$

Выполнение условия  $t' = t$  способствует переходу корреляционной функции в дисперсию:

$$K_x(t, t') = M[\tilde{X}(t)]^2 = D_x(t). \quad (20)$$

Расчет случайной величины (нормированной) произведен согласно выражению:

$$X_N(t) = [X(t) - m_x(t)]/\delta_x(t) = \tilde{X}(t)/\delta_x(t) \quad (21)$$

Коэффициент корреляции сечений определяется как произведение математического ожидания для двух нормированных сечений:

$$\rho_x(t, t') = K_x(t, t') / [\delta_x(t)\delta_x(t')] = M[X_N(t)X_N(t')']. \quad (22)$$

В условиях  $t' = t$  представленный коэффициент равен:

$$\rho_x(t, t') = D_x(t)/\delta_x^2(t) = 1. \quad (23)$$

Таким образом, математическое ожидание  $m_x(t)$ , дисперсия  $D_x(t)$ , коэффициенты корреляции  $\rho_x(t, t')$  – основные количественные характеристики случайного процесса

При выявлении зависимости между количеством ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные дорожные происшествия были получены результаты, представленные в таблице 9.

Таблица 9 – Количество ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные дорожные происшествия на территории Белгородской городской агломерации за период 2020–2024 гг.

Диапазоны времени	Дни недели							Итого
	понедельник	вторник	среда	четверг	пятница	суббота	воскресенье	
07.01-10.00 (1)	31	38	34	40	40	19	7	209
10.01-13.00 (2)	27	37	29	26	33	20	14	186
13.01-16.00 (3)	15	36	24	35	21	19	11	161
16.01-19.00 (4)	60	56	67	54	75	46	33	391
19.01-22.00 (5)	38	35	32	41	58	61	31	296
22.01-01.00 (6)	8	7	8	9	23	16	9	80
01.01-04.00 (7)	4	2	4	1	5	3	8	27
04.01-07.00 (8)	2	2	5	7	1	5	7	29
Итого	185	213	203	213	189	189	120	1312

Требования при использовании методов, направленных на обработку статистических данных, регулярно совершенствуются и возрастают.

Для выявления зависимости между количеством ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные происшествия, использован критерий  $\chi^2$  Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_e - f_m)^2}{f_m} , \quad (24)$$

где  $f_e$  – эмпирическая частота,  $f_m$  – теоретическая частота,  $k$  – количество разрядов признака.

Присутствие высокой корреляционной связи между количеством ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные ДТП, позволило определить 8 диапазонов времени.

Временной интервал с наибольшим количеством наездов на пешеходов (391 ДТП) находится в пределе с 16:01 ч. до 19:00 ч. С наименьшим количеством (27 ДТП) – с 01:01 ч. до 04:00 ч.

Графики количества ДТП с участием пешеходов, произошедших в характерные часы суток по исследуемым направлениям БГА, представлены на рисунке 43.

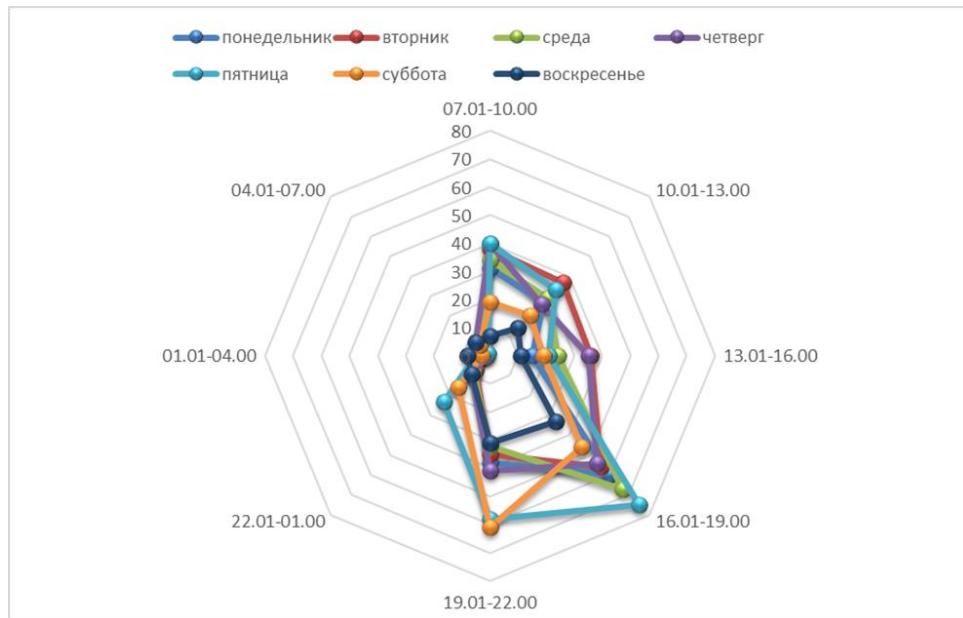


Рисунок 43 – График количества ДТП с участием пешеходов, произошедших в характерные часы суток по исследуемым направлениям БГА

В результате проведенного анализа были теоретически обоснованы и выявлены зависимости между количеством ДТП с участием пешеходов и времененным интервалом, в течение которого совершены данные дорожные происшествия, коэффициент корреляции составил более 0,99. Этот факт указывает на наличие статистически значимой зависимости между количеством дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов и выявленными временными интервалами, в которых фиксируется наибольшее число наездов.

## 2.5 Выводы по главе 2

1. Выявлено, что наезд на пешеходов наиболее часто происходит при следующих условиях движения: «ясно – сухое – светлое». Количество ДТП с участием пешеходов распределено данным образом: зимой (7,6%), весной

(26,3%), летом (38,1%), осенью (28%); при условиях движения «ясно – сухое – темное – освещение включено»: зимой (18,7%), весной (17,3%), летом (22%), осенью (42%); при условиях движения «ясно – сухое – темное – освещение отсутствует»: зимой (19,6%), весной (17,3%), летом (22,3%), осенью (40,8%); при условиях движения «пасмурно – сухое – светлое»: зимой (16,5%), весной (19,7%), летом (30,9%), осенью (32,9%); при условиях движения «пасмурно – сухое – темное – освещение включено»: зимой (17,5%), весной (4,1%), летом (48,5%), осенью (29,9%); при условиях движения «пасмурно – сухое – темное – освещение отсутствует»: зимой (24,7%), весной (9,1%), летом (28,6%), осенью (37,6%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – светлое»: зимой (45,2%), весной (20,2%), летом (9,6%), осенью (25%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – темное – освещение включено»: зимой (57,5%), весной (10%), летом (1,9%), осенью (30,6%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – темное – освещение отсутствует»: зимой (54,6%), весной (10,3%), летом (3,7%), осенью (31,4%); при условиях движения «дождь – мокрое – светлое»: зимой (12,5%), весной (20,8%), летом (11,5%), осенью (55,2%).

2. Исследованы пешеходные потоки на регулируемых и нерегулируемых ПП как в городе, так и за пределами города. Скорость пешеходного потока при спокойном шаге составляет 0,5 – 1,5 м/с. На скорость пешехода влияет возраст, пол, состояние здоровья, цель передвижения, погодно-климатические условия, дорожные условия, состояние освещенности участка.

Состояние дорожного покрытия влияет на изменение скорости пешеходного потока более чем в 2 раза, возраст – в 1,7 раза, протяженность ПП – в 1,5 раз.

Темп движения пешеходов (с/м) также является важной характеристикой пешеходных потоков, которая будет учитываться в дальнейших исследованиях.

Отмечено, что в условиях быстрого шага мужчины в возрасте от 19 до 35 лет способны передвигаться со скоростью более 3,5 м/с, в условиях бега – до 7 м/с, что увеличивает расстояние, необходимое для остановки.

3. Установлено, что при увеличении числа пешеходов в группе (от двух и более человек) скорость передвижения как самой группы, так и всего

пешеходного потока уменьшается на 15-20%. Когда количество людей в группе растет, это приводит к снижению их скорости движения примерно на 10-12%.

4. Разработана методика сбора данных о количестве пешеходов, скапливающихся перед регулируемым пешеходным переходом с использованием уточнений детализации состава пешеходного потока, а именно, мониторинга лиц с учетом предварительно обученных нейронных сетей (*age\_net* и *gender\_net*) для определения возраста и пола соответственно, позволяющая повысить пропускную способность дороги на 27,9% и снизить задержки нахождения транспортных средств и пассажиров в пути на 22,7%. Точность полученных результатов составила более 92%.

5. Присутствие высокой корреляционной связи между количеством ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные ДТП, позволило определить 8 диапазонов времени. Временной интервал с наибольшим количеством наездов на пешеходов (391 ДТП) находится в пределе с 16:01 ч. до 19:00 ч. с наименьшим количеством (27 ДТП) – с 01:01 ч. до 04:00 ч.

## **Глава 3 РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОГО ПОДХОДА К СНИЖЕНИЮ НАЕЗДОВ НА ПЕШЕХОДА И ВРЕМЕНИ НАХОЖДЕНИЯ В ПУТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

### **3.1 Разработка математической модели управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующуюся на основе свода правил нечеткой логики**

Наличие приближенных (нечетких) рассуждений для описания человеком различных процессов, объектов, систем стало первопричиной появления теории нечетких множеств и нечеткой логики в результате научных исследований ученого из Калифорнийского университета Лотфи А. Заде (L. Zade) в 1965 г.

Нечеткая логика применяется в различных областях, где присутствуют неопределенность и неточность. Широко используется в медицинской диагностике для управления неопределенностью симптомов и повышения точности диагнозов; системы помощи водителю, такие как антиблокировочные системы тормозов (ABS) и системы стабилизации автомобиля используют нечеткую логику для обработки неточной информации и обеспечения безопасного вождения, посредством тонкой реакции и оптимизации сцепления шин с дорогой.

Так как математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, а также оперировать этими знаниями и делать нечеткие выводы, то данная теория применима и в управлении дорожным движением для оптимизации транспортных потоков и уменьшения заторов в режиме реального времени, поскольку посредством нечеткой логики удается расширить границу приложения систем автоматизации за пределы применимости классической теории автоматического управляемого решения.

Теория нечетких множеств позволяет переопределить подмножества с помощью функций принадлежности (ФП) (Membership Function), имеющих значения от 0 до 1, что делает модели более гибкими и адаптивными.

Так как  $MFc(x)$  обозначает степень принадлежности к нечеткому множеству  $C$  и представляет собой множество упорядоченных пар вида [63, 65, 71]:

$$\begin{aligned} C &= \{MFc(x)/x\}, \\ MFc(x) &[0, 1]. \end{aligned} \quad (23)$$

При  $MFc(x) = 0$  – принадлежность к множеству отсутствует.

При  $MFc(x) = 1$  – принадлежность к множеству полная [63, 65, 71].

Логические операции пересечения двух нечетких множеств (нечеткое «И») [63, 65, 71]:

$$AB: MF_{AB}(x) = \min(MF_A(x), MF_B(x)) \quad (24)$$

Логические операции объединения двух нечетких множеств (нечеткое «ИЛИ») [63, 65, 71]:

$$AB: MF_{AB}(x) = \max(MF_A(x), MF_B(x)) \quad (25)$$

Теория нечетких множеств включает в себя операции пересечения, объединения и дополнения. Такой подход реализуется в треугольных нормах. Представленные реализации ранее относятся к постоянно используемым случаям.

Описать нечеткие множества возможно путем применения лингвистических переменных.

Набор  $(N, X, A)$  позволяет описать нечеткую переменную, где  $N$  – наименование переменной,  $X$  – универсум,  $A$  – нечеткое множество на  $X$  [63, 65, 71].

В свою очередь, нечеткие переменные и есть значения лингвистических переменных. Лингвистическая имеет уровень выше, чем нечеткая.

Более десяти типовых форм различного вида кривых имеется для задания ФП. Самые известные указаны на рисунке 44, а именно: треугольные, трапецидальные и гауссова ФП.

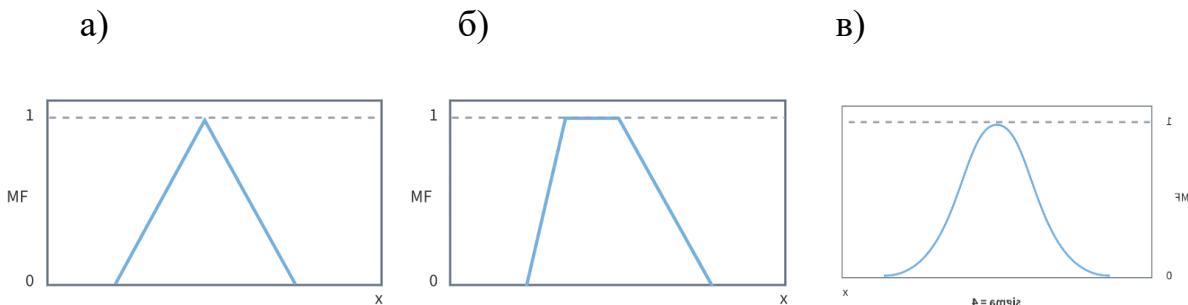


Рисунок 44 – Формы кривых для задания ФП

Нечеткие утверждения основываются на базе правил нечеткого вывода, которые выглядят в формате «ЕСЛИ, ТО» и включают в себя следующее условие: для каждого лингвистического термина выходной переменной должно существовать как минимум одно правило.

В общем случае процесс логического вывода состоит из четырех основных этапов:

1. «Введение нечеткости (фазификация)» – на этом этапе входные данные преобразуются в нечеткую форму, что позволяет работать с неопределенностью.
2. «Нечеткий вывод» – здесь происходит применение нечетких правил для получения промежуточных результатов.
3. «Композиция» – на этом этапе объединяются результаты, полученные из различных правил, чтобы сформировать общую картину.
4. «Приведение к четкости (дефазификация)» – последний этап, на котором полученные нечеткие значения преобразуются обратно в четкие, что позволяет интерпретировать результаты (рисунок 45).

Таким образом, процесс нечеткого логического вывода включает в себя последовательное преобразование и обработку данных с учетом их неопределенности, что позволяет получать более гибкие и адаптивные решения.



Рисунок 45 – Система нечеткого логического вывода

Символическое обозначение лингвистических переменных в системах нечеткого вывода описаны в научных трудах Леоненкова А.В. [71].

Приняты три входных лингвистических переменных для фаззи-регулятора, образующих входной вектор  $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3]$ , и одна выходная лингвистическая переменная  $\alpha_4$ ,

где  $\alpha_1$  – количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через пешеходный переход;

$\alpha_2$  – темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов;

$\alpha_3$  – ширина проезжей части дороги;

$\alpha_4$  – время зеленого сигнала для пешеходного светофора» [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Согласно вычислениям диапазон изменения количества пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал светофора, составляет от 0 до 36 единиц. Принят диапазон изменения первой лингвистической переменной  $\Delta \alpha_1 = [0; 36]$ . Для описания переменной  $\alpha_1$  введено пять ФП, равномерно распределенных по всему диапазону изменения [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131]:

- VS (Very Small) – «очень малое» [0; 0; 2; 9];
- S (Small) – «малое» [0; 9; 18];
- M (Medium) – «среднее» [9; 18; 27];
- B (Big) – «большое» [18; 27; 36];

– VB (Very Big) - «очень большое» [27; 34; 36; 36], согласно источникам [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

На рисунке 46 представлены ФП для лингвистической переменной  $\alpha_1$  «Количество пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал».

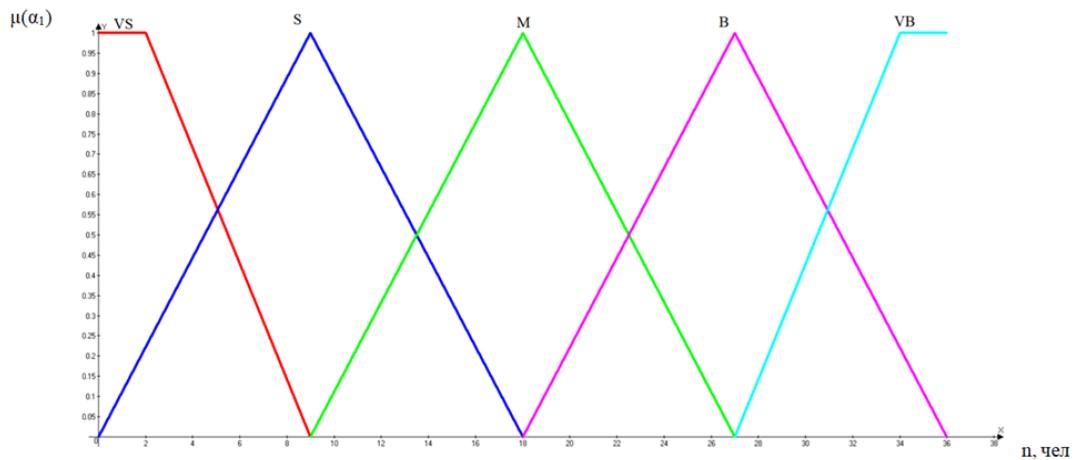


Рисунок 46 – Функции принадлежности для лингвистической переменной  $\alpha_1$  «Количество пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал»

Определение темпа изменения количества пешеходов, скапливающихся на красный сигнал светофора перед РПП необходимо для построения следующей ФП.

Результаты расчетов для количества пешеходов, подходящих к перекрестку, представлены в таблице 10 [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Темп изменения количества пешеходов определяется следующим образом [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131]:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_{\text{конеч}} - n_{\text{нач}}}{\Delta t}, \quad (26)$$

где  $n_{\text{конеч}}$  – количество пешеходов в конечный момент времени,  $n_{\text{нач}}$  – количество пешеходов в предыдущий момент времени,  $\Delta t = 1$  мин – период измерения количества пешеходов [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Таблица 10 – Обработка статистических данных

№ п/п	Понедельник		Вторник		Среда		Четверг		Пятница	
	Коли чест во пеше ходов n, чел	Произ водная колич ества пешех одов $\frac{dn}{dt}$ , че л/мин <sup>2</sup>	Коли чест во пеше ходов n, чел	Произ водная колич ества пешех одов $\frac{dn}{dt}$ , че л/мин <sup>2</sup>	Коли чест во пеше ходов n, чел	Произ водная колич ества пешех одов $\frac{dn}{dt}$ , че л/мин <sup>2</sup>	Коли чест во пеше ходов n, чел	Произ водная колич ества пешех одов $\frac{dn}{dt}$ , че л/мин <sup>2</sup>	Коли чест во пеше ходов n, чел	Производная количест ва пешеход ов $\frac{dn}{dt}$ , чел/мин <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4	-	6	-	5	-	7	-	9	-
2	6	2	8	2	9	4	11	4	13	4
3	8	2	11	3	13	4	12	1	19	6
4	10	2	13	2	9	-4	19	7	20	1
5	12	2	14	1	15	6	15	-4	25	5
6	14	2	16	2	17	2	11	-4	27	2
7	15	1	12	-4	22	5	31	20	31	4
8	16	1	17	5	17	-5	17	-14	27	-4
8	14	-2	24	7	24	7	14	-3	37	10
9	18	4	17	-7	13	-11	18	4	25	-12
10	19	1	17	-	27	14	18	-	24	-1
11	15	-4	22	5	31	4	22	4	20	-4
12	20	5	22	-	11	-20	12	-10	20	-
13	12	-8	24	2	18	7	13	1	23	3
14	18	6	21	-3	16	-2	17	4	20	-3
15	22	4	24	3	20	4	21	4	35	15

На пять диапазонов разбили область значений лингвистической переменной  $\alpha_2$  «Темп изменения количества пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал», присвоив каждому из них терму [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131]:

- NB (Negative Big) – «отрицательное большое» [-20; -20; -16; -8];
- NS (Negative Small) – «отрицательное малое» [-16; -8; 0];
- Z (Zero) – «нулевое» [-8; 0; 8], согласно источникам [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131];
- PS (Positive Small) – «положительное малое» [0; 8; 16];
- PB (Positive Big) – «положительное большое» [8; 16; 20; 20], согласно источникам [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Теория принятия решений в совокупности с основными положениями нечеткой логики позволяет определить формы нечетких терм. Каждая терма описывает лингвистическую переменную, в данном случае  $\alpha_2$  «Темп изменения количества пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал».

Результаты, полученные в ходе обработки статистических данных темпа изменения количества пешеходов  $\frac{dn}{dt}$ , собирающихся на красный сигнал светофорного регулирования перед РПП, находятся в 9 интервалах, при этом в каждый интервал попадает хотя бы одна расчетная точка. В совокупности представленные интервалы образуют матрицу  $(v_{ij})$ ,  $i \in 1 \div 5$ ,  $j \in 1 \div 11$ . Значения, равные  $v_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^n v_{ij}$ , занесены в таблицу 11 [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Таблица 11 – Статистические данные расчета темпа изменения количества пешеходов  $\frac{dn}{dt}$ , скапливающихся на запрещающий сигнал светофора

Лингвистический терм	Количество значений $\frac{dn}{dt}$ , попадающих в соответствующий интервал								
	(-20;-14)	(-14;-10)	(-10;-6)	(-6;-2)	(-2;2)	(2;6)	(6;10)	(10;14)	(14;20)
NB	2	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	2	1	6	2	0	0	0	0
Z	0	0	0	6	8	10	2	0	0
PS	0	0	0	0	9	13	3	0	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	2	1
$v_{\Sigma j}$	2	2	1	12	19	23	5	2	1

Далее все элементы  $v_{ij}$  таблицы (кроме последней строки) преобразованы по формуле:

$$v_{ij} = \frac{v_{ij} \cdot v_{\Sigma \max}}{v_{\Sigma j}}. \quad (27)$$

Для построения ФП лингвистической переменной найдены максимальные элементы в строке преобразованной таблицы 12  $v_{i \max} = \max v_{ij}$  [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Таблица 12 – Преобразованные статистические данные расчета темпа изменения количества пешеходов  $\frac{dn}{dt}$ , скапливающихся на запрещающий сигнал

Лингвистический терм	Преобразованные значения $v_{ij}$									$v_{imax}$
	(-20;-14)	(-14;-10)	(-10;-6)	(-6;-2)	(-2;2)	(2;6)	(6;10)	(10;14)	(14;20)	
NB	23	0	0	0	0	0	0	0	0	23
NS	0	23	23	11,5	2,4	0	0	0	0	23
Z	0	0	0	11,5	9,7	17,7	13,3	0	0	17,7
PS	0	0	0	0	10,9	13	18,7	23	0	23
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	23	23

Значения функций принадлежности вычислены по формуле [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131]:

$$\mu_{ij} = \frac{v_{ij}}{v_{imax}}. \quad (28)$$

В результате сформирована таблица 13 значений ФП лингвистической переменной  $\alpha_2$  и график ФП, представленный на рисунке 47 [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Таблица 13 – Таблица расчетных значений ФП лингвистической переменной  $\beta_2$

Лингвистический терм	Преобразованные значения $\mu_{ij}$								
	(-20;-14)	(-14;-10)	(-10;-6)	(-6;-2)	(-2;2)	(2;6)	(6;10)	(10;14)	(14;20)
NB	1	0	0	0	0	0	0	0	0
NS	0	1	1	0,5	0,1	0	0	0	0
Z	0	0	0	0,65	0,55	1	0,75	0	0
PS	0	0	0	0	0,58	0,67	1	0	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	1	1

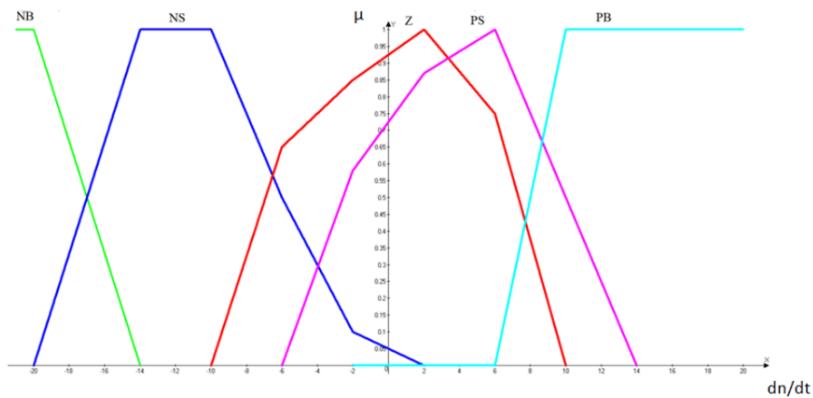


Рисунок 47 – ФП лингвистической переменной  $\alpha_2$

По оси Y отложены значения  $\mu_{ij}$ , которые использовались в ходе построения графика. Все точки, указанные на графике, были соединены между собой для построения многоугольных ФП [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

ФП для второй лингвистической переменной представлены на рисунке 48. Они интерполированы относительно графика, указанного на рисунке 47 [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

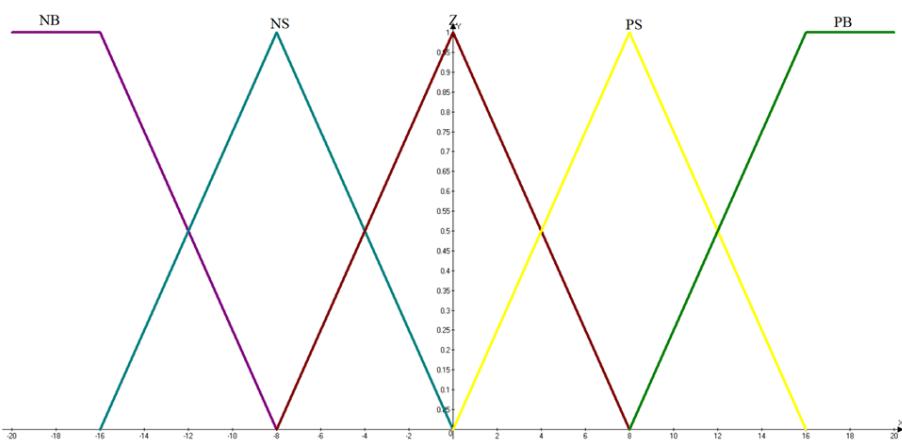


Рисунок 48 – ФП для лингвистической переменной  $\alpha_2$  «Темп изменения количества пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал»

Диапазон изменения показателя переменной  $\alpha_3$  «Ширина проезжей части дороги» составляет от 7 до 30, т.е. третья переменная находится в интервале [7; 30], имеет 5 ФП, распределенных по всему диапазону значений переменной [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131]:

- VS (Very Small) – «очень малое» [7; 7; 8; 12,75];
- S (Small) – «малое» [7; 12,75; 18,5];
- M (Medium) – «среднее» [12,75; 18,5; 24,25];
- B (Big) – «большое» [18,5; 24,25; 30];
- VB (Very Big) «очень большое» [24,25; 29; 30; 30], согласно источникам [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Значения ФП для третьей лингвистической переменной продемонстрированы на рисунке 49.

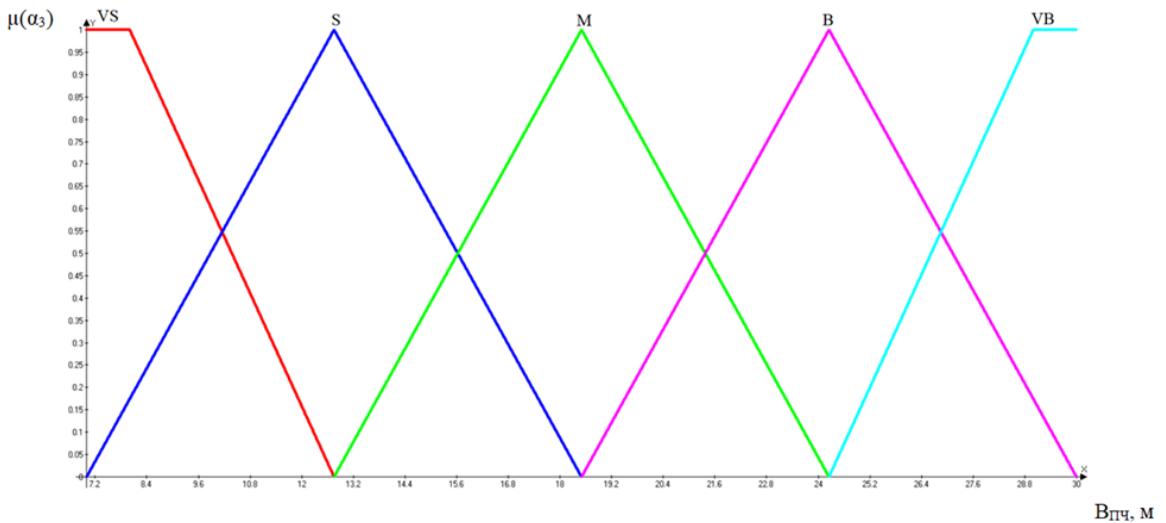


Рисунок 49 – ФП для лингвистической переменной  $\alpha_3$

*«Ширина проезжей части дороги»*

Диапазон изменения показателя выходной лингвистической переменной  $\alpha_4$  «Длительность разрешающего сигнала светофора» составляет от 16 до 44, соответственно  $\Delta\alpha_4 = [16; 44]$ .

Описать выходную лингвистическую переменную позволили 5 ФП, которые были распределены по всему диапазону равномерно [18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131]:

- VS (Very Small) – «очень малое» [16; 16; 17; 23];
- S (Small) – «малое» [16; 23; 30];
- M (Medium) – «среднее» [23; 30; 37];
- B (Big) – «большое» [30; 37; 44];
- VB (Very Big) – «очень большое» [37; 43; 44; 44], согласно источникам

[18, 26, 63, 65, 71, 79, 123, 128, 131].

Для выходной лингвистической переменной  $\alpha_4$  «Длительность разрешающего сигнала» определены термы и представлены на рисунке 50 вышеуказанные функции принадлежности.

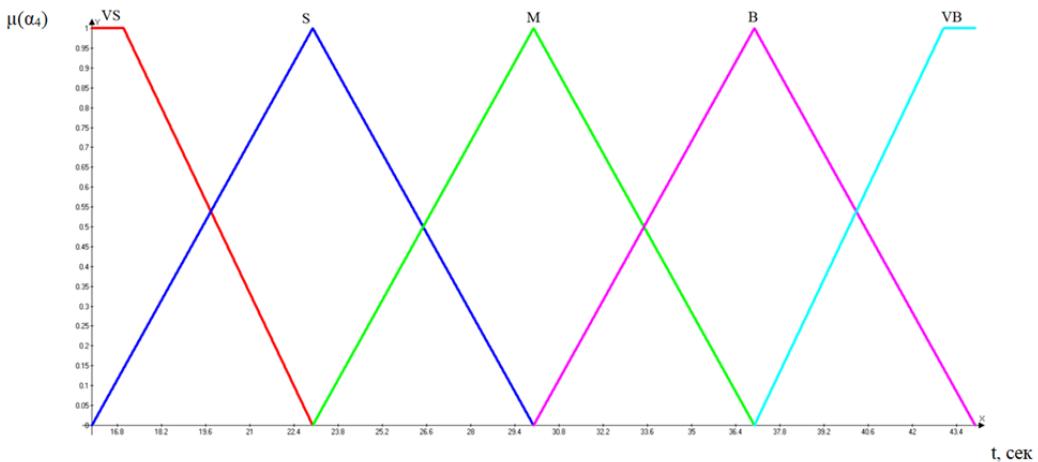


Рисунок 50 – ФП для выходной лингвистической переменной  $\alpha_4$  «Длительность разрешающего сигнала»

Такой подход позволяет быстрее и эффективнее адаптировать модель к реальным условиям эксплуатации.

Результаты исследования, посвященного эффективному управлению светофорными объектами, предоставляют важные выводы, которые могут значительно улучшить работу светофорного регулирования.

В первую очередь, состояние системы напрямую влияет на скорость изменения количества пешеходов, которые скапливаются на переходе при запрещающем сигнале светофора. В противном случае, если значение маленькое, это указывает на короткую длительность разрешающего сигнала. Кроме того, знак полученного значения также имеет значение: положительное значение говорит о том, что длительность разрешающего сигнала увеличивается.

Для рационального режима управления светофорными циклами была разработана система управления, основанная на 80 правилах нечеткой логики. Все правила применяются с весовым коэффициентом, равным единице ( $k_w = 1$ ), что означает, что каждое из них имеет равное значение и влияние на общий процесс управления. Эти исследования и выводы подчеркивают важность точного анализа состояния пешеходного потока и необходимости гибкого подхода к управлению светофорными циклами.

Правильная интерпретация данных и использование нечеткой логики позволяет

значительно повысить эффективность работы светофоров, что, в свою очередь, может привести к улучшению безопасности на дорогах и более комфортному передвижению пешеходов. База правил нечеткой логики приведена в приложении 4.

В качестве примера приведены пять характерных правил нечеткого вывода:

1. ЕСЛИ  $\alpha_1 = VS$  И  $\alpha_2 = Z$  И  $\alpha_3 = PS$ , ТО  $\alpha_4 = S$ .
2. ЕСЛИ  $\alpha_1 = PS$  И  $\alpha_2 = NB$  И  $\alpha_3 = PM$ , ТО  $\alpha_4 = S$ .
3. ЕСЛИ  $\alpha_1 = PB$  И  $\alpha_2 = NB$  И  $\alpha_3 = B$ , ТО  $\alpha_4 = M$ .
4. ЕСЛИ  $\alpha_1 = VB$  И  $\alpha_2 = PM$  И  $\alpha_3 = B$ , ТО  $\alpha_4 = B$ .
5. ЕСЛИ  $\alpha_1 = VB$  И  $\alpha_2 = Z$  И  $\alpha_3 = PB$ , ТО  $\alpha_4 = NB$ .

Прочтение первого правила выглядит следующим образом:

ЕСЛИ «Количество пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал»  $\alpha_1$  – «Очень малое» (VS – Very Small) И «Темп изменения количества пешеходов, скапливающихся на запрещающий сигнал»  $\alpha_2$  – «Нулевое, близкое к нулю» (Z – Zero) И «Ширина проезжей части дороги»  $\alpha_3$  – «Положительное малое» (PS –Positive Small), ТО «Длительность разрешающего сигнала»  $\alpha_4$  – «малое» (S – Small).

### **3.1.1 Управление длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования посредством среды Matlab**

Наиболее распространенный метод логического вывода в нечетких системах основан на механизме Мамдани (Mamdani).

Этот метод предполагает использование минимаксной композиции нечетких множеств.

Алгоритм нечеткого вывода состоит из нескольких ключевых этапов.

В первую очередь проводится фазификация для определения степени истинности.

Если у нас есть база правил, содержащая  $m$  правил, то степени истинности обозначим [63, 65, 71, 79, 123, 131]:

$$A_{ik}(x_k), i=1..m, k = 1..n \quad (29)$$

где  $n = 80$  – количество правил системы нечеткого вывода

Для левой части базы правил определяем [63, 65, 71, 79, 123, 131-133]:

$$\alpha_i = \min(A_{ik}(x_k)) \quad (30)$$

Далее находятся «усеченные» функции принадлежности [63, 65, 71, 79, 123, 133-135]:

$$B_i^*(y) = \min(\alpha_i, B_i(y)) \quad (31)$$

Объединение полученных усеченных функций, для чего используется максимальная композиция нечетких множеств [63, 65, 71, 79, 123, 135-137]:

$$MF(y) = \max(B_i(y)), \quad (32)$$

где  $MF(y)$  — функция принадлежности итогового нечеткого множества.

Дефазификация определяется следующим образом [63, 65, 71, 79, 123, 131]:

$$y = \frac{\int_y y B(y)}{\int_y B(y)} \quad (33)$$

В среде *Matlab* посредством *Fuzzy Logic Toolbox* и его графических интерфейсов возможно редактирование системы нечеткого вывода:

1. Редактор функций принадлежности (Membership Function Editor) – инструмент, который позволяет пользователям создавать и настраивать функции принадлежности, определяющие, как входные значения соотносятся с нечеткими множествами.

2. Редактор правил (Rule Editor) – средство для формирования и редактирования правил, на основе которых система принимает решения. В этом

редакторе можно задавать логические связи между входными и выходными переменными.

3. Просмотр правил (Rule Viewer) – инструмент, предназначенный для визуализации правил системы нечеткого вывода. Он позволяет пользователям видеть, как применяются правила к входным данным и какие выводы из этого следуют.

4. Просмотр поверхности (Surface Viewer) – инструмент, который помогает визуализировать поверхность вывода системы нечеткого вывода. С его помощью можно наблюдать, как изменения входных данных влияют на выходные значения, что особенно полезно для анализа работы системы. Эти инструменты делают разработку и анализ систем нечеткого вывода более наглядными и удобными для пользователей.

На рисунках 51-54 представлены результаты системы нечеткого вывода в виде графических интерфейсов.

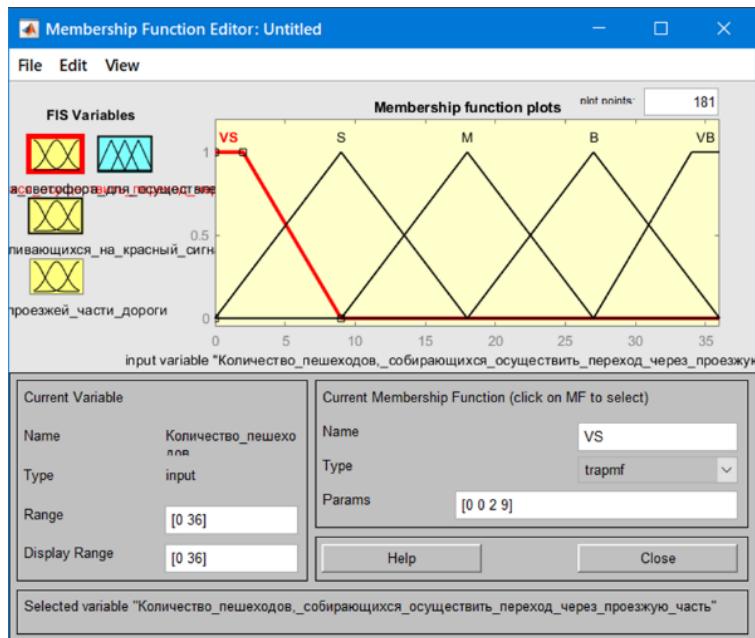


Рисунок 51 – Результаты системы нечеткого вывода в виде графических интерфейсов для а) «Количество пешеходов, собирающихся осуществить переход через проезжую часть»

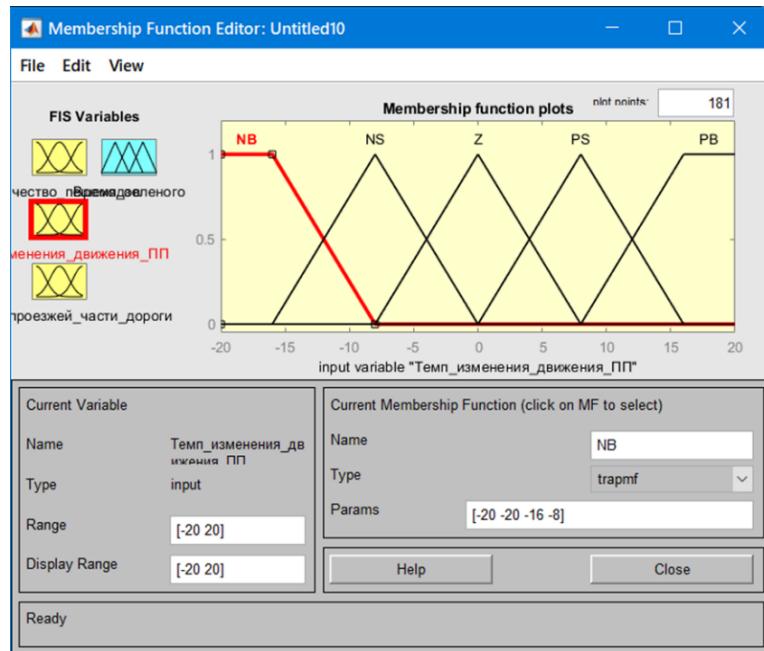


Рисунок 52 – Результаты системы нечеткого вывода в виде графических интерфейсов для  $\alpha_2$  «Темп изменения количества пешеходов, скапливающихся на красный сигнал светофора»

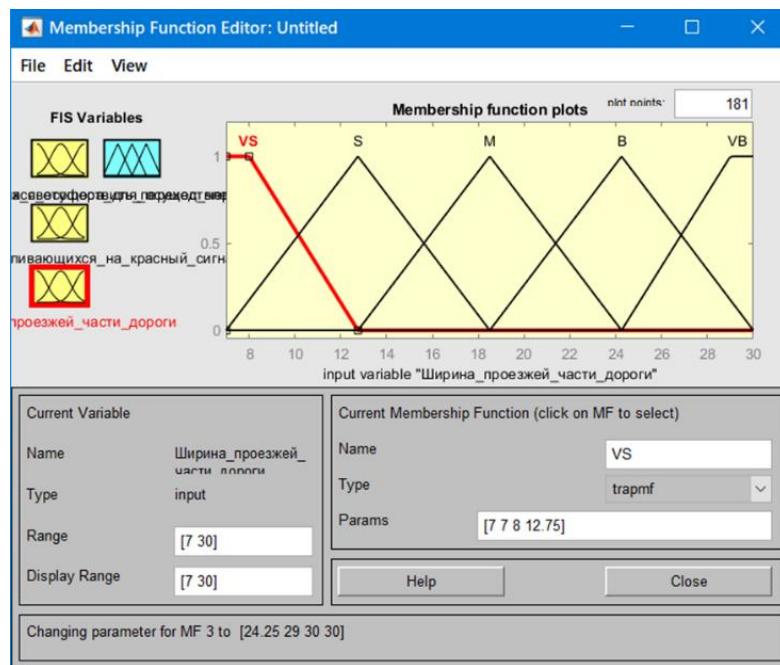


Рисунок 53 – Результаты системы нечеткого вывода в виде графических интерфейсов для  $\alpha_3$  «Ширина проезжей части дороги»

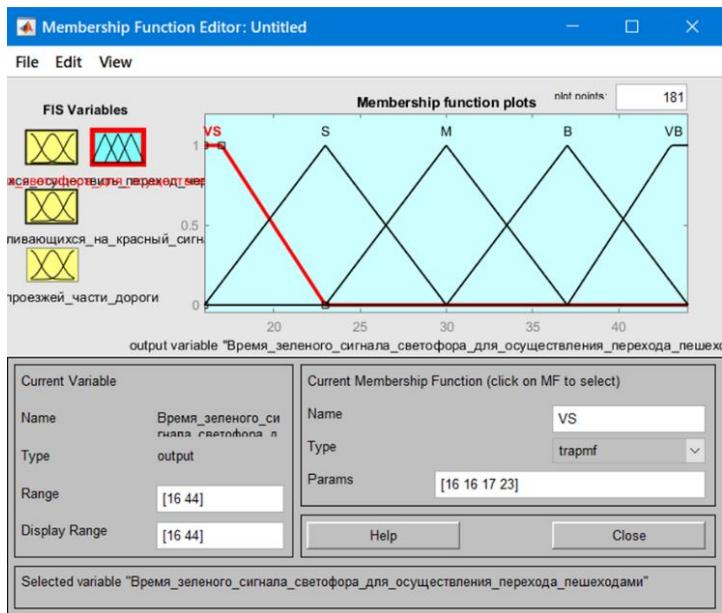


Рисунок 54 – Результаты системы нечеткого вывода в виде графических интерфейсов для а4 «Время зеленого сигнала светофора для осуществления перехода пешеходами»

В приложении 4 представлены 80 разработанных правил нечеткой логики.

Программа просмотра правил при вводе значений входных переменных в среде *Matlab* при запуске позволяет осуществить оценку эффективности разработанного мероприятия, а именно, математической модели управления движением пешеходного потока по РПП.

Результаты значений входных и выходной переменных продемонстрированы в графическом интерфейсе, отображенном на рисунке 55.

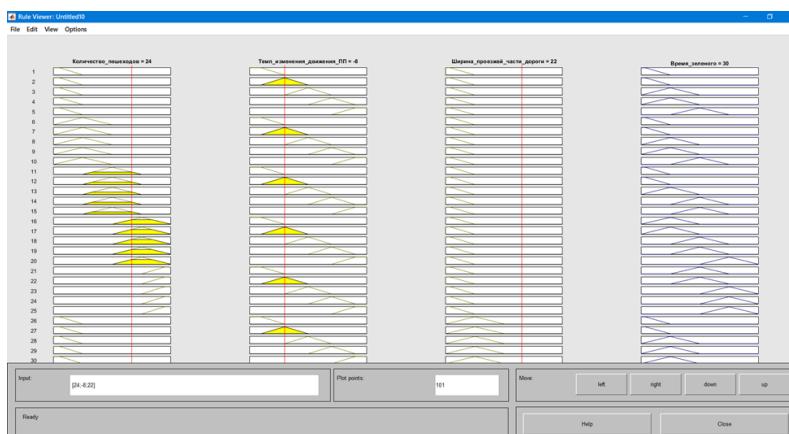


Рисунок 55 – Отображение результатов полученных значений с использованием графического интерфейса

Полученные результаты позволяют провести общий анализ разработанной математической модели управления движением пешеходного потока по РПП на основе свода правил нечеткой логики.

Визуализация соответствующей поверхности нечеткого вывода (рисунок 56) является полезным инструментом для этого анализа.

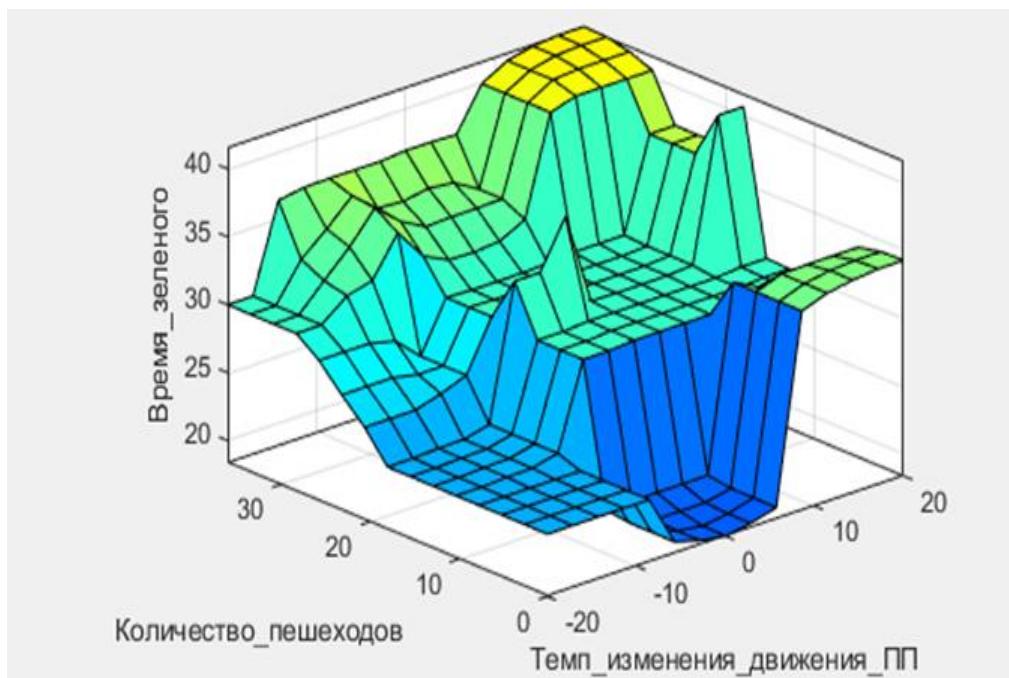


Рисунок 56 – Визуализация поверхности нечеткого вывода

Поверхность нечеткого вывода отображена на рисунке 56. Полученные значения демонстрируют влияние входных лингвистических переменных на результат выходной переменной.

Зависимость между переменными позволяет осуществлять настройку контроллера за счет системы принятия решений, необходимых для управления длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования как для пешеходных, так и транспортных потоков.

В ходе апробации данной модели установлено, что задержки транспортных средств в пути снизятся на 20,6 % и абсолютное значение количества снизится на 33,3 %. Данные представлены на рисунке 57.

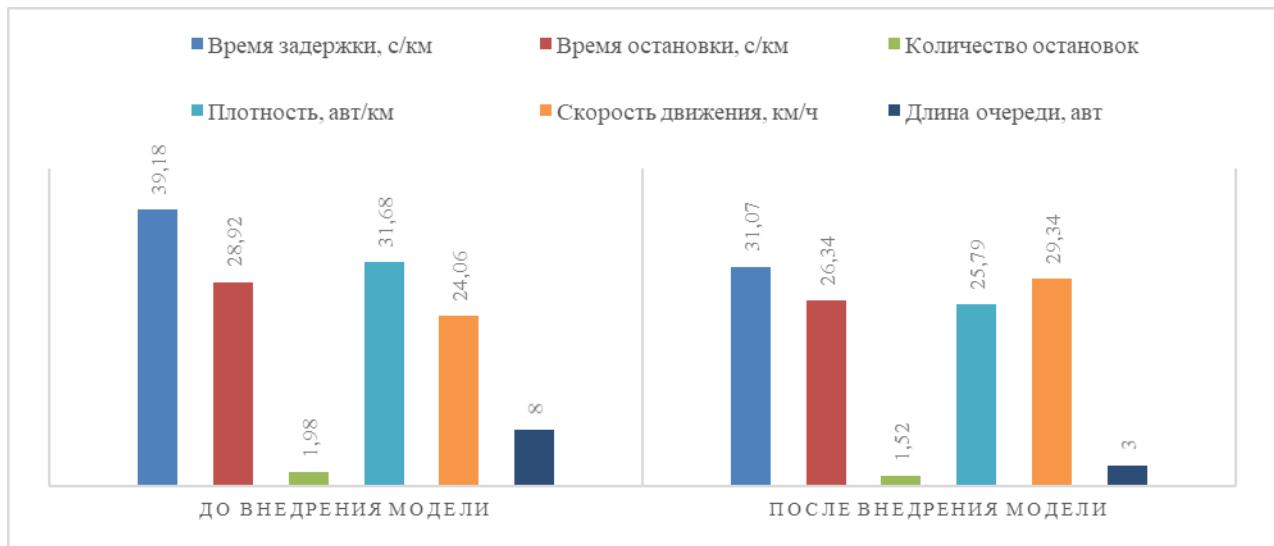


Рисунок 57 – Графическое изображение изменения характеристик транспортного потока до и после внедрения модели

### 3.2 Разработка системы повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу

Наезд на пешеходов чаще всего совершается на нерегулируемых ПП, зачастую с летальным исходом. Для снижения смертности и минимизации аварийности на данных участках УДС была разработана система повышения безопасности передвижения пешеходов по НПП, представленная на рисунке 58.

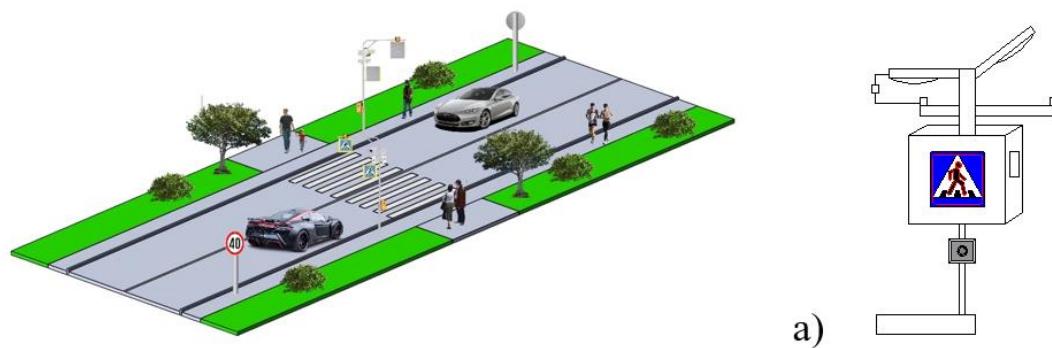


Рисунок 58 – Визуализация впервые разработанной системы повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому ПП:  
а – устройство оповещения участников ДД

Система повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу: датчики движения; камеры фото-, видеофиксации; дорожный знак «Пешеходный переход» со световой индикацией; опора освещения; светильники; блок управления; вызывное информационное табло.

Принцип работы данной системы заключается в следующем: датчик движения, который реагирует на наличие объектов (пешеходов), фиксирует их появление. Далее передается информация о присутствии пешехода в зоне НПП на блок управления, который в свою очередь информирует светильники и информационное табло. Для сигнализации используются светодиодные лампы с красной и зеленой световой индикации.

Зеленая световая индикация указывает на то, что пешеходов нет, и ТС может продолжать движение без остановки. В то время как красный цвет сигнализирует о том, что пешеход приближается к переходу. Это предупреждение дает водителю возможность заранее отреагировать на ситуацию и принять меры, такие как торможение или остановка ТС.

Для пешеходов также работает световая индикация на вызывном информационном табло: зеленый свет означает начало движения пешехода по нерегулируемому ПП, красный свет – остановку движения.

Разработанная система повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому ПП имеет ряд преимуществ:

- обеспечивает своевременное уведомление водителей о том, что пешеходы приближаются к пешеходному переходу (ПП);
- увеличивается уровень освещения в районе ПП, что повышает безопасность;
- система контролирует выполнение ПДД;
- возможность дистанционного управления работой оборудования, установленного в зоне ПП, а также быстрое устранение возможных неисправностей;

- при необходимости система может отображать местоположение ПП на интерактивной карте, что облегчает ориентирование;
- стоимость реализации данной системы значительно ниже по сравнению с традиционными светофорными системами.

Кроме того, управление системой через программную платформу является еще одним важным преимуществом, которое делает её более удобной и эффективной в использовании.

Совокупность технических результатов позволяет решить задачу повышения БДД пешеходов с учетом возможности своевременного оповещения водителей с целью предотвращения наезда на пешехода, посредством взаимного заблаговременного одновременного информирования не только водителей, но и пешеходов о возможности движения или полной остановки.

Таким образом, использование системы повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому ПП позволяет повысить эффективность и информативность управления движением на нерегулируемом ПП, что повышает уровень БДД за счет снижения количества ДТП с участием пешеходов. Кроме того, обеспечивается снижение экономических расходов и потерь за счет экономии электроэнергии, а также отсутствия необходимости установки светофорного объекта.

### **3.3 Выводы по главе 3**

1. Разработана математическая модель управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующаяся на нечеткой логике и позволяющая управлять длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования как для пешеходных, так и транспортных потоков.

2. Приняты три входных лингвистических переменных: «количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через пешеходный переход», диапазон которой находится в пределах  $\Delta\alpha_1 = [0; 36]$ ; «темпер изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора

для пешеходов» –  $\Delta\alpha_2 = [-20; 20]$ ; «ширина проезжей части дороги» –  $\Delta\alpha_3 = [7; 30]$ , а также одна выходная лингвистическая переменная «время зеленого сигнала для пешеодного светофора» с диапазоном  $\Delta\alpha_4 = [16; 44]$ .

3. Результат расчета одного из сигналов управления движением пешеодного потока на основании нечеткого вывода выглядит следующим образом:  $\alpha_1 = 27$  – количество людей, собирающихся в пешеодной зоне для осуществления перехода через пешеодный переход, чел;  $\alpha_2 = 16$  – темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеодов;  $\alpha_3 = 22,5$  – ширина проезжей части дороги, м. В результате процесса нечеткого вывода получили, что  $\alpha_4 = 37$  – время зеленого сигнала для пешеодного светофора, с.

В ходе апробации данной модели установлено, что задержки нахождения транспортных средств в пути снижаются на 20,6% и абсолютное значение количества ДТП снизится на 33,3%.

4. Разработана система повышения безопасности передвижения пешеодов по нерегулируемому пешеодному переходу, способствующая снижению вероятности наезда на пешеода за счет совокупности и совершенствования элементов технических средств организации дорожного движения, а именно, применения дорожного знака «Пешеодный переход» и вызывного информационного табло со световыми индикациями красного и зеленого цвета, информирующих водителей и пешеодов о наличии или отсутствии возможности движения, при этом количество наездов на пешеодов уменьшится более чем на 95%.

## Глава 4. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

### 4.1 Снижение потерь от ущерба, связанного с ДТП

При наезде на пешеходов произвести оценку экономической эффективности возможно путем снижения потерь от ущерба, связанного с данным видом дорожного происшествия.

Ущерб от ДТП при наезде на пешеходов на исследуемых ПП определяется выражением:

$$C_{ДТП}^{сущ} = \Sigma(n \cdot \Pi) + \Sigma(a \cdot M) , \quad (34)$$

где  $n$  – количество людей, пострадавших по  $i$ -му виду травмы (гибель, ранение);  $\Pi$  – потери по одному человеку с  $i$ -й травмой, руб.;  $a$  – количество ДТП;  $M$  – материальный ущерб от 1 ДТП, руб. (таблица 14) [63, 65, 137-141].

Таблица 14 – Оценка последствий ДТП (усредненные значения)

Вид травмы	Потери, руб.	Ущерб, руб.
Гибель	9 345 000	-
Ранение	375 000	-
Материальный ущерб от одного ДТП	-	99 000

Так как на исследуемых ПП количество ДТП с участием пешеходов за 2024 год составило 16 случаев, в которых 4 человек погибли, 13 человек получили ранения различной степени тяжести, то ущерб от ДТП определен по формуле (34) и составит:

$C_{ДТП}^{сущ} = (4 \cdot 9345000) + (16 \cdot 375000) + (13 \cdot 99000) = 37380,0$  тыс. руб. +  
+ 6000, 0 тыс. руб. + 1287, 0 тыс. руб. = 44 667, тыс. руб.

За год посредством внедрения предлагаемых мероприятий ущерб от ДТП при наезде на пешеходов составит:

$$C_{ДТП}^{np} = C_{ДТП}^{сущ} \cdot k_1 \cdot \dots \cdot k_i \quad (35)$$

где  $k_i$  – коэффициенты остаточного ущерба по отдельным мероприятиям, равен 0,35.

Для совершенствования УДС в Белгородской городской агломерации необходим перечень работ и затрат, представленный в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень работ и затрат для совершенствования НПП

№	Наименование работ и затрат	Сметная стоимость, тыс. руб				Всего
		Строительные работы	Монтажные работы	Оборудование	Прочие затраты	
1	Установка камер, шт 6*0,027 (тыс. руб.)	0,2				0,2
2	Установка знаков, шт 18*5,165 (тыс. руб.)		27,9	65,1		93,0
3	Устройство разметки, м <sup>2</sup> 5,4*0,126 (тыс. руб.)	0,7				0,7
4	Вызывное табло, шт 3*11,000 (тыс. руб.)		9,9	23,1		33,0
5	Датчики движения, шт 36*0,480 (тыс. руб.)		5,2	12,1		17,3
6	Светильники, шт 12*3,600 (тыс. руб.)		13,0	30,2		43,2
Всего		0,8	55,9	130,5	0	183,7

Таким образом,  $C_{ДТП}^{np} = 44 667, 0$  тыс. руб. · 0,35 = 15 633, 45 тыс. руб.

Снижение потерь от ДТП с участием пешеходов составит:

$$C_{ДТП} = 44\ 667,0 \text{ тыс. руб.} - 15\ 633,45 \text{ тыс. руб.} = 29\ 003,55 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования составляют:

$$И_p = 132,1 \text{ тыс. руб.} \cdot 0,05 = 6,6 \text{ тыс. руб.}, \text{ а амортизационные отчисления:}$$

$$И_a = 132,1 \text{ тыс. руб.} \cdot 0,1 = 13,2 \text{ тыс. руб.}$$

По формуле определена эффективность предлагаемых мероприятий:

$$З = C_{тек} + E_h \cdot K, \quad (36)$$

где  $C_{тек}$  – годовые текущие затраты, для указанного варианта реконструкции;  $E_h$  – нормативный коэффициент экономической эффективности (при реконструкции УДС  $E_h = 0,15$ );  $K$  – единовременные затраты на совершенствование УДС.

Затраты до внесения изменений в геометрическую схему в БГА:

$$З_{сущ} = (12029,6 + 6210,3 + 44667,0) + 0,15 \cdot 0 = 62\ 906,9 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты после изменения схем на рассматриваемых направлениях:

$$З_{пр} = (5739,2 + 2962,9 + 16974,2 + 6,6 + 13,2) + 0,3 \cdot 205,1 = 25\ 757,6 \text{ тыс. руб.}$$

Экономическая эффективность внедряемых моделей за год составит:

$$\mathcal{E}_r = 62906,9 - 25757,6 = 37\ 149,3 \text{ тыс. руб.}$$

Определим срок окупаемости ( $T_{ок}$ ):

$$T_{ок} = \frac{K}{\mathcal{E}_r} \quad (37)$$

Необходимо определить коэффициент дисконтирования  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{1}{(1 + E_h)^n}, \quad (38)$$

где  $E_h$  – ставка рефинансирования, принимаемая в расчетах (18%);  $n$  – год.

Из выражения (38) получено:

$$\alpha = \frac{1}{(1+0,18)^{0,25}} = 0,959;$$

$$\alpha = \frac{1}{(1+0,18)^{0,5}} = 0,921;$$

$$\alpha = \frac{1}{(1+0,18)^{0,75}} = 0,883;$$

$$\alpha = \frac{1}{(1+0,18)^1} = 0,847;$$

$$\alpha = \frac{1}{(1+0,18)^2} = 0,764;$$

$$\alpha = \frac{1}{(1+0,18)^3} = 0,609.$$

Период возврата инвестиций  $T_e$  [63, 65]:

$$T_e = t_x + \frac{|NPV_t|}{ЧДД_{t+1}}, \quad (39)$$

где  $t_x$  – количество периодов, при которых  $NPV < 0$ , лет;  $NPV_t$  – величина  $NPV$  в  $t$ -м периоде;  $ЧДД_{t+1}$  – величина ЧДД в  $t+1$ -м периоде.

$$T_e = 4 + 54540,0 : 92095,2 = 4,59 = 0,9 \text{ года.}$$

Для определения срока возврата инвестиций необходимо определить период окупаемости проекта  $T'_{ок}$ :

$$T'_{ок} = T_e - T_{инв}, \quad (40)$$

где  $T_{инв}$  – период инвестирования (I квартал) [63, 65, 141-144].

$$T'_{ок} = 1,15 - 0,25 = 0,9 \text{ года.}$$

В таблице 16 представлен ежеквартальный и ежегодный денежный поток от инвестиционной деятельности на период 5 лет.

На рисунке 59 изображен график дисконтированного денежного потока, а также финансовой составляющей внедряемых моделей.

Таблица 16 – Денежный поток от инвестиционной деятельности (тыс. руб.)

<b>Денежный поток от инвестиционной деятельности:</b>	<b>Квартал</b>				<b>Год</b>			
	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>2-й</b>	<b>3-й</b>	<b>4-й</b>	<b>5-й</b>
1 Затраты на СМР (3-2)	73,1	0	0	0	0	0	0	0
2 Затраты на оборудование ( $K_{об}$ )	132,1	0	0	0	0	0	0	0
3 Итого денежный отток ( $K$ )	205,1	0	0	0	0	0	0	0
4 Амортизация ( $K_{об} \cdot 0,1$ )	-	3,3	3,3	3,3	13,2	13,2	13,2	13,2
5 Прирост валовой прибыли	-	9287,8	9287,8	9287,8	37151,2	37151,2	37151,2	37151,2
6 Налог на прибыль (24 %)	-	2229,1	2229,1	2229,1	8916,3	8916,3	8916,3	8916,3
7 Прирост чистой прибыли(5-6)	-	7058,7	7058,7	7058,7	28234,9	28234,9	28234,9	28234,9
8 Итого: сальдо (7+4)	0,0	7062,0	7062,0	7062,0	28248,1	28248,1	28248,1	28248,1
9 Чистый денежный поток (ЧДП) (8-3)	-205,1	7062,0	7062,0	7062,0	28248,1	28248,1	28248,1	28248,1
10 ЧДП нарастающим итогом	-205,1	6856,9	13918,9	20980,9	49229,1	77477,2	105725,3	133973,5
11 Коэффициент дисконтирования ( $\alpha$ , при $E_n=18\%$ )	0,959	0,921	0,883	0,847	0,764	0,609	0,516	0,437
12 Дисконтированный денежный поток (ЧДД <sub>1</sub> ) (9*11)	-196,7	6504,1	6235,8	5981,5	21581,6	17203,1	14576,0	12344,4
13 Дисконтированный денежный поток нарастающим итогом ( $NPV_I$ )	-196,7	6307,4	12543,2	18524,7	40106,3	57309,4	71885,4	84229,9

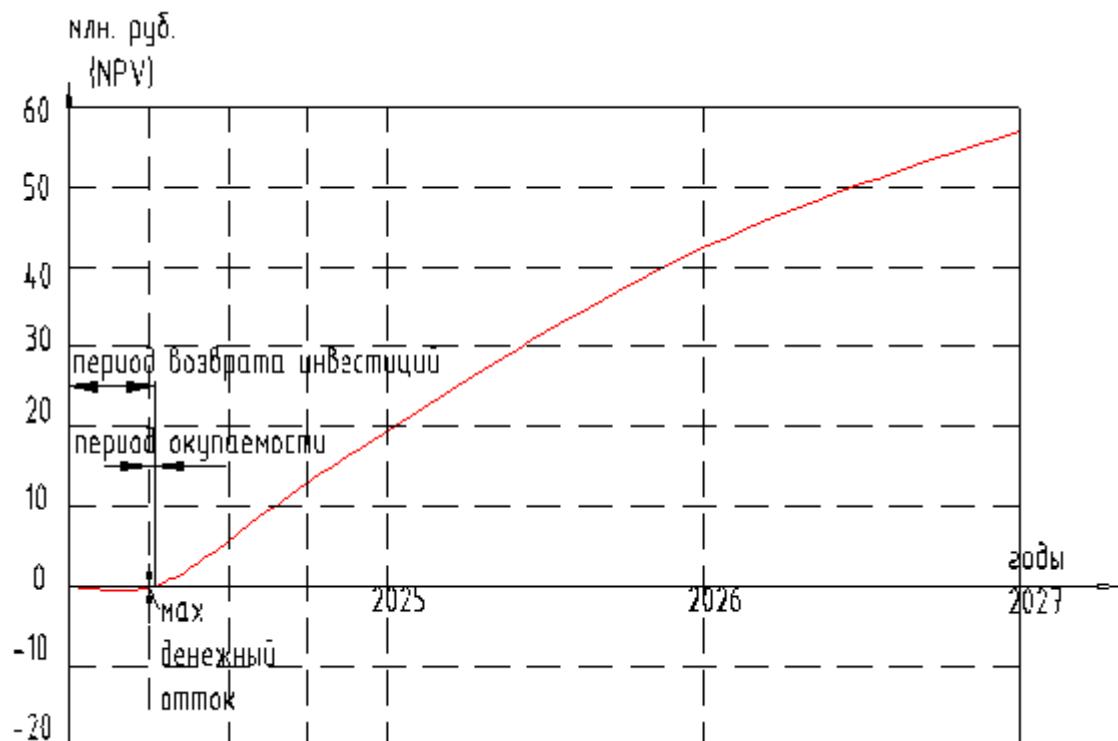


Рисунок 59 – Дисконтируемый денежный поток и финансовая составляющая внедряемых моделей

Экономический эффект от предложенных мероприятий на регулируемых пешеходных переходах составил 689, 78 тыс. рублей.

В свою очередь, после проведения расчетов технико-экономических показателей при внедрении созданной системы управления движением на нерегулируемых пешеходных переходах интегральный экономический эффект на третий год составит более 58 млн рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в область организации дорожного движения, а также повышения безопасности дорожного движения на пешеходных переходах и развитие страны в целом.

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1. Проведение анализа аварийности и смертности позволило подробно изучить причины возникновения ДТП с участием пешеходов.

Выявлено, что Белгородская городская агломерация занимает 1/3 региона, в ее состав входят дороги местного, регионального и федерального значений, а количество ДТП с участием пешеходов составило 38%. Статистика ДТП указывает на следующие результаты с участием пешеходов в городской агломерации: за последние 5 лет совершено 526 ДТП, 498 ранено, 67 погибло. Около 30% из всех видов ДТП занимают наезды на пешеходов, при этом более 55% совершены на нерегулируемых пешеходных переходах, а около 7% – на регулируемых.

В результате детального изучения каждого совершенного ДТП на территории Белгородской городской агломерации была установлена взаимосвязь между количеством ДТП с участием пешеходов и дорожными условиями «составление погодных условий-составление дорожного покрытия-время суток с учетом наличия/отсутствия освещения».

В результате анализа статистических данных установлено, что наезд на пешеходов наиболее часто происходит при следующих условиях движения: «ясно – сухое – светлое». Количество ДТП с участием пешеходов распределено данным образом: зимой (7,6%), весной (26,3%), летом (38,1%), осенью (28%); при условиях движения «ясно – сухое – темное – освещение включено»: зимой (18,7%), весной (17,3%), летом (22%), осенью (42%); при условиях движения «ясно – сухое – темное – освещение отсутствует»: зимой (19,6%), весной (17,3%),

летом (22,3%), осенью (40,8%); при условиях движения «пасмурно – сухое – светлое»: зимой (16,5%), весной (19,7%), летом (30,9%), осенью (32,9%); при условиях движения «пасмурно – сухое – темное – освещение включено»: зимой (17,5%), весной (4,1%), летом (48,5%), осенью (29,9%); при условиях движения «пасмурно – сухое – темное – освещение отсутствует»: зимой (24,7%), весной (9,1%), летом (28,6%), осенью (37,6%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – светлое»: зимой (45,2%), весной (20,2%), летом (9,6%), осенью (25%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – темное – освещение включено»: зимой (57,5%), весной (10%), летом (1,9%), осенью (30,6%); при условиях движения «пасмурно – мокрое – темное – освещение отсутствует»: зимой (54,6%), весной (10,3%), летом (3,7%), осенью (31,4%); при условиях движения «дождь – мокрое – светлое»: зимой (12,5%), весной (20,8%), летом (11,5%), осенью (55,2%).

2. Разработана методика сбора данных о количестве пешеходов, скапливающихся перед регулируемым пешеходным переходом с использованием уточнений детализации состава пешеходного потока, а именно, мониторинга лиц с учетом предварительно обученных нейронных сетей (*age\_net* и *gender\_net*) для определения возраста и пола соответственно, позволяющая повысить пропускную способность дороги на 27,9% и снизить задержки нахождения транспортных средств и пассажиров в пути на 22,7%. Точность полученных результатов составила более 92%.

3. В результате проведенного анализа были теоретически обоснованы и выявлены зависимости между количеством ДТП с участием пешеходов и временным интервалом, в течение которого совершены данные дорожные происшествия, подтвержденные полученными значениями критерия Пирсона, коэффициент корреляции составил более 0,99. Этот факт указывает на наличие статистически значимой зависимости между количеством дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов и выявленными временными интервалами, в которых фиксируется наибольшее число наездов. Установлено, что наибольшее количество наездов на пешеходов происходит с 16:01 ч. до 19:00 ч., наименьшее – с 01:01 ч. до 04:00 ч.

4. Разработана математическая модель управления движением пешеходного потока по регулируемому пешеходному переходу, базирующаяся на нечеткой логике и позволяющая управлять длительностью разрешающего сигнала светофорного регулирования как для пешеходных, так и транспортных потоков. Приняты три входных лингвистических переменных: «количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через пешеходный переход», диапазон которой находится в пределах  $\Delta\alpha_1 = [0; 36]$ ; «темпер изменение количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов» –  $\Delta\alpha_2 = [-20; 20]$ ; «ширина проезжей части дороги» –  $\Delta\alpha_3 = [7; 30]$ , а также одна выходная лингвистическая переменная «время зеленого сигнала для пешеходного светофора» с диапазоном  $\Delta\alpha_4 = [16; 44]$ .

Результат расчета одного из сигналов управления движением пешеходного потока на основании нечеткого вывода выглядит следующим образом:  $\alpha_1 = 27$  – количество людей, собирающихся в пешеходной зоне для осуществления перехода через пешеходный переход, чел;  $\alpha_2 = 16$  – темп изменения количества людей, собирающихся на красный сигнал светофора для пешеходов;  $\alpha_3 = 22,5$  – ширина проезжей части дороги, м. В результате процесса нечеткого вывода получили, что  $\alpha_4 = 37$  – время зеленого сигнала для пешеходного светофора, с. В ходе апробации данной модели установлено, что задержки нахождения транспортных средств в пути снижаются на 20,6% и абсолютное значение количества ДТП снизится на 33,3%.

5. Разработана система повышения безопасности передвижения пешеходов по нерегулируемому пешеходному переходу, способствующая снижению вероятности наезда на пешехода за счет совокупности и совершенствования элементов технических средств организации дорожного движения, а именно, применения дорожного знака «Пешеходный переход» и вызывного информационного табло со световыми индикациями красного и зеленого цвета, информирующих водителей и пешеходов о наличии или отсутствии возможности движения, при этом количество наездов на пешеходов уменьшится более чем на 95%.

6. Проведена апробация разработанных мероприятий с точки зрения улучшения организации дорожного движения и повышения безопасности дорожного движения в городской агломерации. Годовая экономия от предложенных мероприятий составила 689, 78 тыс. руб., а интегральный экономический эффект на третий год составит более 58 млн руб.

### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы**

Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволяют сформулировать перспективы дальнейшей разработки темы, которая заключается в применении методики, математической модели и системы безопасности передвижения пешеходов для повышения безопасности дорожного движения в городских агломерациях.

## **СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

БДД	Безопасность дорожного движения
ДТП	Дорожно-транспортное происшествие
ДУ	Дорожные условия
ИТС	Интеллектуальная транспортная система
КСОДД	Комплексная схема организации дорожного движения
НПП	Нерегулируемый пешеходный переход
ОДД	Организация дорожного движения
ПП	Пешеходный переход
ПДД	Правила дорожного движения
ПЧ	Проезжая часть
РПП	Регулируемый пешеходный переход
РФ	Российская Федерация
СО	Светофорный объект
СР	Светофорное регулирование
ТП	Транспортный поток
ТС	Транспортное средство
ТСОДД	Технические средства организации дорожного движения
УДС	Улично-дорожная сеть
ФЗ	Федеральный закон

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013-2020 годах» утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации от 3 октября 2013 года № 864, 99 с. [Электронный ресурс] / Сайт Правительства России. – Режим доступа: <http://government.ru/media/files/41d494b8c5e15981c833.pdf>, свободный
2. Прогноз научно-технологического развития России: 2030. Транспортные и космические системы/под. ред. М.Я. Блинкина, Л.М. Гохберга. – Москва: Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2014. – 40 с.
3. Кущенко Л.Е. Повышение безопасности дорожного движения на нерегулируемых пешеходных переходах / Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур, С.В. Кущенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – №3-1(86). – С. 75-83.
4. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] / Сайт Госавтоинспекции. – Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/stat/>, свободный.
5. Ваксман С.А. Социально-экономические проблемы прогнозирования развития систем массового пассажирского транспорта в городах / С.А. Ваксман. – Екатеринбург: Изд-во Урал.гос.экон.ун-та, 1996. – 289 с.
6. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
7. Якимов М.Р. Транспортные системы крупных городов / М.Р. Якимов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 184 с.
8. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: учебник для студентов вузов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
9. Кущенко Л.Е., Камбур А.С., Кущенко С.В. Программа управления временем разрешающего сигнала светофорного регулирования для пешеходного

потока: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687692 от 20.11.2024.

10. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения /Ю.А. Врубель. – Минск: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634с.

11. Ставничий Ю. А. Дорожно-транспортная сеть и безопасность движения /Ю.А. Ставничий. – М.: Транспорт, 1984. – 72 с.

12. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вуз / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. -М:Транспорт, 2001 – 247 с.

13. Kambur A. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems / A. Kambur, L. Kushchenko, I. Novikov // The VII International Scientific and Practi-cal Conference “Information Technologies and Management of Transport Systems” (ITMTS 2021), MATEC Web Conf. Volume 341, 2021.

14. Оценка качества дорожного движения на основе навигационной информации об условиях движения транспортных потоков / И.Н. Пугачев, Д.В. Капский, В.В. Касьяник и др.: монография, - Хабаровск, 2018., - 148 с.

15. Олейников Е.С. О применении несплошных методов обследования// Городской транспорт и организация городского движения: тезисы докладов научно-технической конференции. – Свердловск, 1973. - С.72-76.

16. Вальц В.К. Возможности применения выборочного метода для определения интенсивности движения и структуры транспортных потоков на городских улицах / В.К. Вальц // Проблемы городского транспорта – Киев, 1966. – С.12 –16.

17. Ваксман С.А. Выборочный метод обследования интенсивности уличного движения/ С.А. Ваксман //Проблемы градостроительства на Урале и Сибири. – Свердловск: Издание УПИ, 1969. – Вып. 169. - С.83 –89.

18. Особенности процесса торможения автомобиля при производстве дорожно-транспортной экспертизы: монография / Д.А. Лазарев, И.А. Новиков, Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. – 86 с.

19. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Юнити-Дана, 2004. – 573 с.
20. Новиков И.А. Методология прогнозирования и предупреждения дорожно-транспортных происшествий: диссерт. на соискание ученой степени доктора технич. наук / И.А. Новиков. Орел: 2019; 25 – 187 с.
21. Donald R. Drew Traffic flow theory and control by, New York, McGraw-Hill 1968. 467 p.
22. Roads technical report No. 46-5 for performance study of continuously reinforced project /The Texas Highway Department, 1960.
23. Drew D.R., Pinnel C. A Study of Peaking Characteristics of Signalized Urban Intersections as Related to Capacity and Design, Highway 1962. 54 p.
24. Gerlough D.L., Traffic Flow Theory. Transportation Research Board Report 165, Washington 1975.
25. Шелков Ю.Д., Семенов К.Ю., Ткаченко Б.А. Организация дорожного движения в городе (обследование дорожно-транспортных условий): Методические рекомендации. М.: ВНИИ МВД СССР, 1988. – 40 с.
26. Моделирование транспортных потоков на основе нечеткой логики: монография / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков, Ю.Н. Баранов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018. 86 с.
27. Webster F.V., Cobbe B.M. Traffic Signals Road Research Technical Paper N56, HMSQ, London, 1966 – 111 p.
28. Miller A. J. The Capacity of Signalized Intersections in Australia. //Australian Road Research Board, ARRB Bulletin No.3, 1968.
29. Branston D. A comparison of observed and estimated queue lengths at oversaturated traffic signals. // Traffic Eng. and Contr., 1978, v19, N7,p. 322 – 327.
30. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.
31. Handbuch fuer die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen (HBS) Forschungsgesellschaft fuer Strassen und Verkehrswesen, Koeln, Januar 2002.
32. Kockelman K.M. and Raheel A.S. Effect of vehicle type on the capacity of signalized intersections.-The University of Texas, 1999. - 23 pp.

33. СНИП 2.05.02 – 85 «Автомобильные дороги»// Минстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1997. – 55 с.
34. 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.
35. Кравченко П.А. Организация и безопасность дорожного движения в больших городах / П.А. Кравченко // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. № 1 (64). С. 12.
36. Зырянов В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения / В.В. Зырянов // Транспорт Российской Федерации СПб. – 2011. - № 1. – С. 28 – 33.
37. 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.
38. Разработка интеллектуальной системы развития транспортной системы мегаполиса / С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов, А.А. Таранцев, и др. // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2017. -№ 1. – С. 217-222.
39. 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.
40. Васильев А.П. Концепция совершенствования норм проектирования автомобильных дорог / А.П. Васильев и др. – М.: Росавтодор, ГП Информавтодор, 2001. – 35 с.
41. Branston D., Van Zullen H.J. The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple liner regression. *Transp. Res.*, 1987, v 12, p. 47-53.
42. Shanteau R.M. Using cumulative curves to measure saturation flow and lost time // *ITE Jornal*, 1988, vol. 15, N10, p. 27 – 31.

43. Stokes R.W. Comparison of saturation flow rates at signalized intersections. //ITE Journal, 1988, v15, N11, p. 15 – 20.
44. Stokes R.W., Stover V.G., Messer C.J. Use and effectiveness of simple liner regression to estimate saturation flow at signalized intersections.// Transp. Res. Rec., 1986, N1091, p. 95 – 101.
45. Врубель Ю.А. О потоке насыщения. / Ю. А. Врубель. Минск.: Белорус. Политех. ин-т. -1 с.- Рук. деп. В ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР, № 663 - 1988.
46. Кременец Ю. А. Инженерные расчеты в регулировании движением / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский. – М.: Высшая школа, 1977. – 110 с.
47. Руководство по проектированию городских улиц и дорог. М.: Стройиздат, 1980. 222 с.
48. Webster, F.V Traffic Signal Settings. London, England: Her Majesty's Stationery Office, 1958.
49. Miller A.J. «Australian Road Capacity Guide: Provisional Introduction and Signalized Intersections». Australian Road Research, 1968.
50. Кущенко Л.Е. Особенности анализа аварийности с участием пешеходов на территории Белгородской области / Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур // Мир транспорта и технологических машин. 2023. – № 3-4 (82). – С. 70-76.
51. Webster F.V, and B.M. Cobbe. Traffic Signals. London, England: Her Majcsty's Stationery Office, 1966.
52. Greenshields, B.D., D. Schapiro, and E.L. Erickson. Traffic Performance at Urban Street Intersections. Technical Report No. 1 Yale Bureau of Highway Traffic, 1947.
53. Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 1950. – 1134 p.
54. Bartle, R.M., V Skoro, and D.L. Gerlough. «Starting Delay and Time Spacing of Vehicles Entering Signalized Intersections». Highway Research Board Bulletin //2:33-41 – 1956.
55. Capelle, D.G., and C. Pinnell. «Capacity Study of Signalized Diamond Interchanges». Highway Research Board Bulletin 291:1-25 – 1961.

56. Assmus, W.E. Operational Performance of Exclusive Double Left-Turn Lanes. Evanston, IL: Northwestern University, 1970.
57. Carstens, R.L. «Some Traffic Parameters at Signalized Intersections». Traffic Engineering, 1971
58. Berry, D.J. Capacity and Quality of Service of Arterial Street Intersections, Research Report 30-1. College Station, TX: Texas Transportation Institution, 1974.
59. King, G.F., and M. Wilkinson «Relationship of Signal Design to Discharge Headway, Approach Capacity, and Delay». Transportation Research Record 615:37 – 44, 1976.
60. Kunzman, W «Another Look at Signalized Intersection Capacity». ITE Journal 4, 12-15 pp., 1978.
61. Transportation Research Board. «Interim Materials on Highway Capacity». Circular 212 – 1980.
62. Sosin J.A. Delays at intersections controlled by fixed cycle traffic signals. // Traffic Eng. and Contr., 1980, v21, N5,p. 264 – 265.
63. Кущенко Л.Е. Повышение эффективности организации движения в городе на основе минимизации заторов: диссерт. на соискание учен. степени кандидата технич. наук / Л.Е. Кущенко. Орел: 2016; – 12 – 118 с.
64. Левашев А.Г. Повышение эффективности организации дорожного движения на регулируемых пересечениях: автореф. диссерт. на соискание учен. степени кандидата технич. наук / А.Г. Левашев. Иркутск: 2004. – 17с.
65. Кущенко Л.Е. Научные основы повышения безопасности дорожного движения в городских агломерациях: диссерт. на соискание ученой степени доктора технич. наук / Л.Е. Кущенко. Орел; 2024. 14 – 196 с.
66. Кущенко Л.Е. Применение нечеткого моделирования в транспортной сфере / Л.Е. Кущенко, И.А. Новиков, А.Н. Новиков // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 5. – С. 157–162.
67. Kushchenko L. The statistical assesment of the traffic situation based on sample data of traffic accidents in the urban agglomeration / L.E. Kushchenko, S.V.

Kushchenko, A.N. Novikov, L.A. Koroleva // Journal of Applied Engineering Science vol.21, № 4, 2023.

68. Kushchenko L. The paid parking space organization as one of the ways to increase the capacity of the road in Belgorod urban agglomeration / L. Kushchenko, S. Kushchenko, I. Novikov, A. Novikov // Transportation Research Procedia, p.1007

69. 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.

70. Глаголев С.Н. Разработка математической модели управления движением транспортного потока / С.Н. Глаголев, И.А. Новиков, Л.Е. Кущенко, Л.А. Королева // Мир транспорта и технологических машин. –2023. – №1-1(80). – С. 68-75.

71. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ - Петербург, 2005 – 736 с.

72. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский и др. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.

73. Метсон Т.М. Организация движения [Текст] / Т.М. Метсон и др. – 120 М.: Автотрансиздат, 1961.

74. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

75. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: Академкнига, 2005.-279с.

76. Вентцель Е. С. Теория вероятностей /Е.С. Вентцель. – 10-е изд., стер. - М.: Академия, 2005. – 576 с.

77. Kushchenko L., Kushchenko S., Novikov A., Novikov I. The planning and conduct-ing transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the Belgorod urban agglomeration // Journal of Applied Engineer-ing Science 2021, vol. 19 (3), pp. 706-711.

78. 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.
79. Kushchenko L. E. Kushchenko S.V., Novikov I. A., Novikov A.N., Sarbaev V.I. Simulation of traffic flows on the basic of fuzzy logic // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 24856-24867.
80. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В.А. Иларионов // М.: Транспорт, 1989. 124 с.
81. Кущенко Л.Е. Применение интеллектуальных транспортных систем с целью повышения экономического эффекта от предложенных мероприятий / Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур, К.Е. Гузнородова // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых, Липецк, 2021, с.111-116
82. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения качества организации дорожного движения / И.А. Новиков, Л.Е. Кущенко, Е.А. Новописный, А.С. Камбур // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 3-4 (78). – С. 42-49.
83. Кущенко Л.Е. Способ повышения безопасности движения пешеходов / Л.Е. Кущенко, А.А. Малышев, А.С. Камбур // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте. – Вологда, 2021, с. 312-318.
84. Григорян В.Г. Применение в экспертной практике параметров торможения автотранспортных средств: методические рекомендации для экспертов. – М.:РФЦСЭ, 1995 – 10 с.
85. Кисуленко Б.В. Краткий автомобильный справочник Том 3. Легковые автомобили Часть 1 / Кисуленко Б.В. и др. – М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2004. – 488 с.
86. Технические характеристики автомобилей [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://avto-flot.ru/spec/>, свободный
87. Кущенко Л.Е. Исследование эколого-экономических показателей автомобильного транспорта в городской агломерации Белгородской области /

Л.Е. Кущенко, А.А. Кравченко, Е.В. Давыдова // Мир транспорта и технологических машин. Орел. 2021. № 2(73). С. 83-91.

88. Правила дорожного движения РФ, утв. 19 июля 2012 г. Постановлением Правительства РФ № 727, вступил в силу с 31 июля 2012 г.

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

90. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

91. Агасьянц А.А. Основные предпосылки повышения эффективности улично-дорожной сети / А.А. Агасьянц // Совершенствование транспортных систем городов: – Сузdalь, 1989. С. 20 – 23.

92. ЗАО «ИНФОПРОЦЕСС» детекторы автотранспорта [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.infoprocess.ru/detector.htm>, свободный.

93. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках УДС города / Л.Е. Кущенко, А.Н. Новиков, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Вестник гражданских инженеров, СПбГАСУ. – 2021. – №2 (85). – С. 222-232.

94. Aimsun Version 7.0. (R10631). Copyright (C) 1997-2011 TSS-Transport Simulation Systems.

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

96. Зырянов В.В. Применение моделирования для оценки проектов транспортной инфраструктуры / В.В. Зырянов // Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОР-НИИ. – 2012. – № 3. – С. 7-12.

97. Robertson, D.I., «TRANSYT: Traffic Network Study Tool,» Fourth International Symposium on the Theory of Traffic Flow, Karlsruhe, Germany, 1968.

98. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных

систем Белгородской агломерации / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, Е.А. Новописный, А.С. Камбур // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 5 (94). – С. 116-122.

99. Pavel P. Transportation as a science/ Pavel P., Novikov A.N., Katunin A.A./ Мир транспорта и технологических машин. 2014. № 3 (46). С. 96-109.

100. Павел П.Р.Р. Ассоциированные системы и транспортная телематика / П.Р.Р. Павел, А.Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 2 (49). С. 96-102.

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

102. Агуреев И.Е. Подготовка и обработка исходных данных для математического моделирования автомобильных транспортных систем/ Агуреев И.Е., Митюгин В.А., Пышный В.А./Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – № 6. – С. 119-127.

103. Басков В.Н. Анализ методов расчета и оценки задержек транспортного потока на улично-дорожной сети / В.Н. Басков, А.В. Игнатов // Вестник развития науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 14-19.

104. Басков В.Н. Оценка уровня адаптации транспортного потока к улично-дорожной сети / В.Н. Басков, Е.И. Видманова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 2, № 2 (71). – С. 355-360.

105. Басков В.Н. Оценка транспортных потоков на улично-дорожной сети города / В.Н. Басков, И.Е. Макаров // Вестник развития науки и образования. – 2014. – № 2. – С. 31-34.

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

107. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья / Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4 (63). – С. 62–68.

108. Организация дорожного движения / А.Н. Новиков, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. 196 с.
109. Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог: 2 т.: учебник для студ. высших учеб. заведений / А.П. Васильев. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 320 с.
110. Lorick H.C., C.E. Wallace and R.E. Jamagin, «Analysis of Fuel Consumption and Platoon Dispersion Models», University of Florida Transportation Research Center, Report No. UF-TRC-U32-TR-02, 1980.
111. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. – Изд-во: Автополюс-плюс, 2008.
112. Интеллектуальные транспортные системы в автомобильно-дорожном комплексе / В.М. Власов, В.М. Приходько, С.В. Жанказиев, А.М. Иванов. М.: МАДИ, 2011. 487 с.
113. Заторовые явления. Возможности предупреждения / Л.Е. Гай, А.И. Шутов, П.А. Воля, С.В. Кущенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №3.
114. L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov, A. Kambur. The use of information technology "Auto -Intellect" to improve the quality of traffic management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021.
115. Campbell B.J., Levine D. Accident proneness and driver license programs. / First International Conference on Driver Behavior, Zurich, Switzerland. – 1973. – PS 3. – P. 1–12.
116. Коноплянко В.И. Информация о дорожном движении / В.И. Коноплянко. М.: МАДИ, 1987. 65 с.
117. Жанказиев С.В. Современное представление о маршрутном ориентировании участников дорожного движения в Интеллектуальных транспортных системах / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Багно // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте: сб.науч. тр. МАДИ. М.: Изд-во МАДИ, 2008. С. 220-232.

118. Кущенко Л.Е. Совершенствование организации дорожного движения посредством применения интеллектуальных транспортных систем / Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур, А.А. Пехов // Мир транспорта и технологических машин. 2021. № 3(74). С. 83-91.

119. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП / В.А. Корчагин, С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Фундаментальные исследования. 2015. № 6-2. С. 251-256.

120. Зырянов В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения / В.В. Зырянов, В.Г. Кочерга, М.Н. Поздняков // Транспорт Российской Федерации. СПб. № 1, 2011. С. 28-33.

121. Особенности процесса торможения автомобиля при производстве дорожно-транспортной экспертизы: монография/ Д. А. Лазарев, И. А. Новиков, Л. Е. Кущенко, А. С. Камбур. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023. – 86 с.

122. Кущенко Л.Е. Разработка методики определения рационального выбора длительности разрешающего сигнала светофорного регулирования на основании нейронной сети / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.С. Камбур, И.А. Улинец // Мир транспорта и технологических машин. Орел 2023. №4-1 (83). С. 99-107.

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-й Международной научно-практической конференции, Орел, 21–23 мая 2013 года / под общей ред. 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. Kushchenko L. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kambur, A. Novikov // Journal of Applied Engineering Science 2022, vol. 20 (3), pp. 700-706 (Scopus, WoS, Q2). DOI:10.5937/jaes0-35593

126. Кущенко Л.Е. Совершенствование информационного обеспечения участников дорожного движения с помощью комплекса ИТС / Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур, С.В. Кущенко, Н.А. Загородний // Инфокоммуникальные и интеллектуальные технологии на транспорте – ИИТТ’2022, с.72-77.
127. Кущенко Л.Е. Выявление видов нарушений ПДД с помощью ИТС /Л.Е. Кущенко, А.С. Камбур, А.П. Воля // Организация дорожного движения: межвузовский сборник статей, Вып. XVIII, с. 102-106.
128. Кущенко Л.Е. Моделирование транспортных потоков на основе нечеткой логики / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков, А.С. Бобешко // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 4. – С. 89–98.
129. 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](http://www.mintrans.ru/documents/#document_22371), свободный
130. Кущенко, Л.Е. Проведение сравнительного анализа движения транспортных потоков при въезде в город с применением ИТС за период до и во время пандемии / Л.Е. Кущенко, А.С. Бобешко, К.Е. Гузнородова // XVII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств», Саратов, 2022. с. 80-85.
131. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде: пер. с англ. – М.: Лори, 2021. – 150 с. – ISBN 978-5-85582-423-0.
132. Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от дорожно-транспортных происшествий. Р 3112199-2502-00 (утверждена Минтрансом РФ) // СПС Консультант-плюс. 2008.
133. Попова Е.П. Определение экономической эффективности мероприятий по повышению безопасности дорожного движения / Е.П. Попова, М.А. Луковецкий. М., 1988. С. 12—26.

134. Жанказиев, С.В. Зеленая волна. Система автоматизированного управления дорожным движением АСУДД / С.В. Жанказиев. – М., 2008. – С. 56-60.
135. Зырянов, В.В. Применение микромоделирования для прогнозирования развития транспортной инфраструктуры и управления дорожным движением / В.В. Зырянов // Дороги России XXI века. – М., 2009. – № 3. – С. 37-40.
136. Якимов, М.Р. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV VisionRVISUM: монография / М.Р. Якимов, Ю.А. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.
137. Naunheimer H., Bertsche B., Ryborz J., Novak W. Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. Heidelberg, Dordrecht, London, New York, Springer, 2011. 715 p.
138. Bener A., Crundall D., 2005. Road Traffic Accidents in the United Arab Emirates Compared to Western Countries. 2005. - pp. 9.
139. Friedland M.L., Trebilcock M.J., Roach K. Regulating Traffic Safety. University of Toronto Press, Toronto. 1990 – pp. 211.
140. 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.
141. Chandler R. Traffic dynamics: studies in car following / R. Chandler, R. Herman, E. Montroll // Operations Research. - 1958. - Vol. 6, no 2. - P. 165-184.
142. 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.
143. Robertson D. Transyt method for area traffic control // Traffic Engineering & Control. 1969. № 11. P. 276-281.
144. Adams S. Smeed's law: some further thoughts. Traffic Engineering and Control 10 (7). 1987 – pp. 70-73.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

*(справочное)*

### Акты внедрения

**БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ**  
**МИНИСТЕРСТВО**  
**АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**  
**И ТРАНСПОРТА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**



#### АКТ

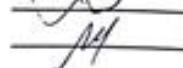
**о внедрении результатов диссертационной работы «Повышение безопасности дорожного движения на пешеходных переходах в городских агломерациях»**

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 аспиранта кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта БГТУ им. В.Г. Шухова Камбур А.С. на тему «Повышение безопасности дорожного движения на пешеходных переходах в городских агломерациях» 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.

## Продолжение приложения 1



**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](mailto:rector@intbel.ru), <http://www.bstu.ru>

«\_\_\_\_\_» 20 \_\_\_\_ № \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

Евтушенко Е.И.

*девяносто пять* 2025 г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Комиссия в составе: Поляков В.М. – проректор по цифровой трансформации и образовательной деятельности; Новиков И.А. – директор транспортно-технологического института, Кущенко Л.Е. – профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта, Шевцова А.Г. – профессор кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта настоящим актом подтверждают внедрение результатов научно-исследовательской работы на тему: «Повышение безопасности дорожного движения на пешеходных переходах в городских агломерациях» (автор Камбур А.С., аспирант) в учебный процесс кафедры «Эксплуатация и организация движения автотранспорта» для преподавания дисциплин «Организация дорожного движения», «Информационные технологии на транспорте», «Технические средства организации дорожного движения» у студентов направления подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Председатель комиссии:

*Поляков В.М.*

Члены комиссии:

*Новиков И.А.**Кущенко Л.Е.**Шевцова А.Г.*

## Продолжение приложения 1



УТВЕРЖДАЮ  
Главный инженер МБУ «УБГБ»  
Рыжков Д.С.  
2025 г.

**АКТ**  
внедрения результатов диссертационного исследования  
«Повышение безопасности дорожного движения  
на пешеходных переходах в городских агломерациях»  
асpirанта Камбур А.С.

Мы нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

Начальник ЦОДД Кузьминов Д.В.

Зам. начальника ЦОДД Татаринов А.Е.

Зам начальника СМЭС Черненко Н.Е.

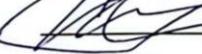
Составили настоящий акт, согласно которому сотрудниками ЦОДД МБУ «УБГБ» администрации города Белгорода в результате выполненного диссертационного исследования аспирантом кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта БГТУ имени В.Г. Шухова Камбур А.С. на тему «Повышение безопасности дорожного движения на пешеходных переходах в городских агломерациях» были получены результаты длительности циклов светофорного регулирования для движения пешеходного потока по регулируемым пешеходным переходам Белгородской городской агломерации, базирующиеся на предобученных нейронных сетях (age\_net и gender\_net) с распознаванием лиц пешеходов, учитывающих разнородность состава пешеходного потока, плотность и скорость движения пешеходов, темп прибытия к пешеходному переходу, а также принятия решения в режиме реального времени.

Применение программы расчета длительности циклов светофорного регулирования для пешеходного потока, разработанной Камбур А.С., способствует повышению пропускной способности дороги, снижению задержек транспортных средств и пассажиров в пути, улучшению экологических показателей за счет уменьшения выбросов вредных веществ, а также обеспечению безопасности всех участников дорожного движения.

Председатель комиссии:

 Д.В. Кузьминов

Члены комиссии:

 А.Е. Татаринов

 Н.Е. Черненко

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

(справочное)

## Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024687692

**Программа управления временем разрешающего  
сигнала светофорного регулирования для пешеходного  
потока**

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

Авторы: *Кущенко Лилия Евгеньевна (RU), Камбур Алина  
Сергеевна (RU), Кущенко Сергей Викторович (RU)*

Заявка № 2024686530

Дата поступления **07 ноября 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **20 ноября 2024 г.**

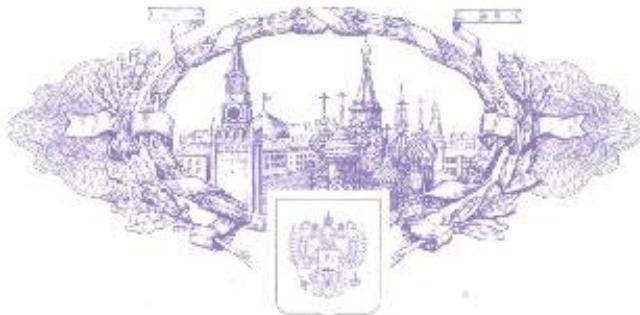
Рукомоидатель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

документ подписан в форме подлинника  
Составлено Зубовым Юрием Сергеевичем  
Юрий Сергеевич Зубов  
Документ создан в формате PDF  
07.11.2024 10:51:20

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2025661918**

Программа расчета длительности разрешающего сигнала  
светодиодного регулирования для пешеходов посредством  
определения характеристик пешеходного потока с  
использованием нейронной сети

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

Авторы: *Кущенко Лилия Евгеньевна (RU), Камбур Алина Сергеевна (RU),  
Кущенко Сергей Викторович (RU), Смоленский Илья Витальевич  
(RU), Королёва Лилия Александровна (RU), Ушинец Иосиф Алексеевич  
(RU)*

Заявка № **2025661016**

Дата поступления **05 мая 2025 г.**

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **14 мая 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

*(справочное)*

### **Код программы для разработанной методики сбора данных о составе и характеристиках пешеходного потока перед регулируемым пешеходным переходом**

В начале программы импортируются необходимые библиотеки: OpenCV для работы с изображениями, NumPy для работы с массивами, time для работы с временем и threading для работы с потоками.

```
import cv2
import numpy as np
import time
import threading
```

Загружаем обученные модели нейронных сетей для определения возраста и пола.

```
age_net = cv2.dnn.readNetFromCaffe(r" gender-age\age_deploy.prototxt.txt",
                                    r" gender-age\age_net.caffemodel")
gender_net=cv2.dnn.readNetFromCaffe(r"genderage\gender_deploy.prototxt.txt",
                                    r" gender-age\gender_net.caffemodel")
```

В списке хранятся возрастные диапазоны, которые соответствуют результатам работы модели для определения возраста.

```
age_list = [(0, 2), (4, 6), (8, 12), (15, 20), (25, 32), (38, 43), (48, 53), (60, 100)]
```

Этот код описывает класс `FaceCaptureThread`, который является потоком работы программы. В конструкторе класса инициализируются переменные, отвечающие за время работы светофора и количество обнаруженных мужчин и женщин. Кроме того, переменная `traffic\_light\_status` хранит текущий статус светофора.

В списке хранятся возрастные диапазоны, которые соответствуют результатам работы модели для определения возраста.

```
age_list = ['(0, 2)', '(4, 6)', '(8, 12)', '(15, 20)', '(25, 32)', '(38, 43)', '(48, 53)', '(60, 100)']
```

Этот код описывает класс `FaceCaptureThread`, который является потоком работы программы. В конструкторе класса инициализируются переменные, отвечающие за время работы светофора и количество обнаруженных мужчин и женщин. Кроме того, переменная `traffic\_light\_status` хранит текущий статус светофора.

```
class FaceCaptureThread(threading.Thread):
    def __init__(self, red_duration, yellow_duration, green_duration):
        threading.Thread.__init__(self)
        self.red_duration = red_duration
        self.yellow_duration = yellow_duration
        self.green_duration = green_duration
        self.man_count = 0
        self.women_count = 0
        self.traffic_light_status = "Зеленый свет"

    def run(self):
        cascade_path = filters\haarcascade_frontalface_default.xml'
        clf = cv2.CascadeClassifier(cascade_path)
        camera = cv2.VideoCapture(0)
        gender_dict = {0: "Man", 1: "Woman"}
        start_time = time.time()

        while True:
            _, frame = camera.read()
            gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

            faces = clf.detectMultiScale(
                gray,
```

```
scaleFactor=1.1,  
minNeighbors=5,  
minSize=(30, 30),  
flags=cv2.CASCADE_SCALE_IMAGE  
)  
  
self.man_count = 0  
  
self.women_count = 0  
  
total_age = 0  
  
num_faces = 0  
  
for (x, y, width, height) in faces:  
    face_img = frame[y:y+height, x:x+width]  
    blob = cv2.dnn.blobFromImage(  
        face_img, scalefactor=1.0, size=(227, 227),  
        mean=(78.4263377603, 87.7689143744, 114.895847746),  
        swapRB=False, crop=False)  
    age_net.setInput(blob)  
    age_preds = age_net.forward()  
    age_idx = np.argmax(age_preds)  
    age = age_list[age_idx]  
    gender_net.setInput(blob)  
    gender_preds = gender_net.forward()  
    gender_idx = np.argmax(gender_preds)  
    gender = gender_dict[gender_idx]  
    if gender == "Man":  
        self.man_count += 1  
    elif gender == "Women":  
        self.women_count += 1  
    total_age += int(age[1:-1].split(',')[0])
```

```

num_faces += 1
cv2.rectangle(frame, (x, y), (x + width, y + height), (255, 255, 0), 2)
cv2.putText(frame, "Age: {}".format(age),
            (x, y - 10), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.9, (36, 255,
12), 2)
cv2.putText(frame, "Gender: {}".format(gender),
            (x, y - 50), cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.9, (36, 255,
12), 2)
cv2.imshow('Faces', frame)

elapsed_time = time.time() - start_time
if elapsed_time < self.red_duration:
    self.traffic_light_status = "Красный свет"
    print("Красный свет")
elif elapsed_time < self.red_duration + self.yellow_duration:
    self.traffic_light_status = "Желтый свет"
    print("Желтый свет")
elif elapsed_time < self.red_duration + self.yellow_duration +
self.green_duration:
    self.traffic_light_status = "Зеленый свет"
    print("Зеленый свет")
else:
    if num_faces > 1:
        avg_age = total_age / num_faces
        print(avg_age)
        if 20 <= avg_age <= 45:
            self.red_duration = 15
            print(self.red_duration)
            self.green_duration = 30

```

```
elif avg_age < 20 or avg_age > 45:  
    self.red_duration = 22  
    self.green_duration = 23  
  
else:  
    self.red_duration = 20  
    self.green_duration = 25  
  
self.traffic_light_status = "Красный свет"  
    print("Кол-во {} мужчин и {} женщин. Средний возраст:  
{}".format(self.man_count, self.women_count, int(avg_age)))  
  
start_time = time.time()  
  
print("Текущий статус светофора: {}".format(self.traffic_light_status))  
  
if cv2.waitKey(1) == ord('q'):  
    break  
  
camera.release()  
cv2.destroyAllWindows()
```

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4***(справочное)***База правил нечеткой логики**

Номер правила	Входные переменные			Выходная переменная
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	
1	2	3	4	5
1	VS	NB	VS	VS
2	VS	NS	VS	VS
3	VS	Z	VS	S
4	VS	PS	VS	S
5	VS	PB	VS	M
6	S	NB	VS	VS
7	S	NS	VS	VS
8	S	Z	VS	S
9	S	PS	VS	S
10	S	PB	VS	M
11	M	NB	VS	VS
12	M	NS	VS	VS
13	M	Z	VS	S
14	M	PS	VS	M
15	M	PB	VS	M
16	B	NB	VS	S
17	B	NS	VS	S
18	B	Z	VS	M
19	B	PS	VS	M
20	B	PB	VS	B
21	VB	NB	VS	M
22	VB	NS	VS	M
23	VB	Z	VS	B
24	VB	PS	VS	B
25	VB	PB	VS	B
26	VS	NB	S	VS
27	VS	NS	S	VS
28	VS	Z	S	S
29	VS	PS	S	S
30	VS	PB	S	S
31	S	NB	S	VS
32	S	NS	S	VS
33	S	Z	S	S
34	S	PS	S	S
35	S	PB	S	M
36	M	NB	S	S
37	M	NS	S	S
38	M	Z	S	M
39	M	PS	S	M
40	M	PB	S	B
41	B	Z	S	M

*Продолжение приложения 4*

42	B	PB	S	B
43	VB	NB	S	S
44	VB	NS	S	S
45	VB	Z	S	M
46	VB	PS	S	B
47	VB	PB	S	B
48	VS	NB	M	VS
49	VS	NS	M	VS
50	VS	Z	M	VS
51	VS	PS	M	B
52	VS	PB	M	S
53	S	NB	M	S
54	S	PB	M	M
55	M	NB	M	S
56	M	PS	M	M
57	B	NB	M	M
58	B	Z	M	M
59	VB	NS	M	B
60	VB	Z	M	B
61	VB	PB	M	VB
62	VS	PS	B	S
63	S	NB	B	S
64	S	PS	B	M
65	M	NB	B	S
66	M	PS	B	B
67	B	NS	B	M
68	B	PS	B	B
69	VB	NS	B	M
70	VB	PS	B	B
71	VS	NB	VB	S
72	VS	PB	VB	S
73	S	PS	VB	M
74	M	Z	VB	M
75	M	PS	VB	B
76	B	Z	VB	M
77	B	PB	VB	VB
78	VB	NB	VB	B
79	VB	NS	VB	B
80	VB	Z	VB	B