

На правах рукописи



КУЩЕНКО ЛИЛИЯ ЕВГЕНЬЕВНА

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ В ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЯХ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Орел – 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»

Научный консультант:

Новиков Александр Николаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Кравченко Павел Александрович
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;

Шемякин Александр Владимирович
доктор технических наук, профессор, ректор, ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»;

Дорохин Сергей Владимирович
доктор технических наук, доцент, декан автомобильного факультета, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет Г.Ф. Морозова»

Ведущая организация:

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

Защита состоится «19» июня 2024г. в 11 ч. 00 мин. на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302030, г. Орел, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>).

Автореферат разослан «___»___2024 года. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, в двух экземплярах направлять в диссертационный совет 99.2.032.03 по адресу: 302030, г. Орел, ул. Московская, д.77, тел.: +79606476660, e-mail: srmostu@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук, доцент



В.В. Васильева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В Российской Федерации автомобильный транспорт является одной из основополагающих отраслей экономики и неотъемлемой частью производственной и социальной инфраструктуры, обеспечивающей развитие страны. Для многих стран задача по снижению количества жертв на автодорогах является одной из первостепенных. Во многих из них за последние десятилетия значительно повысился уровень безопасности дорожного движения (БДД). В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 г. № 3363-р «Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года, с прогнозом на период до 2035 года» должно быть обеспечено снижение смертности на дорогах благодаря реализации комплекса мер, направленных на обеспечение БДД, прежде всего в городских агломерациях.

Согласно Стратегии пространственного развития до 2025 года, утвержденной распоряжением правительства РФ от 13.02.2019 г. № 207-р, и Постановлению РФ от 31.05.2019 г. № 696 государственная программа РФ «Комплексное развитие сельских территорий» особое внимание уделяется развитию городских агломераций посредством объединения городов в сеть, основой которых является транспортная доступность. В связи со стремительными темпами развития городских агломераций за счет строительства частных и многоквартирных домов, развития культурных зон, создания рабочих мест и образовательных центров, а также использования в большей степени личного автомобильного транспорта, проектирования, строительства новых дорог и транспортных связей, имеется необходимость в обеспечении БДД. Поэтому есть необходимость в изучении и анализе дорожно-транспортных происшествий (ДТП), характеристик транспортного потока (ТП), а именно, интенсивности движения транспортных средств (ТС), состава ТП, определения протяженности дорог различного значения, движения транзитного транспорта и других особенностей, которые объединяет в себе городская агломерация.

Применяемые в настоящее время мероприятия, направленные на повышение БДД, не могут значительно повлиять на снижение аварийности, так как традиционные методы не приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание подлежащей решению проблемы заведомо является неточным или неполным. Реальные человеческие рассуждения, опирающиеся на естественный язык, не могут быть описаны в рамках традиционных математических формализмов. Большая часть существующих методов для облегчения количественного исследования в рамках конкретных задач принятия решений базируется на крайне упрощенных моделях действительности и излишне жестких ограничениях, что уменьшает ценность результатов исследований и часто приводит к неверным решениям. Одним из эффективных, но недостаточно изученных методов

снижения аварийности в городских агломерациях, является метод, основанный на практическом применении абстрактного мышления человека, а именно, теории нечеткой логики и нечетких множеств. Нечеткие системы позволяют повысить качество продукции при уменьшении ресурса и энергозатрат, а также обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию многочисленных факторов. Нечеткая логика является эффективным средством при работе с неопределённостями и неточностями реального мира. Именно данная теория оказывается конструктивной, поскольку за последнее десятилетие на ее основе были решены сотни практических задач управления и принятия решений.

Анализ данной проблемы с научной точки зрения, несмотря на значительные научные результаты, позволил выявить существенный ряд недостатков не только в области БДД, но и в области организации дорожного движения (ОДД). В связи со сложившейся дорожно-транспортной ситуацией (ДТС) необходимо разрабатывать новые научно обоснованные технические, технологические решения, внедрение которых позволит внести значительный вклад в развитие страны.

Степень разработанности проблемы. Научным и практическим разработкам по повышению БДД в России и зарубежных странах, а также снижению аварийности и ее последствий на улично-дорожной сети (УДС) посвящены труды таких ученых, как И.Е. Агуреев, М.Б. Афанасьев, В.Ф. Бабков, В.Н. Басков, М.В. Власов, В.С. Волков, В.Н. Добромиров, Э.Р. Домке, С.В. Дорохин, Д.Дрю, С.А. Евтюков, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, Г.И. Клиновштейн, В.Э. Клявин, П.А. Кравченко, Ю.А. Кременец, В.И. Коноплянко, В.А. Корчагин, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.М. Плотников, В.В. Сильянов, А.В. Терентьев, Ю.В. Трофименко, А.Б. Чубуков, Ю.Д. Шелков, А.В. Шемякин, У. Бранольте, Р. Элвик, В. Хаддор, Р. Надер, М. Велин, П. Тилгрэн, К. Джетто, Г. Стигсон, Л. Эванс и другие, результаты которых были использованы при выполнении исследований.

Цель работы – разработка научно-технологических основ снижения аварийности в городских агломерациях за счет применения математических моделей, базирующихся на теориях вероятностей, нечеткой логики и нечетких множеств.

Задачи исследования:

1. Оценить состояние безопасности дорожного движения с учетом дифференциации транспортных потоков на федеральных, региональных и муниципальных дорогах городской агломерации.
2. Разработать вероятностную модель изменения интенсивности движения транспортного потока для прогнозирования интенсивности движения транспортных средств.
3. Разработать математическую модель оценки дорожно-транспортной ситуации с учетом полученной вероятностной модели интенсивности

движения транспортного потока и прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий.

4. Разработать математическую модель управления движением транспортного потока, основанную на базе правил нечеткой логики, позволяющих изменять скоростной режим.

5. Разработать систему управления скоростью движения транспортного потока (СУСДТП) для снижения вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий.

6. Разработать модель выбора рационального варианта схемы пересечения улично-дорожной сети на основе предложенных критериев поиска управленческого решения, базирующихся на теории нечетких множеств.

7. Осуществить экологическую и экономическую оценку предлагаемых мероприятий по повышению безопасности дорожного движения в городской агломерации.

Объект исследования – транспортные потоки городских агломераций.

Предмет исследования – дорожно-транспортная ситуация на улично-дорожной сети городских агломераций.

Рабочая гипотеза заключается в том, что повышение безопасности дорожного движения в городских агломерациях возможно за счет применения новых подходов организации дорожного движения, основанных на математических моделях, базирующихся на теориях вероятностей, нечеткой логики и нечетких множеств, которые повышают точность результатов прогнозирования.

Научная новизна исследования:

1. Установлены зависимости между условиями движения и количеством дорожно-транспортных происшествий в городской агломерации с оценкой достоверности результатов в течение различных временных интервалов.

2. Получены новые эмпирические зависимости между интенсивностью движения и временем суток, учитывающие суточную и сезонную цикличности интенсивности движения транспортного потока в городской агломерации.

3. На основании теории вероятностей разработана математическая модель прогнозирования интенсивности движения транспортных средств с учетом суточной и сезонной цикличности.

4. Впервые на основе двухпараметрического распределения Вейбулла разработана математическая модель прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий, позволяющая оценить дорожно-транспортную ситуацию с учетом выявленных характерных часов суток возникновения аварийности на улично-дорожной сети.

5. Разработана модель адаптивных нейронечетких сетей для прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий с учетом присутствия неявных тенденций в динамике изменения аварийности на основании ретроспективного анализа.

6. Впервые разработана математическая модель управления движением транспортного потока городской агломерации на основе нечеткой логики, включающая входные лингвистические переменные: «интенсивность движения транспортного потока», «темп изменения количества ДТП», «коэффициент безопасности», а также выходную лингвистическую переменную «скорость движения транспортного потока».

7. На основании разработанных математических моделей прогнозирования аварийности, вероятностной модели изменения интенсивности движения транспортных средств и управления движением транспортного потока создана система управления скоростью движения транспортного потока, позволяющая повысить безопасность дорожного движения в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий.

8. Впервые обоснованы критерии и разработана математическая модель выбора управленческого решения, обеспечивающего повышение безопасности дорожного движения и улучшения экологической ситуации на основе применения теории нечетких множеств.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке и обосновании оценки ДТС посредством прогнозирования интенсивности движения ТС и количества ДТП, что является основой повышения БДД в городской агломерации. Предлагаемая статистическая оценка ДТС включает в себя совокупность методов и математических моделей, схем и условий, технических решений, отражающих объективные закономерности в области БДД и ОДД с использованием ранее не применяемых в данной сфере подходов для решения актуальной проблемы.

Практическая значимость работы заключается в прикладном характере результатов исследований, применяемых органами исполнительной власти и федеральными структурами на уровне субъекта и подтвержденных актами внедрения, которые выданы Министерством автомобильных дорог и транспорта Белгородской области, УГИБДД УМВД России по Белгородской области, ОГИБДД ОМВД России по Борисовскому району, ЦОДД МБУ «УБГБ» администрации города Белгорода, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова».

Методология и методы исследования. Диссертационная работа основана на статистическом анализе ДТС, современных научных отечественных и зарубежных трудах ведущих ученых в области ОДД и БДД. Использованы следующие методы исследований: статистический анализ; математическая статистика и теория вероятностей; прогнозирование; ретроспективный анализ; теория нечетких множеств; нечеткая логика; математическое моделирование; математическое программирование; эксперимент.

Положения, выносимые на защиту:

1. Зависимости между условиями движения и количеством дорожно-транспортных происшествий в городской агломерации.

2. Эмпирические зависимости между интенсивностью движения и временем суток для осуществления прогнозирования интенсивности движения транспортных средств.

3. Математическая модель прогнозирования количества дорожно-транспортных происшествий на основе двухпараметрического закона распределения Вейбулла.

4. Математическая модель управления скоростью движения транспортного потока на базе нечеткой логики.

5. Система управления скоростью движения транспортного потока, повышающая безопасность дорожного движения в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий, повышенной аварийности и в «узких» местах в городских агломерациях.

6. Математическая модель выбора управленческого решения для организации рациональной схемы пересечения на основе нечетких множеств, позволяющего повысить безопасность дорожного движения и улучшить экологическую ситуацию.

7. Экологическая и экономическая оценки разработанных научных положений на примере Белгородской городской агломерации.

Степень достоверности и апробация результатов.

Основные положения и результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на Международных научно-практических конференциях и форумах с 2016 г. по н.в.: всероссийской научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения» (Тюмень, 2016-2022 гг.); «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов, 2016-2023 гг.); «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орёл, 2016-2023 гг.); «Современные автомобильные материалы и технологии» (Курск, 2018-2023 гг.); «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте» (Липецк, 2022 г.); «Process Management and Scientific Developments» (Великобритания, 2020 г.); «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2020-2023 гг.); «Анализ проблем и поиск решений повышения результативности современных научных исследований» (Оренбург, 2020 г.); «Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики» (Самара-Оренбург-Нижний Новгород, 2021 г.); «Развитие научно-ресурсного потенциала аграрного производства: приоритеты и технологии» (Рязань, 2021 г.); «Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования» (Орёл, 2023 г.), а также на ежегодных семинарах кафедры эксплуатации и организации движения автотранспорта (Белгород, 2016-2023 гг.).

Связь работы с научными программами.

Актуальность работы подтверждается ее выполнением в рамках грантов и хозтем: НИР № 10/13 от 16.04.2013 г.; РФФИ 14-41-08012; РФФИ 16-07-00594; НИР А-44/15, Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова на

2012-2016 гг.; «Разработка научно-методологических основ прогнозирования изменения характеристик транспортных потоков на основе имитационного моделирования с учетом анализа и планирования сложных региональных градостроительных систем», выполняемого при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках научного проекта № 16-07-00593 (2014–2016 гг.); «Разработка научно-методологических основ автоматизированной системы динамического определения геометрических параметров автомобильных дорог на основании статистической обработки навигационных параметров автотранспортных средств с учётом функции его распределения по ширине проезжей части», выполняемого при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-07-00594 а (2016–2018 гг.), а также соответствием:

– Указу Президента РФ от 7.07.2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ и перечня критических технологий РФ» в части соответствия п. 7. Транспортные системы;

– Указу Президента РФ от 1.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития РФ» в части противодействия техногенным угрозам;

– Распоряжению Правительства РФ от 31.12.2020 г. № 3684-р «Программа фундаментальных научных исследований в РФ на долгосрочный период (2021 - 2030 годы)» в части разработки научных основ создания автоматизированных систем управления.

Информационная база исследования.

Законодательные и нормативные правовые акты, федеральные и региональные целевые программы развития транспортных систем, Стратегия БДД, материалы федеральных и региональных органов власти, управлений и ведомств, статистические данные.

Публикации.

Основные положения диссертации опубликованы в научных трудах: 53 статьях, в том числе 17 в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, 14 в изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных Web of Science и Scopus. Результатом проведения исследований являются опубликованные научные работы: 4 монографии, 2 патента на полезную модель, 6 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы.

Диссертация включает в себя введение, шесть глав, заключение, библиографический список из 240 источников, семь приложений. Диссертация изложена на 301 странице, включает 33 таблицы, 93 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «**Анализ состояния дорожной ситуации по БДД**» рассмотрены вопросы БДД, выполнен анализ нормативного, научно-методического обеспечения в сфере БДД. Проведенный анализ состояния ДТС в отношении уровня БДД, целевого показателя и индикаторов в РФ и Белгородской городской агломерации позволил обнаружить их изменения.

Положительная динамика развития транспортной сферы позволила получить хорошие результаты по снижению аварийности. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) смертность в результате ДТП имеет масштабность и входит в десятку причин смертей на мировом уровне.

Поэтапное внедрение и реализация проектов национальных программ БДД оказало существенное влияние на снижение результатов статистических данных количества ДТП, что соответствует Стратегии безопасности дорожного движения в РФ на 2018-2024 годы и Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Проведенный анализ статистических данных относительно погибших на дорогах показал, что с 2004 по 2022 годы ситуация в области БДД значительно изменилась, при этом более, чем в 2 раза сократилось число погибших (рис. 1).

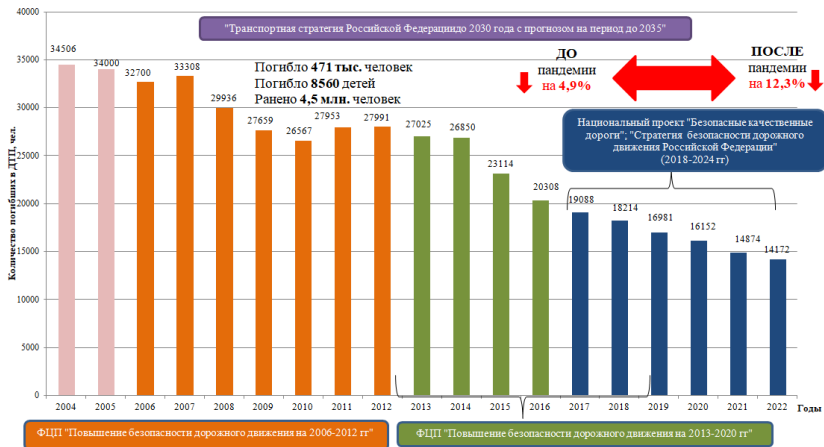


Рисунок 1 – Тенденция изменения количества погибших в ДТП с 2004 по 2022 гг.

Формирование политики во многих странах заключается в обеспечении и повышении БДД. Несмотря на применяемые в РФ Федеральные целевые проекты (ФЦП), национальные проекты (НП), в 2023 году за 9 месяцев

установлен рост количества ДТП на 4,9 %, в результате которых погибло 10,3 тыс. чел. (+1,3%), ранено 121,4 тыс. чел. (+4,3%) относительно аналогичного периода прошлого года, согласно Государственному докладу о состоянии БДД.

В связи со стремительными темпами формирования городских агломераций, подтвержденного нормативно-правовыми документами (рис.2), а также согласно действующей Стратегии пространственного развития до 2025 года имеется необходимость в обеспечении транспортной доступности, развитии культурных, экономических и транспортных связей.

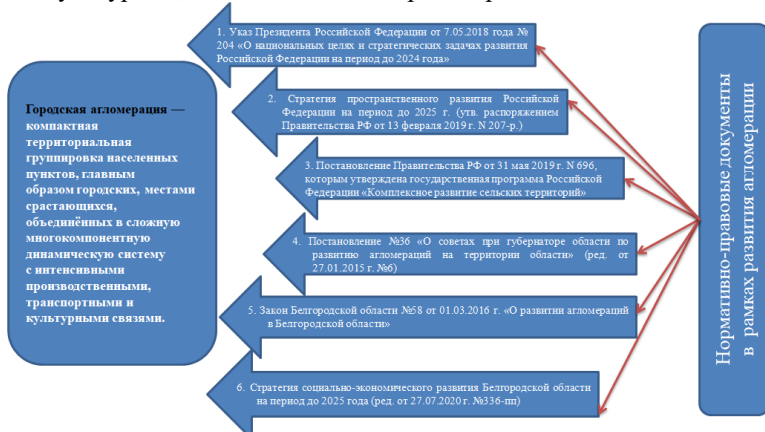


Рисунок 2 – Нормативно-правовые документы в рамках развития агломерации

Несмотря на реализацию ФЦП «Повышение безопасности дорожного движения», НП «Безопасные и качественные дороги», проблема обеспечения БДД остается актуальной в связи с тем, что индивидуальное жилищное строительство активно развивается в пригородных районах, тем самым происходит ежедневная миграция людей на личных ТС, о чем свидетельствуют полученные результаты (рис.3).

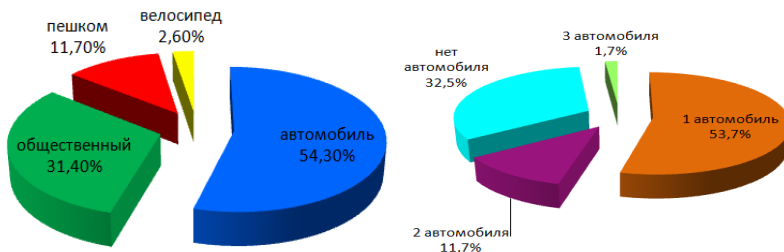


Рисунок 3 – Результаты социологического опроса жителей Белгородской городской агломерации

Белгородская городская агломерация имеет свои особенности: наличие разнородного состава ТП и транзитного транспорта, частая переменчивость скоростного режима движения ТС, что способствует повышению вероятности возникновения ДТП с различными последствиями, сеть дорог различного значения (федеральные – 77,5 км, региональные – 404,8 км, муниципальные – 5374,8 км) (рис. 4).

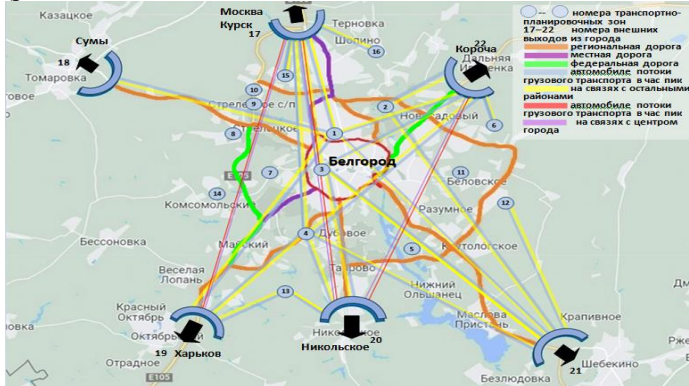


Рисунок 4 – Графическое представление транспортной сети Белгородской городской агломерации

Согласно научным исследованиям известно, что в муниципальных районах происходит большее количество ДТП, но с наименее тяжкими последствиями в отличие от дорог федерального значения. Статистика ДТП свидетельствует о том, что 16,5 % ДТП от общего числа в Белгородской области приходится на исследуемые направления Белгородской городской агломерации, по количеству погибших – 19,4 % (рис.5).



Рисунок 5 – Роль агломерации в регионе

В Белгородской городской агломерации столкновение и наезд на пешехода являются самыми распространенными видами ДТП, в результате которых за исследуемый период времени погибли 55 и 22 человека соответственно. Места совершения ДТП распределены следующим образом (рис.6).

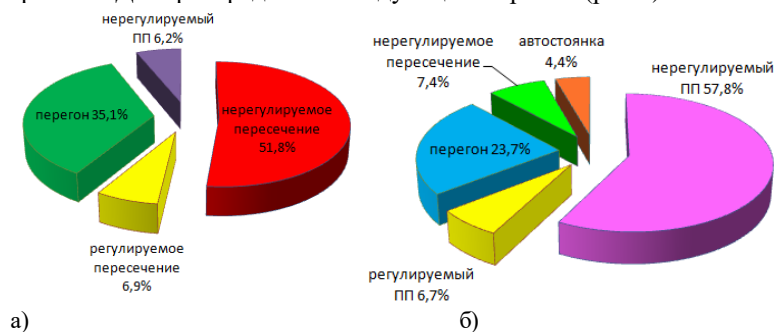


Рисунок 6 – Основные места повышенной опасности за период с 2018 по 2022 гг. при: а - столкновении; б - наезде на пешехода

Проведенные исследования показали, что существующие меры по обеспечению БДД не учитывают переменчивость ДТС (совершенствование транспортной инфраструктуры, строительство новых дорог, внедрение ИТС, технических средств ОДД, изменение скоростного режима движения и т.д.) в связи, с чем имеется необходимость в развитии методологии повышения БДД в городских агломерациях. Проблема аварийности на дорогах в городской агломерации остается актуальной и требует разработки новых методов и моделей, позволяющих приблизиться к значению критерия «нулевая смертность» согласно Транспортной стратегии РФ до 2030 года, с прогнозом на период до 2035 года (4 погибших на 100 тыс. населения). В РФ наблюдается недостаточность проработки вопросов обеспечения БДД в городских агломерациях.

Во второй главе «**Оценка ДТС на основании статистического анализа характеристик ТП и ДТП**» выполнен комплексный подход к оценке ДТС с учетом детального исследования интенсивности движения ТС и количества ДТП с учетом причин и факторов их возникновения на участках дорог Белгородской городской агломерации.

Оценить ДТС позволил комплексный подход к решению поставленной задачи, который включает в себя статистический анализ интенсивности движения ТС, статистический анализ ДТП и выявление характерных часов суток с наибольшим количеством ДТП.

В рамках диссертационного исследования определены шесть участков УДС Белгородской городской агломерации с интенсивным движением ТС, наличием разнородного состава ТП, частыми изменениями скоростного режима движения, переходами дорог различного значения, наличием сельских

поселений, объектов притяжения, нерегулируемых пересечений и пешеходных переходов (рис.7).

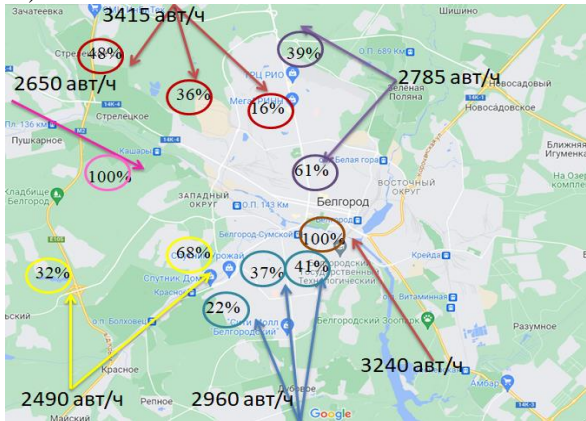


Рисунок 7 – Распределение движения ТП в центр Белгородской городской агломерации

Для осуществления статистической оценки интенсивности движения ТП с 2018 по 2022 г. были собраны данные в течение суток об интенсивности движения ТС в Белгородской городской агломерации. На примере направления №1 Дубовое представлена интенсивность движения ТС за исследуемый промежуток времени, где установлено, что 2021 г. является самым загруженным среди представленных (рис. 8).

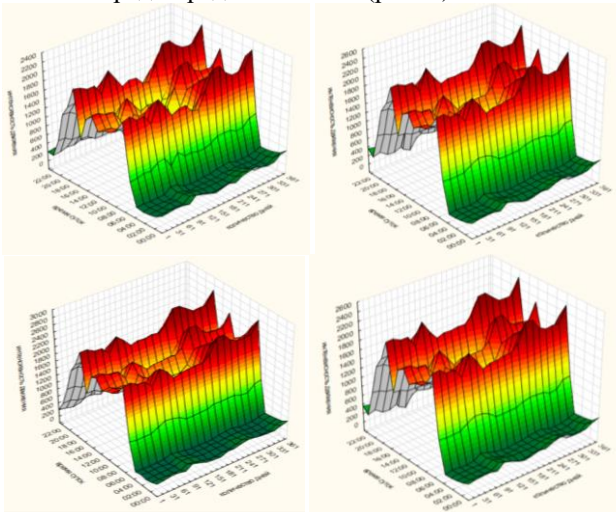


Рисунок 8 – Результаты эмпирических значений интенсивности движения ТП на примере направления № 1 Дубовое с 2018 по 2022 гг.

В результате анализа полученных значений разработана вероятностная модель изменения интенсивности движения ТП. Для этого предложено использовать приближенное аналитическое представление тренда интенсивности движения ТС, которое получено на основе системы тригонометрических функций, ортогональной на множестве точек наблюдения, к которой добавлена еще одна функция:

$$\omega_1(t) = t - \frac{n}{2} + \sum_{k=1}^p \cos \frac{2\pi kt}{n+1} - \frac{2}{n+1} \sum_{k=1}^p \left(\sum_{i=0}^n \sin \frac{2\pi ki}{n+1} \right) \sin \frac{2\pi kt}{n+1}. \quad (1)$$

Введение функции (1) обусловлено тем, что ограничиться тригонометрическими функциями при анализе интенсивности движения ТП не представляется возможным, поскольку начальное и конечное значения в общем случае не совпадают между собой. Без соблюдения этого условия, использование тригонометрических функций оказывается неэффективным.

В результате аналитическое приближение тренда выглядит следующим образом:

$$m_y(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^p \left(\alpha_k \cdot \cos \frac{2\pi kt}{n+1} + \beta_k \cdot \sin \frac{2\pi kt}{n+1} \right) + \mu \omega_1(t), \quad (2)$$

где коэффициенты α_k , β_k , μ определяются по приведенным формулам:

$$\alpha_0 = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n y_i, \quad \alpha_k = \frac{2}{n+1} \sum_{i=0}^n y_i \cdot \cos \frac{2\pi ki}{n+1},$$

$$\beta_k = \frac{2}{n+1} \sum_{i=0}^n y_i \cdot \sin \frac{2\pi ki}{n+1}, \quad \mu = \frac{\sum_{i=0}^n y_i \omega_1(i)}{\sum_{i=0}^n \omega_1^2(i)}. \quad (3)$$

Ниже представлено математическое выражение, определяющее временные ряды, исходя из формул (1), (2) и (3):

$$m_y(t) = 985569 - 141,785t - 1182,487 \cos \frac{2\pi t}{60} - 2950,7 \cos \frac{4\pi t}{60} - 587,36 \cos \frac{6\pi t}{60} + 1878,66 \sin \frac{2\pi t}{60} - 1067,81 \sin \frac{4\pi t}{60} + 1053,84 \sin \frac{6\pi t}{60}.$$

Проверка тренда интенсивности движения ТП была определена с помощью критерия Фишера:

$$F = \frac{n-l}{l} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}, \quad (4)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{n+1} \cdot \sum_{i=0}^n y_i$ – усредненное значение; $n+1$ – количество наблюдаемых значений; l – количество искомым значений тренда, не включающего в себя постоянные составляющие.

Таким образом, установленные эмпирические зависимости между интенсивностью движения ТП и временем суток, учитывающие суточную и сезонную цикличности представлены на рис. 9.

На следующем этапе оценки ДТС проведен статистический анализ данных количества ДТП и причин их возникновения на участках УДС городской агломерации (табл. 1). В результате чего установлены зависимости между количеством ДТП и условиями движения, а также найдены корреляционные связи.

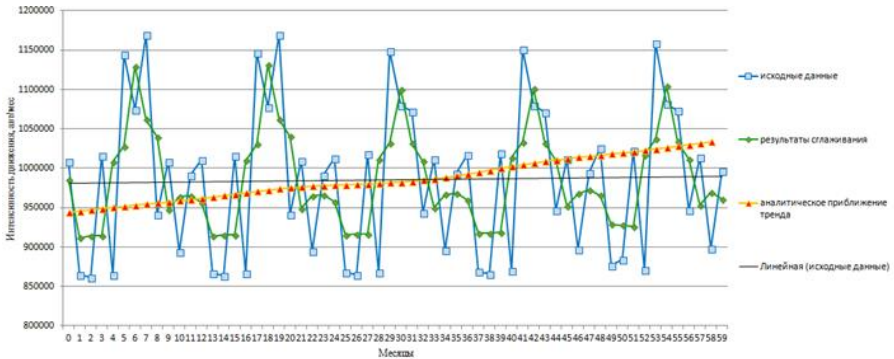


Рисунок 9 – Сезонное изменение интенсивности движения ТТ

Таблица 1 – Фрагмент обработки статистических данных на территории Белгородской городской агломерации на примере направления № 1 Дубовое

Дата	Время	Вид ДТП	Место ДТП	Погодные условия	Состояние дорожного покрытия	Время суток
29.01.2018	07:20	Наезд на пешехода	Нерегулируемый пешеходный переход	Снегопад	Обработанное противогололедными материалами	Сумерки
17.01.2018	21:00	Наезд на пешехода	Нерегулируемый пешеходный переход	Снегопад	Обработанное противогололедными материалами	В темное время суток, освещение включено
23.02.2018	18:00	Столкновение (Ппогиб)	Иное место	Ясно	Гололедица	Светлое время суток
22.02.2018	08:30	Наезд на пешехода (Ппогиб)	Нерегулируемый пешеходный переход	Ясно	Сухое	Светлое время суток
21.04.2018	17:40	Столкновение	Выезд с прилегающей территории	Ясно	Сухое	Светлое время суток

Постоянно возрастают требования к использованию научных методов обработки статистических данных и приложению теории принятия статистических гипотез, значимых при прогнозировании и проведении превентивных мероприятий в транспортной сфере. Для установления влияния различных условий движения на количество ДТП с пострадавшими на территории Белгородской городской агломерации был проведен анализ карточек учета ДТП и выдвинуты гипотезы о взаимосвязи между условиями движения и количеством ДТП (рис. 10).

С целью их проверки предложено использование непараметрического критерия χ^2 Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{\text{э}} - f_{\text{т}})^2}{f_{\text{т}}}, \quad (5)$$

где $f_{\text{э}}$ - эмпирическая частота, $f_{\text{т}}$ - теоретическая частота, k - количество разрядов признака.

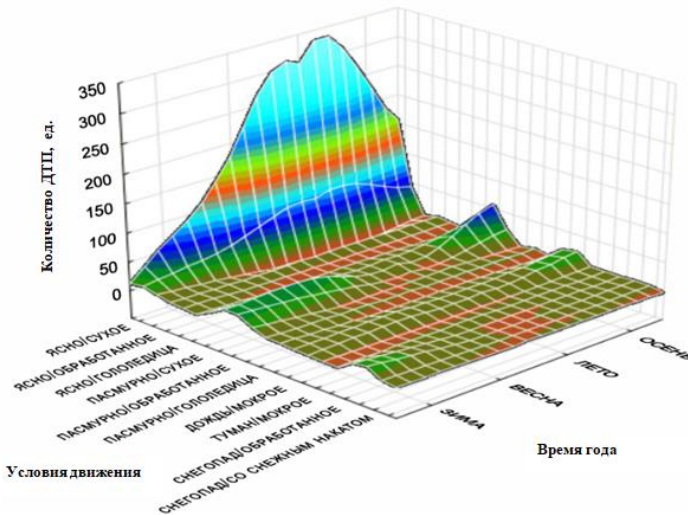


Рисунок 10 – Статистические данные количества ДТП в зависимости от сезона и условий движения в Белгородской городской агломерации

Таким образом, установлены зависимости между количеством ДТП и условиями движения, подтвержденные полученными значениями критерия Пирсона. Коэффициент корреляции выше 0,99. Данный факт свидетельствует о статистически значимой зависимости между количеством ДТП и определенными условиями движения. Анализ различных условий движения в зависимости от погодно-климатических условий и состояния дорожного покрытия показал, что наибольшее количество ДТП происходит в результате данных условий движения: «ясно – сухое» количество ДТП распределилось следующим образом, летом (37,4%), осенью (30,8%), весной (23,3%), зимой (8,5%); при условиях движения «пасмурно-сухое»: осенью (37%) , зимой (28,4%), весной (22,2%), летом (12,4%); при условиях движения «пасмурно – мокрое»: зимой (38,9%), весной (28,9%), осенью (27,9%), летом (5,3%); при условиях движения «дождь – мокрое»: осенью (41%), весной (22,7%), летом (20,5%), зимой (15,8%).

В результате проведенного анализа статистических данных по количеству ДТП в Белгородской городской агломерации выявлены характерные часы суток. Решить поставленную задачу позволил вероятностный метод определения закономерностей, характеризующих случайные процессы в ТП.

Величина, характеризующая случайный процесс представлена через $X(t)$, при этом математическое ожидание случайного процесса выглядит данным образом:

$$M[X(t)] = m_x(t). \quad (6)$$

Следовательно, искомая неслучайная функция времени $M[X(t)]$ может быть получена следующим образом: для каждого значения времени путем

статистической обработки наблюдений случайных значений определяется ожидание случайного процесса в виде функции времени. Аналогично могут быть определены значения дисперсии и стандартного отклонения. Эти величины являются неслучайными функциями времени и вычисляются для каждого момента времени на основании обработки наблюдений за значениями случайной величины, в которую превращается процесс при конкретном значении t .

Математическое ожидание рассчитано исходя из выражения:

$$m_x(t_k) = \sum_{i=1}^n x_i(t_k) / n. \quad (7)$$

Дисперсия для сечения t_k определена как:

$$D_x(t_k) = \sum_{i=1}^n [x_i(t_k) - m_x(t_k)]^2 / (n - 1). \quad (8)$$

Корреляционный коэффициент для сечений t_k и t_t равен:

$$\rho_x(t_k, t_t) = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i(t_k) - m_x(t_k)][x_i(t_t) - m_x(t_t)]}{(n-1)\delta_x(t_k)\delta_x(t_t)}, \quad (9)$$

$$(\varepsilon) = r \left(\frac{\delta_\eta}{\delta_\varepsilon} \right) (x - a) + b, \quad (10)$$

где a и δ_ε – математическое ожидание, стандартное отклонение величины ε ; b и δ_η – математическое ожидание, стандартное отклонение величины η .

В результате обработки статистических данных количества ДТП установлены характерные часы суток, которые обозначены пятью временными интервалами с 06:01 ч до 10:00 ч, с 10:01 ч до 14:00 ч, с 14:01 ч до 18:00 ч, с 18:01 ч до 22:00 ч, с 22:01 ч до 02:00 ч. Выявлено, что в течение недели диапазоны с наибольшим количеством ДТП различны (рис. 11). В четверг, субботу и в воскресенье характерными диапазонами времени являются часы суток с 18:01 ч до 22:00 ч, в свою очередь вторник и пятница – с 14:01 ч до 18:00 ч. Наименьшее количество ДТП в течение всей недели происходит с 10:01 ч до 14:00 ч.

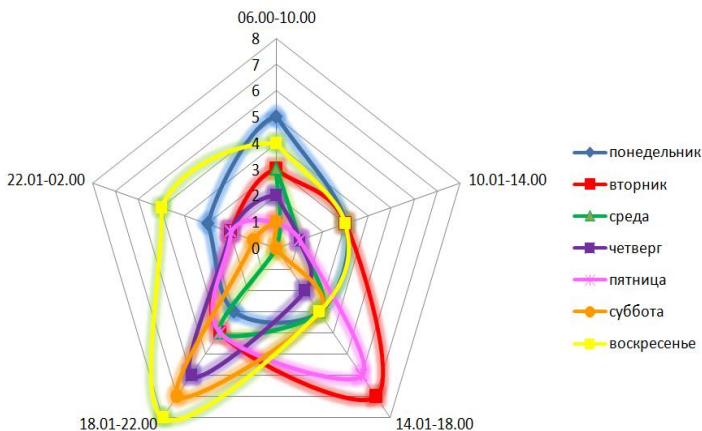


Рисунок 11 – График количества ДТП, произошедших в характерные часы суток

В результате исследования интенсивности движения ТП в Белгородской городской агломерации была разработана вероятностная модель изменения интенсивности движения ТП, на базе которой возможно осуществить прогноз интенсивности движения ТС в течение года для оценки ДТС. Получены эмпирические зависимости между интенсивностью движения ТС и временем суток, учитывающие суточную и сезонную цикличности движения ТП.

В третьей главе «**Прогнозирование интенсивности движения ТС и количества ДТП при использовании теории вероятностей и нейронечетких сетей**» предлагается впервые разработанная модель прогнозирования интенсивности движения ТП и количества ДТП, обладающая научной новизной.

Спрогнозировать интенсивность движения ТП на основе вероятностной модели изменения интенсивности движения ТП позволяет аналитическое приближение тренда возникновения максимального значения по интенсивности движения ТП согласно математическому выражению, определяющему временные ряды, исходя из формул (1), (2) и (3) применено для точечного прогноза.

Для временного ряда аналитическое выражение, включающее в себя показатели за исследуемый период времени и с учетом полученных значений за последующий год, согласно (2), (3) и с учетом (1) при $p = 3$ принимает следующий вид:

$$m_y(t) = 985751 - 123,098t + 6786,9 \cos \frac{2\pi t}{72} - 22989 \cos \frac{4\pi t}{72} - 18574 \cos \frac{6\pi t}{72} - 25586 \sin \frac{2\pi t}{72} - 13118,5 \sin \frac{4\pi t}{72} + 18857,2 \sin \frac{6\pi t}{72}. \quad (11)$$

Найденные значения тренда $m_y(t)$ представлены в таблице 2.

Тригонометрическая функция имеет вид:

$$\omega_i(t) = t - 35,5 + \cos \frac{2\pi t}{72} + \cos \frac{4\pi t}{72} + \cos \frac{6\pi t}{72} - 0,00006 \sin \frac{2\pi t}{72} - 0,0001 \sin \frac{4\pi t}{72} - 0,0002 \sin \frac{6\pi t}{72}. \quad (12)$$

В результате проверки выражения на статистическую значимость выявлен 5%-ый уровень значимости.

Таблица 2 – Прогнозируемые значения сезонной интенсивности движения ТС

Месяцы	Интенсивность движения, авт/мес	Точечный прогноз	Значения тренда $m_y(t)$	Средне-квадратичные отклонения $\sigma[m_y(t)]$	Граница доверительного интервала $z_1(t)$	Граница доверительного интервала $z_2(t)$
1	2	3	4	5	6	7
январь	1008348	1035457	1079574	88102,5	901607	1257541
февраль	864522	1037287	1072189	88390,92	893639	1250739
март	861150	1039032	1063177	92964,19	875389	1250964

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7
апрель	1016361	1040680	1053072	78705,91	894086	1212058
май	864958	1042231	1042435	84735,76	871269	1213601
июнь	1145120	1043693	1031846	64812,5	900925	1162767
июль	1074728	1045086	1021870	59693,42	901289	1142451
август	1169546	1046437	1012998	100467,8	810053	1215943
сентябрь	941604	1047775	1005642	103140	797299	1213985
октябрь	1008002	1049133	1000116	89192,08	819948	1178501
ноябрь	893996	1050541	996600,9	92144,59	810469	1182733
декабрь	991427	1052020	995149,8	89072,61	815223	1175076

В достоверности прогнозных значений можно убедиться, построив доверительный интервал для рассматриваемого тренда $m_y(t)$, используя при этом значения доверительной вероятности.

Доверительный интервал включает прогнозные значения, находящиеся в пределах верхней и нижней границы.

$z_1(t)$, $z_2(t)$ – границы симметричного доверительного интервала

$$z_1(t) \leq m_y(t) \leq z_2(t) \quad (13)$$

в соответствии с положениями теории вероятностей и математической статистики определяются выражениями:

$$z_k = m_y(t) \mp \sigma [m_y(t)] \cdot t_{\frac{1+q}{2}(n-2p-1)}, \quad (k = 1, 2), \quad (14)$$

где p – сумма количества слагаемых, находящихся в выражении (2);

q – вероятность доверительных интервалов; $t_{\gamma(n-2p-1)}$ – квантиль распределения Стьюдента со степенями свободы γ и $n-2p-1$.

Значение квантиля выбирается по специальной таблице, основываясь на математическую статистику, входом в которую служат числа γ и $n-2p-1$.

Оценка дисперсии временного ряда рассчитана по формуле:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{1}{n-2p-1} \sum_{i=1}^n [y_i - m_y(t_i)]^2, \quad (15)$$

где $m_y(t_i)$ – исходные значения функции (2) в период наблюдений.

Несмотря на принятые ФЦП, НП и значительное количество научных разработок, аварийность остается значительной, причем смертельный исход имеет высокий показатель.

При осуществлении оценки вероятности возникновения ДТП с помощью распределения Вейбулла каждое ДТП было рассмотрено как случайный процесс, который соответствует реальности и зависит от времени суток и сезонности. В качестве исходных данных были приняты значения количества ДТП с участием водителей, находившихся в состоянии алкогольного опьянения, пешеходов и детей, так как последние категории являются самыми незащищенными участниками дорожного движения.

Расчеты выполнены по ниже приведенным математическим выражениям. Параметры формы b и масштаба a распределения Вейбулла определены по формулам:

$$\beta = -B \quad (16)$$

$$\alpha = \exp(A/B) \quad (17)$$

К числовым характеристикам статистических распределений относятся:

математическое ожидание:

$$\bar{M}[\lambda(t)] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda(t)_i, \quad (18)$$

статистическая дисперсия:

$$\bar{D}[\lambda(t)] = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\lambda(t)_i]^2 - \bar{M}[\lambda(t)]^2 \right\} \frac{n}{n-1}, \quad (19)$$

среднеквадратическое отклонение:

$$\bar{\delta}[\lambda(t)] = \sqrt{\bar{D}[\lambda(t)]}. \quad (20)$$

Уточненные доверительные интервалы для приведенных числовых характеристик определяются следующими выражениями:

$$\bar{M}[\lambda(t)] - t_{\beta} \sqrt{\frac{\bar{D}[\lambda(t)]}{n}} < \bar{M}[\lambda(t)] < \bar{M}[\lambda(t)] + t_{\beta} \sqrt{\frac{\bar{D}[\lambda(t)]}{n}}, \quad (21)$$

$$\frac{\bar{D}[\lambda(t)](n-1)}{\chi_1^2} < \bar{D}[\lambda(t)] < \frac{\bar{D}[\lambda(t)](n-1)}{\chi_2^2}, \quad (22)$$

$$\sqrt{\frac{\bar{D}[\lambda(t)](n-1)}{\chi_1^2}} < \bar{\delta}[\lambda(t)] < \sqrt{\frac{\bar{D}[\lambda(t)](n-1)}{\chi_2^2}}, \quad (23)$$

где t_{β} – величина, определяемая по таблицам в зависимости от принятого значения вероятности β и $n-1$; χ_1^2, χ_2^2 – числа, определяемые по специальным таблицам χ^2 – распределения с $n-1$ степенями свободы в зависимости от β . Входными данными для пользования таблицами являются значения вероятности выхода случайной величины за пределы интервалов вправо p_1 и влево p_2 .

На рисунке 12 представлена гистограмма аварийности по Белгородской городской агломерации с участием пешеходов, аппроксимированная законом распределения Вейбулла:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} (t - \gamma)^{\beta-1}; \quad t \geq \gamma, \quad (24)$$

где α – параметр масштаба, имеющий физический смысл аварийности в начальный период наблюдения за ДТП на исследуемом участке УДС; β – параметр формы, характеризующий скорость изменения интенсивности ДТП $\lambda(t)$; γ – параметр положения. Обычно полагают $\gamma = 0$. Отрицательное значение γ вводят для описания отсутствия вероятности возникновения ДТП.

Параметры α и β определены на основании обработки статистических гистограмм методом наименьших квадратов, при котором требование наилучшего согласования кривой $\lambda(t) = (\beta/\alpha)t^{\beta-1}$ и экспериментальных точек $\lambda(t)$ достигают при соблюдении условия:

$$\sum_{i=1}^n [\lambda_i(t) - \lambda_i(t)]^2 = \min. \quad (25)$$

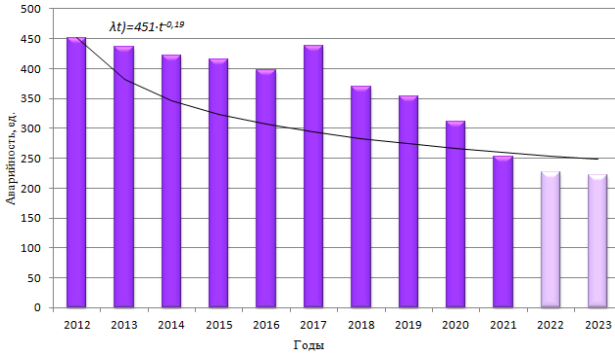


Рисунок 12 – Количество ДТП с участием пешеходов с учетом прогнозных значений

Числовые характеристики распределения Вейбулла при $\gamma = 0$ (табл. 3) определены как:

$$M[\lambda(t)] = \int_0^{t_1} \frac{\lambda(t)dt}{t_1} = \frac{t_1^\beta}{\alpha t_1} = \frac{1}{\alpha} t_1^{\beta-1} = M,$$

$$D[\lambda(t)] = \frac{1}{t_1-1} \int_1^{t_1} [\lambda(t) - M]^2 dt + \frac{\lambda_0}{t_1} = \frac{1}{t_1-1} \left[\left(\frac{\beta}{\alpha} \right)^2 (t^{2\beta-1} - 1) - M^2 t_1 + \frac{2M}{\alpha} - M^2 \right] + \frac{\lambda_0(t)}{t_1}, \quad (26)$$

где t_1 – сумма всех лет наблюдений возникновения аварий;
 $\lambda_0(t)$ – статистическая удельная аварийность в первый год наблюдений.

Таблица 3 – Числовые характеристики статистического и теоретического закона распределения $\lambda(t)$

Наименование элемента	Статистическое распределение			Теоретическое распределение				Доверительные интервалы
	$M[\lambda(t)]$	$D[\lambda(t)]$	$\delta^*[\lambda(t)]$	$\lambda(t)$	$M[\lambda(t)]$	$D[\lambda(t)]$	$\delta[\lambda(t)]$	
пешеходы	384,5	4024,5	63,44	$451t^{-0.19}$	318,586	2883,71	53,7	[339,12; 429,88] [2140,69;10877] [46,27; 104,29]
дети	161,0	124,2	11,15	$178t^{-0.22}$	141,127	1264,14	35,6	[153,03; 168,97] [66,08;335,74] [8,13; 18,32]
водители	104,3	37,1	6,09	$110t^{-0.15}$	92,15	677,77	28,8	[99,9; 108,65] [19,75;100,33] [4,44; 10,01]

Для дополнительной оценки правильности выбора теоретической кривой распределения $\lambda(t)$ воспользуемся критерием согласия К.Пирсона и его свойствами (χ^2 -хи квадрат) по формуле (5).

Расчет критериев согласия по (5) позволяет сделать следующее заключение: при значениях вероятностей согласования в пределах $0,3 < p < 0,999$ выбор теоретических законов распределения $\lambda(t) = (\beta/\alpha)t^{\beta-1}$ следует считать правильным, так как данный факт согласуется с физической точки зрения.

Двухпараметрическое распределение Вейбулла позволяет учесть два параметра: параметр масштаба, имеющий физический смысл аварийности в начальный период наблюдения за ДТП на исследуемом участке УДС; параметр формы, характеризующий скорость изменения интенсивности ДТП $\lambda(t)$. В зависимости от гистограммы и угла экспоненциальной кривой можно увидеть реальную аварийность на дорогах с учетом вызвавших ее причин.

Также для прогнозирования количества ДТП с учетом присутствия неявных тенденций в динамике изменения аварийности на основании ретроспективного анализа была создана модель адаптивных нейронетических сетей (рис. 13). Традиционно для решения такой задачи применяются всевозможные модели технического анализа, основанные на применении различных индикаторов.

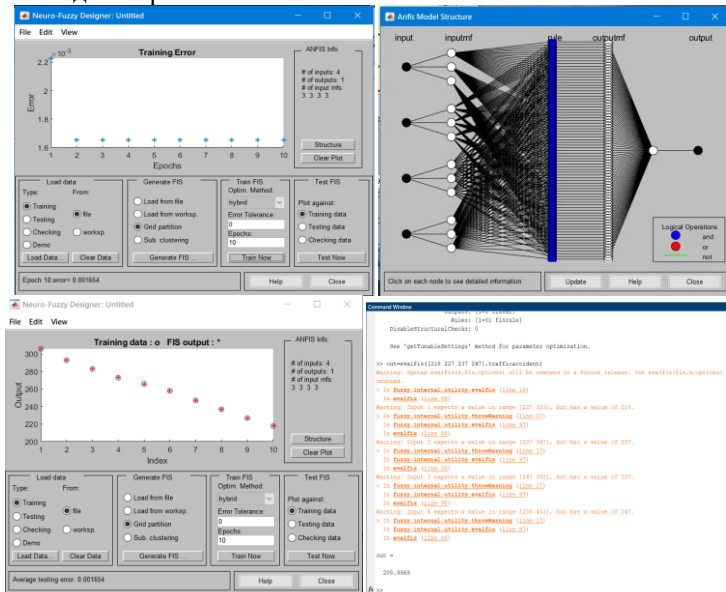


Рисунок 13 – Графический интерфейс построения гибридной сети и ее обучение

Таким образом, проверка построенной модели гибридной сети показывает достаточно высокую степень ее адекватности реальным исходным данным,

что позволяет сделать вывод о возможности ее практического использования при прогнозировании ДТП, происходящих на УДС городской агломерации. В этом случае модели адаптивных систем нейронечеткого вывода могут считаться конструктивным инструментом технического анализа БДД.

Учитывая многофакторность причин возникновения ДТП, которые изменяются в течение суток в зависимости от времени года, согласно концепции «нулевая смертность», необходимо создать безопасные условия для движения ТС и пешеходов в городской агломерации, что указывает на необходимость разработки теоретических основ для управления ТП, учитывающих основные параметры, оказывающие влияние на обеспечение БДД.

В четвертой главе «**Теоретические основы управления ТП в городской агломерации на основе нечеткой логики**» разработана новая модель управления движением ТП за счет изменения скоростного режима в городской агломерации.

В связи с тем, что несоблюдение водителями правил дорожного движения, а именно, превышение скорости движения ТС является одной из основных причин, влекущих за собой смертность в результате ДТП, имеется необходимость в реализации оперативного управления движением ТП в городской агломерации с учетом основных параметров, влияющих на аварийность. При разработке математической модели управления движением ТП были определены лингвистические переменные, на основе которых сформирована база правил системы нечеткого вывода.

В ходе создания новой модели приняты три входных лингвистических переменных для фаззи-регулятора, образующих входной вектор $\beta = [\beta_1, \beta_2, \beta_3]$, и одна выходная лингвистическая переменная β_4 , где β_1 – интенсивность движения ТП; β_2 – темп изменения количества ДТП, происходящих на участках УДС с повышенной аварийностью; β_3 – коэффициент безопасности; β_4 – скорость движения ТП.

Как следует из полученных экспериментальных данных, диапазон изменения интенсивности движения ТП находится в пределах от 0 до 5000 автомобилей за час. Принят диапазон изменения первой лингвистической переменной $\Delta\beta_1 = [0; 5000]$. Для описания переменной β_1 введено пять функций принадлежности (ФП) (рис. 14), равномерно распределенных по всему диапазону изменения:

- VS (Very Small) – «очень малое» [0; 0; 300; 1250];
- S (Small) – «малое» [0; 1250; 2500];
- M (Medium) – «среднее» [1250; 2500; 3750];
- B (Big) – «большое» [2500; 3750; 5000];
- VB (Very Big) – «очень большое» [3750; 4700; 5000; 5000].

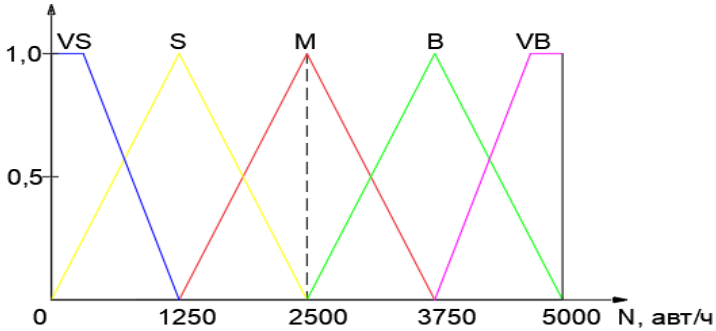


Рисунок 14 – ФП для лингвистической переменной β_1 «Интенсивность движения транспортного потока»

Аналогично в диссертационной работе представлены остальные лингвистические переменные.

Таблица 4 – Статистические данные расчета темпа изменения количества ДТП $\frac{dn}{dt}$, происходящих на участках УДС с повышенной аварийностью

Лингвистический терм	Количество значений $\frac{dn}{dt}$, попадающих в соответствующий интервал						
	(-7; -5)	(-5; -3)	(-3; -1)	(-1; 1)	(1; 3)	(3; 5)	(5; 7)
NS	4	9	9	12	0	0	0
Z	1	9	9	16	12	9	2
PS	0	0	0	11	12	9	5
v_{Σ}	5	18	18	39	24	18	7

Далее все элементы v_{ij} таблицы 5 (кроме последней строки) преобразованы по формуле:

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

Таблица 5 – Преобразованные статистические данные расчета темпа изменения количества ДТП $\frac{dn}{dt}$, происходящих на участках УДС с повышенной аварийностью

Лингвистический терм	Преобразованные значения v_{ij}							v_{\max}
	(-7; -5)	(-5; -3)	(-3; -1)	(-1; 1)	(1; 3)	(3; 5)	(5; 7)	
NS	31,2	19,5	19,5	12	0	0	0	31,2
Z	39	19,5	19,5	16	19,5	19,5	11,1	39
PS	0	0	0	11	19,5	19,5	27,8	27,8

По формуле рассчитаны значения ФП:

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

Для построения ФП лингвистической переменной найдены максимальные элементы в строке преобразованной таблицы 4 $v_{i \max} = \max v_{ij}$. После полученных расчетов сформирована таблица 6, в которую занесены значения ФП лингвистической переменной β_2 и график ФП, представленный на рисунке 15.

Таблица 6 – Таблица расчетных значений ФП лингвистической переменной β_2

Лингвистический терм	Значения ФП μ_{ij}						
	(-7; -5)	(-5; -3)	(-3; -1)	(-1; 1)	(1; 3)	(3; 5)	(5; 7)
NS	0,8	0,5	0,5	0,3	0	0	0
Z	1	0,5	0,5	0,55	0,45	0,4	0,28
PS	0	0	0	0,28	0,5	0,5	1

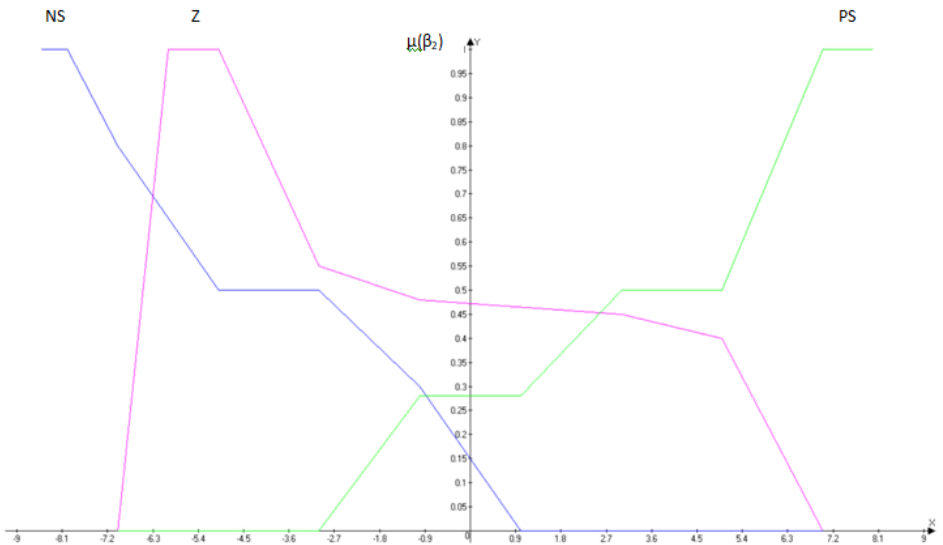


Рисунок 15 – ФП лингвистической переменной β_2 «Темп изменения количества ДТП, происходящих на участках УДС с повышенной аварийностью»

На основании полученных данных реализована база правил нечеткого вывода для модели управления движением ТП, базирующаяся на нечеткой логике (табл.7).

Таблица 7 – Фрагмент базы правил нечеткого вывода для реализации модели управления ТП

Номер правила	Входные переменные			Выходные переменные
	β_1	β_2	β_3	
1	VS	NS	S	S
2	VS	Z	S	S
3	VS	PS	S	VS
4	S	NS	M	S
5	S	Z	M	S
6	S	PS	M	S
7	M	NS	B	M
8	M	Z	B	B
9	M	PS	B	S
10	B	NS	S	VS
...

При формировании поверхности нечеткого вывода для разработанной модели применен алгоритм Мамдани. Для общего анализа разработанной нечеткой модели системы принятия решений предлагается визуализация соответствующей поверхности нечеткого вывода (рис. 16).

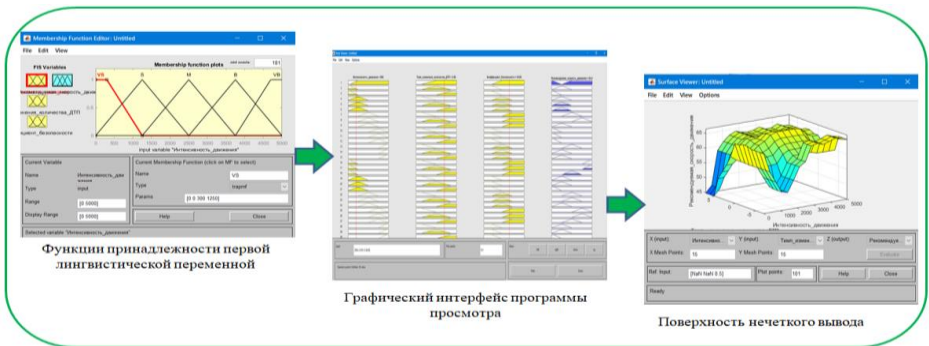


Рисунок 16 – Графическое отображение полученных результатов

Представленная на рисунке 16 поверхность нечеткого вывода позволяет установить зависимость значения выходной переменной β_4 от значений входных переменных β_1 , β_2 и β_3 нечеткой модели системы принятия решений, а именно, управление движением ТП за счет изменения скоростного режима в городской агломерации.

На основании разработанных моделей вероятностной оценки интенсивности движения ТП, математических моделей прогнозирования интенсивности движения ТС и количества ДТП, а также управления движением ТП создана СУСДТП, позволяющая обеспечить БДД в местах повышенной аварийности, концентрации ДТП и «узких» местах (рис.17).



Рисунок 17 – Схема СУСДТП: 1 – исходные данные (условия); 2 – причины, воздействующие на водителя и его ТС; 3 – технические средства ОДД, применяемые для повышения БДД

Созданную систему управления скоростью движения ТП возможно интегрировать в интеллектуальные транспортные системы (ИТС) через подсистему АСУДД. В результате исследований разработана схема реализации СУСДТП, функционирующей в первом слое ИТС за счет взаимосвязи между подсистемами. Основными данными являются данные, полученные от специализированных датчиков и детекторов транспорта инструментальной подсистемы «мониторинга параметров транспортных потоков» (рис. 18).

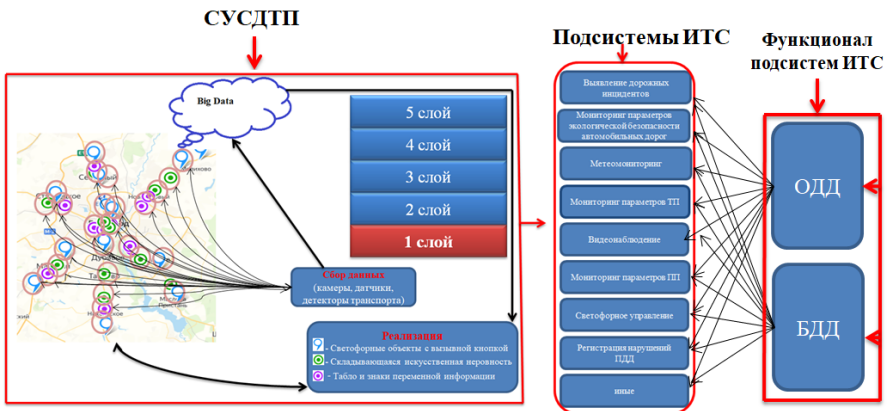


Рисунок 18 – Схема реализации СУСДТП в структуре ИТС

Таким образом, выполненные научные исследования, установленные взаимосвязи и разработанные математические модели позволили обеспечить БДД за счет оперативного управления скоростью движения ТП в городской агломерации.

В пятой главе «**Научные основы повышения БДД в городской агломерации на основании теории нечетких множеств**» впервые разработана математическая модель выбора рационального варианта схемы пересечения УДС на основе предложенных критериев поиска управленческого решения, базирующихся на теории нечетких множеств. Предложенная модель может быть применена как при реконструкции УДС, так и при проектировании с учетом обеспечения БДД и улучшения экологической ситуации в городских агломерациях.

Для создания математической модели определены критерии, каждый из которых имеет количественную оценку, производящуюся на основании экспертных оценок и статистических данных о диапазоне их изменения.

При критериях одинаковой важности, если имеется j критериев T_1, T_2 , и ..., и T_j , то лучшей считается альтернатива, удовлетворяющая критерию T_1 , и T_2 , и ..., и T_j . Наилучшая альтернатива записывается в виде пересечения соответствующих нечетких множеств:

$$M = T_1 \cap T_2 \cap \dots \cap T_j. \quad (29)$$

Основные критерии поиска управленческого решения для выбора конфигурации схемы пересечения при реконструкции и проектировании участка УДС на основе теории нечетких множеств

T_1 – капитальные затраты с учетом реконструкции и монтажа ТСОДД, К, о. е.

T_2 – площадь отчуждаемой территории для организации мероприятия, S, о. е.

T_3 – степень опасности пересечения, m, о. е.

T_4 – затраты на содержание, З, о. е.

T_5 – аварийность участка, ДТП, о. е.

T_6 – пропускная способность дороги, P, о. е.

T_7 – влияние на экологическую обстановку окружающей среды, Э, о. е.

Рисунок 19 – Критерии поиска управленческого решения для создания математической модели выбора рационального варианта схемы пересечения на УДС

Рассмотренные виды различных комбинаций схем пересечения с применением технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) на УДС представлены ниже:

A_1 – нерегулируемое пересечение;

A_2 – нерегулируемое пересечение + светофорный объект;

A_3 – нерегулируемое пересечение + наземный пешеходный переход;

A_4 – нерегулируемое пересечение + надземный пешеходный переход;

A_5 – нерегулируемое пересечение + подземный пешеходный переход;

A_6 – нерегулируемое пересечение + наземный пешеходный переход + искусственная дорожная неровность;

A_7 – двухуровневая развязка;

A_8 – двухуровневая развязка + светофорный объект.

Для определения ФП предлагаемых комбинаций схем пересечения на основании их функциональных особенностей составлена таблица 8, характеризующая каждую комбинацию схемы пересечения по каждому критерию в относительных единицах.

Таблица 8 – Оценка критериев для разных комбинаций схем пересечения на УДС

Тип структуры	$K, о.е.$	$S, о.е.$	$m, о.е.$	$З, о.е.$	$ДТП, о.е.$	$P, о.е.$	$Э, о.е.$
A_1	0,2	0,05	0,95	0,05	0,93	0,25	0,93
A_2	0,35	0,1	0,8	0,25	0,9	0,4	0,73
A_3	0,45	0,13	0,75	0,35	0,85	0,55	0,6
A_4	0,5	0,17	0,62	0,45	0,8	0,6	0,55
A_5	0,65	0,18	0,45	0,55	0,77	0,7	0,45
A_6	0,75	0,22	0,32	0,65	0,69	0,75	0,33
A_7	0,85	0,8	0,2	0,95	0,23	0,8	0,28
A_8	0,88	0,85	0,05	1	0,1	0,82	0,25

Выбор рационального варианта схемы пересечения УДС производится на основании сравнения восьми соотношений вариантов. Каждое соотношение получает соответствующие оценки альтернатив по представленным критериям (табл. 9).

Таблица 9 – ФП схем пересечения для рассматриваемых критериев

Соотношение вариантов	$\mu_1(T_1)$	$\mu_2(T_2)$	$\mu_3(T_3)$	$\mu_4(T_4)$	$\mu_5(T_5)$	$\mu_6(T_6)$	$\mu_7(T_7)$
A_1	β_{11}	β_{21}	β_{31}	β_{41}	β_{51}	β_{61}	β_{71}
A_2	β_{12}	β_{22}	β_{32}	β_{42}	β_{52}	β_{62}	β_{72}
A_3	β_{13}	β_{23}	β_{33}	β_{43}	β_{53}	β_{63}	β_{73}
A_4	β_{14}	β_{24}	β_{4}	β_{44}	β_{54}	β_{64}	β_{74}
A_5	β_{15}	β_{25}	β_{35}	β_{45}	β_{55}	β_{65}	β_{75}
A_6	β_{16}	β_{26}	β_{36}	β_{46}	β_{56}	β_{66}	β_{76}
A_7	β_{17}	β_{27}	β_{37}	β_{47}	β_{57}	β_{67}	β_{77}
A_8	β_{18}	β_{28}	β_{38}	β_{48}	β_{58}	β_{68}	β_{78}

Диапазоны лингвистических переменных заданы в относительных единицах для каждого критерия T_j и представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Диапазон изменения лингвистических переменных каждого критерия

Лингвистические переменные	Термы			
	ZP	PS	PM	PB
T_1, K	[0; 0,1; 0,3]	[0,25; 0,4; 0,55]	[0,47; 0,6; 0,73]	[0,7; 0,9; 1]
T_2, S	[0; 0,05; 0,2]	[0,15; 0,3; 0,45]	[0,4; 0,55; 0,7]	[0,65; 0,9; 1]
T_3, m	–	[0; 0,15; 0,4]	[0,3; 0,5; 0,7]	[0,6; 0,85; 1]
T_4, Z	–	[0; 0,2; 0,4]	[0,2; 0,5; 0,8]	[0,6; 0,8; 1]
$T_5, ДПП$	[0; 0,05; 0,3]	[0,25; 0,4; 0,55]	[0,45; 0,6; 0,75]	[0,7; 0,95; 1]
T_6, P	–	[0; 0,15; 0,35]	[0,2; 0,5; 0,8]	[0,65; 0,85; 1]
$T_7, Э$	–	[0; 0,1; 0,35]	[0,3; 0,5; 0,7]	[0,65; 0,9; 1]

ZP – «положительное близкое к нулю»; PS – «положительное малое»;
PM – «положительное среднее»; PB – «положительное большое».

Значения, находящиеся в диапазонах изменения лингвистических переменных каждого критерия представлены на рисунке 20. Аналогично построены графики ФП для каждой лингвистической переменной.

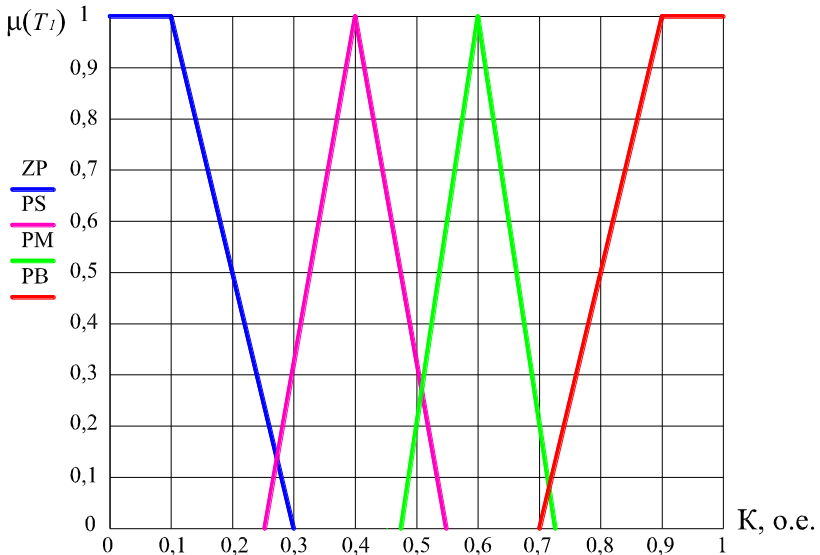


Рисунок 20 – График ФП для лингвистической переменной T_1

Нечеткое множество для каждого критерия T_j выглядит следующим образом:

$$T_1 = \{0,5/A_1; 0,68/A_2; 0,6/A_3; 0,2/A_4; 0,6/A_5; 0,35/A_6; 0,75/A_7; 0,9/A_8\};$$

$$T_2 = \{1/A_1; 0,65/A_2; 0,4/A_3; 0,12/A_4; 0,13/A_5; 0,5/A_6; 0,6/A_7; 0,8/A_8\};$$

$$T_3 = \{1/A_1; 0,8/A_2; 0,6/A_3; 0,14/A_4; 0,76/A_5; 0,14/A_6; 0,8/A_7; 1/A_8\};$$

$$T_4 = \{1/A_1; 0,17/A_2; 0,24/A_3; 0,83/A_4; 0,81/A_5; 0,27/A_6; 1/A_7; 1/A_8\};$$

$$T_5 = \{0,96/A_1; 0,8/A_2; 0,62/A_3; 0,4/A_4; 0,26/A_5; 0,4/A_6; 0,23/A_7; 0,8/A_8\};$$

$$T_6 = \{0,18/A_1; 0,67/A_2; 0,8/A_3; 0,66/A_4; 0,23/A_5; 0,18/A_6; 0,75/A_7; 0,83/A_8\};$$

$$T_7 = \{1/A_1; 0,37/A_2; 0,5/A_3; 0,73/A_4; 0,75/A_5; 0,09/A_6; 0,28/A_7; 0,4/A_8\}.$$

Наглядное отображение каждой степени влияния критериев нечеткого множества на выбор рациональной схемы пересечения представлено на рисунке 21.

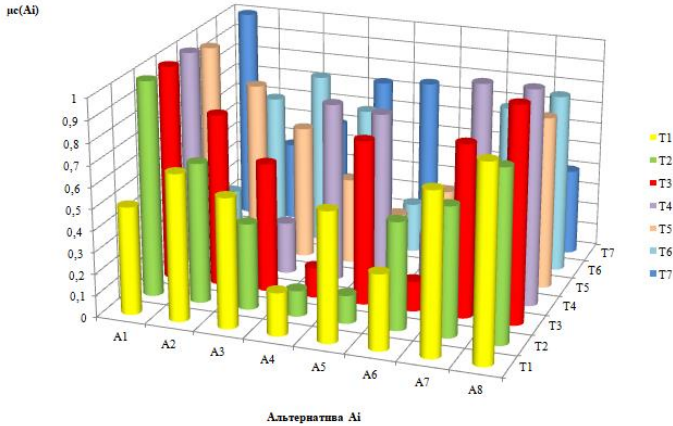


Рисунок 21 – Оценка ФП схем пересечения при различных критериях с одинаковой степенью важности

Далее применено правило выбора соответствующих минимальных значений ФП, из которых затем выбрано максимальное значение. Оно и указывает на рациональный вариант схемы пересечения среди предложенных вариантов.

$$M_{\max} = \left\{ \begin{array}{l} \min(0,5; 1; 1; 1; 0,96; 0,18; 1/A_1); \\ \min(0,68; 0,65; 0,8; 0,17; 0,8; 0,67; 0,37/A_2); \\ \min(0,6; 0,4; 0,6; 0,24; 0,62; 0,8; 0,5/A_3); \\ \min(0,2; 0,12; 0,14; 0,83; 0,4; 0,66; 0,73/A_4); \\ \min(0,6; 0,13; 0,76; 0,81; 0,26; 0,23; 0,75/A_5); \\ \min(0,35; 0,5; 0,14; 0,27; 0,4; 0,18; 0,09/A_6); \\ \min(0,75; 0,8; 0,8; 1; 0,23; 0,75; 0,28/A_7); \\ \min(0,9; 0,8; 1; 1; 0,8; 1; 0,4/A_8) \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} (0,18/A_1; 0,17/A_2; 0,24/A_3; 0,12/A_4); \\ (0,13/A_5; 0,09/A_6; 0,23/A_7; 0,4/A_8) \end{array} \right\}$$

На основании решения задачи с одинаковой степенью важности критериев, рациональным является восьмой вариант схемы пересечения: $A_8^* = \{0,9; 0,8; 1; 1; 0,8; 1; 0,4\}$.

Таким образом, математическая модель выбора рациональной схемы пересечения УДС, построенная на основании теории нечетких множеств, позволяет обоснованно решать широкий класс задач управления и принятия технических решений по обеспечению БДД как при реконструкции, так и проектировании УДС.

В шестой главе «Оценка и обоснованность эффективности мероприятий, повышающих БДД» получены расчеты экономической эффективности капитальных вложений, которые преследуют цель выбора рационального варианта реконструкции автодороги или дорожных сооружений, как по периоду окупаемости затрат, так и по величине текущих издержек. Наибольший вес в текущих эксплуатационных издержках имеют потери от вовлечения в ДТП людей и потери транспорта от несовершенства ОДД.

Учитывая, что такие расчеты выполняются на этапе проектирования, особую сложность вызывает прогнозирование потерь от ДТП и транспортных потерь для предлагаемого варианта, для которого нет достоверных статистических данных и возможности проведения натуральных измерений. Анализ изложенных в настоящей работе положений и моделей позволяет реализовать построение тренда интенсивности движения ТП, используя только лишь данные измерения интенсивности движения за ограниченный промежуток времени. Очевидно, что динамика такого тренда будет коррелироваться с ростом транспортной загруженности участка УДС и, следовательно, с потерями транспорта.

Предложенные мероприятия по повышению БДД свидетельствуют об эффективности внедренных мероприятий. Результаты снижения смертности на участках УДС с повышенной опасностью в Белгородской городской агломерации на основе апробированных методов и разработанных моделей представлены в таблице 11. При внедрении на УДС предлагаемых мероприятий величина капитальных вложений составит более 140 млн. рублей, а срок окупаемости будет равен 0,92 года.

Таблица 11 – Оценка изменений показателей БДД после реализации предложенных мероприятий в Белгородской городской агломерации

№ п/п	Наименование исследуемого участка городской агломерации	Общее количество ДТП, %		Количество ДТП (столкновения), %		Количество погибших при столкновении ТС, %		Количество ДТП (наезд на пешехода), %		Количество погибших пешеходов, %		Снижение общего количества ДТП, %	Снижение погибших при столкновении ТС, %	Снижение погибших пешеходов, %
		до	после	до	после	до	после	до	после	до	после			
1	Направление №1 (Дубовое)	100	82	100	79	-	-	100	33	-	-	18	-	-
2	Направление №2 (Майский)	100	63	100	40	-	-	100	-	-	-	37	-	-
3	Направление №3 (Стрелешкое)	100	82	100	100	100	50	100	67	100	-	18	50	100
4	Направление №4 (Северный)	100	56	100	87	100	-	100	33	-	-	44	-	-
5	Направление №5 (Новосадовый)	100	90	100	84	100	-	100	-	-	-	10	-	-
6	Направление №6 (Разумное)	100	81	100	85	100	60	100	84	100	100	19	40	-

Основную массу загрязняющих воздух веществ составляют отработавшие газы ТС. Решение проблемы снижения негативного воздействия автомобилей на окружающую среду в придорожной полосе во многом зависит от правильного учета условий его движения. Доля различных техногенных источников в общем загрязнении атмосферы представлена ниже (рис. 22).



Рисунок 22 – Значения выбросов вредных веществ (ВВ) при возникновении и отсутствии ДТП

Имея значение расхода топлива на УДС Белгородской городской агломерации и номинальное значение при сгорании 1 кг топлива, определено значение выбросов ВВ при наличии и отсутствии ДТП (табл. 12).

Таблица 12 – Экономический ущерб от основных выбросов ВВ

Экономический ущерб от выбросов ВВ, руб./год	При возникновении ДТП	При отсутствии ДТП	Разница между условиями
Оксид углерода	1081098,58	845512,688	235585,892
Оксид азота	345544,326	279691,835	65852,491
Углеводороды	889402,286	719962,678	169439,608
Сернистый ангидрид	53226,4848	42033,9299	11192,5549

После снижения вероятности возникновения ДТП экономическая эффективность от снижения количества ВВ была рассчитана на основании методики В.А. Корчагина и равна 482 070,55 рублей.

Аварийность на дорогах оказывает воздействие на шумовое загрязнение. Мониторинг шума в окружающей среде на территории Белгородской городской агломерации проведен с помощью шумомера SVAN-943

на участках дорог в момент совершения ДТП. В результате исследований выявлено, что при возникновении ДТП уровень шумового загрязнения выше, чем в обычных условиях (рис.23).

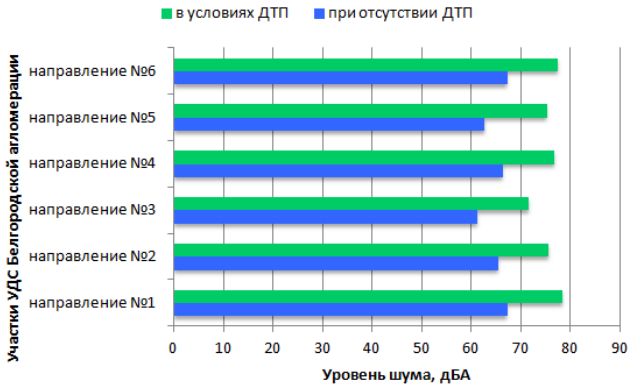


Рисунок 23 – Уровень шумового загрязнения на исследуемых участках УДС в Белгородской агломерации

Таким образом, после внедрения разработанных моделей на территории Белгородской городской агломерации значение уровня шумового загрязнения уменьшилось на 11 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании выполненных исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения снижения аварийности в городских агломерациях за счет применения математических моделей, базирующихся на теориях вероятностей, нечеткой логики и нечетких множеств, внедрение которых вносит значительный вклад в БДД и в развитие страны.

Основные результаты исследования заключаются в следующем:

1. Проанализировано состояние БДД в РФ и Белгородской городской агломерации с учетом дифференциации ТП и инфраструктуры городской агломерации. Выявлено, что на территории Белгородской городской агломерации расположены 475 населенных пунктов, которые связаны между собой дорогами различного значения: федеральные (77,5 км), региональные (404,8 км) и муниципальные (5384,8 км). Статистика ДТП свидетельствует о том, что 16,5 % ДТП от общего числа в Белгородской области приходится на исследуемые направления Белгородской городской агломерации, по количеству погибших – 19,4 %. Проведенные исследования показали, что существующие меры по обеспечению БДД не учитывают переменчивость ДТС. Проблема аварийности на дорогах остается актуальной и требует разработки новых методов и моделей, позволяющих стремиться к критерию

«нулевая смертность» согласно Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. В РФ наблюдается недостаточность проработки вопросов обеспечения БДД в городских агломерациях.

2. В результате исследования интенсивности движения ТП в Белгородской городской агломерации была разработана вероятностная модель изменения интенсивности движения ТП, позволяющая осуществить прогноз интенсивности движения ТС в течение года для оценки ДТС. Получены эмпирические зависимости между интенсивностью движения ТС и временем суток, учитывающие суточную и сезонную цикличность движения ТП

$$m_y(t) = 985569 - 141,785t - 1182,487 \cos \frac{2\pi t}{60} - 2950,7 \cos \frac{4\pi t}{60} - 587,36 \cos \frac{6\pi t}{60} + 1878,66 \sin \frac{2\pi t}{60} - 1067,81 \sin \frac{4\pi t}{60} + 1053,84 \sin \frac{6\pi t}{60}.$$

Установлены зависимости между количеством ДТП и условиями движения, подтвержденные полученными значениями критерия Пирсона. Анализ различных условий движения в зависимости от погодноклиматических факторов и состояния дорожного покрытия показал, что наибольшее количество ДТП происходит при условиях движения: «ясно – сухое» количество ДТП распределилось следующим образом, летом (37,4%), осенью (30,8%), весной (23,3%), зимой (8,5%); при условиях движения «пасмурно – сухое»: осенью (37,0%), зимой (28,4%), весной (22,2%), летом (12,4%); при условиях движения «пасмурно – мокрое»: зимой (38,9%), весной (28,9%), осенью (27,9%), летом (5,3%); при условиях движения «дождь – мокрое»: осенью (41,0%), весной (22,7%), летом (20,5%), зимой (15,8%).

Установлена корреляционная связь между количеством ДТП и характерными часами суток. Наибольшее количество ДТП в городской агломерации происходит в период с 18:01 ч до 22:00 ч. В четверг, субботу и в воскресенье характерными диапазонами времени являются часы суток с 18:01 ч до 22:00 ч, в свою очередь вторник и пятница – с 14:01 ч до 18:00 ч. Наименьшее количество ДТП в течение всей недели происходит с 10:01 ч до 14:00 ч.

3. На основании эмпирических зависимостей между интенсивностью движения ТС и временем суток, применения двухпараметрического закона распределения Вейбулла впервые разработана математическая модель оценки ДТС, позволяющая осуществить прогноз интенсивности движения ТС и количества ДТП для формирования управляющих воздействий. Аналитическое выражение тренда интенсивности движения ТП с учетом сезонных факторов в результате прогноза принимает вид: $m_y(t) = 985751 - 123,098t + 6786,9 - 22989 \cos \frac{4\pi t}{72} - 18574 \cos \frac{6\pi t}{72} - 25586 \sin \frac{2\pi t}{72} - 13118,5 \sin \frac{4\pi t}{72} + 18857,2 \sin \frac{6\pi t}{72}$. Результаты прогнозирования количества ДТП с участием водителей, находившихся в состоянии алкогольного опьянения, пешеходов, детей, аппроксимированные законом распределения Вейбулла приняли следующий вид соответственно: $\lambda(t) = 110 t^{-0,15}$, $\lambda(t) = 451 t^{-0,19}$, $\lambda(t) = 178 t^{-0,22}$.

4. Разработана модель управления движением ТП, базирующаяся на нечеткой логике. Данная модель позволяет изменять скорость движения ТС в городской агломерации за счет выбора управленческого решения созданной базы правил, имеющей в своем составе 45 правил нечеткой продукции. Приняты три входных лингвистических переменных для модели нечеткого вывода «интенсивность движения транспортного потока», находящаяся в диапазоне $\Delta\beta_1 = [0; 5000]$; «темп изменения количества ДТП» – $\Delta\beta_2 = [-7; 7]$; «коэффициент безопасности» – $\Delta\beta_3 = [0; 1]$, образующих входной вектор $\beta = [\beta_1, \beta_2, \beta_3]$, и одна выходная лингвистическая переменная «скорость движения транспортного потока», имеющая диапазон $\Delta\beta_4 = [20; 100]$. Результат расчета одного из сигналов управления движением ТП на основании нечеткого вывода выглядит следующим образом: $\beta_1 = 984$ – интенсивность движения ТП, авт/ч; $\beta_2 = 2,85$ – темп изменения количества ДТП; $\beta_3 = 0,625$ – значение коэффициента безопасности. В результате процесса нечеткого вывода получили, что $\beta_4 = 63$ – скорость движения ТП, км/ч.

5. На основании разработанных моделей: вероятностной модели изменения интенсивности движения ТП, математической модели оценки ДТС и модели управления движением ТП создана СУСДТП, функционирующая на магистральных дорогах, в местах повышенной аварийности, концентрации ДТП и «узких» местах с возможностью интегрирования в ИТС для обеспечения БДД.

6. На основании теории нечетких множеств, учитывающей предлагаемые критерии поиска управленческого решения: T_1 – капитальные затраты с учетом реконструкции и монтажа ТСОДД, T_2 – площадь отчуждаемой территории для организации мероприятия, T_3 – степень опасности пересечения, T_4 – затраты на содержание, T_5 – аварийность участка, T_6 – пропускная способность дороги, T_7 – влияние на экологическую обстановку окружающей среды, разработана математическая модель рационального выбора варианта схемы пересечения на УДС, позволяющего обеспечить БДД и повысить экологичность за счет внедрения рационального варианта схемы пересечения при проведении реконструкции и проектировании дорог в городской агломерации. Рациональным вариантом при различных критериях с одинаковой степенью важности является восьмая конфигурация схемы пересечения на УДС: $A_8^* = \{0,9; 0,8; 1; 1; 0,8; 1; 0,4\}$.

7. Осуществлена экономическая и экологическая оценка мероприятий по повышению БДД на автомобильных дорогах Белгородской городской агломерации. На основании полученных результатов отмечена динамика снижения количества ДТП в зависимости от исследуемого направления Белгородской городской агломерации от 10 до 44%, количества выбросов ВВ в среднем на 20%, уровень шумового загрязнения на 11%. Апробация результатов применена на участках дорог с повышенной аварийностью, в итоге отмечено снижение абсолютных показателей аварийности. При внедрении на УДС разработанных моделей в рамках Белгородской городской

агломерации годовой экономический эффект составит более 150 млн. рублей за счет снижения аварийности и уменьшения потерь времени ТС и пассажиров в пути.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов для опубликования основных научных результатов диссертаций (ВАК)

1. Кущенко, Л.Е. Улучшение экологической обстановки посредством изменения режимов работы светофорного объекта / С.Н. Глаголев, И.А. Новиков, С.В. Кущенко, Л.Е. Кущенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 3. – С. 116–121 (0,53 п.л./0,42 п.л.)

2. 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 (0,53 п.л./0,43 п.л.)

3. Кущенко, Л.Е. Моделирование транспортных потоков на основе нечеткой логики / А.С. Бобешко, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 4. – С. 89–98 (0,87 п.л./0,67 п.л.)

4. Кущенко, Л.Е. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья / А.С. Бобешко, Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 4. – С. 62–68 (0,6 п.л./0,45 п.л.)

5. Кущенко, Л.Е. Влияние водителей, находящихся в состоянии алкогольного опьянения на ДТП в РФ и Черноземье / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, В.С. Добрыднева, Д.Н. Айыдов // Мир транспорта и технологических машин. 2019. №1 (64). – С. 57-65 (1,05 п.л./0,85 п.л.)

6. Кущенко, Л.Е. Влияние состояния качества автомобильных дорог на ДТП / Л.Е. Кущенко, А.А. Кравченко, П.П. Рыжкин, Л.А. Королева // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 1 (68). – С. 49-58 (1,16 п.л./0,8 п.л.)

7. 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. 46-54 (1,05 п.л./0,85 п.л.)

8. Кущенко, Л.Е. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках УДС города / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.Н. Новиков, И.А. Новиков // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). – С. 222-232 (1,28 п.л./0,85 п.л.)

9. Кущенко, Л.Е. Исследование эколого-экономических показателей автомобильного транспорта в городской агломерации Белгородской области / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.А. Кравченко, Е.В. Давыдова // Мир транспорта и технологических машин. 2021. № 2 (73). – С. 83-91 (1,05 п.л./0,85 п.л.)

10. Кущенко, Л.Е. Решение задачи оптимизации выбора структуры транспортного узла с учетом различных соотношений методом нечетких

множеств/ Л.Е. Кущенко, С.Н. Глаголев, С.В. Кущенко, Д.В. Одинцов// Мир транспорта и технологических машин. 2021. № 4 (75). – С. 83-89 (0,81 п.л./0,61 п.л.)

11. Кущенко, Л.Е. Статистический анализ вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на основе данных интеллектуальных транспортных систем Белгородской агломерации / Л.Е. Кущенко, Е.А. Новописный, А.Н. Новиков, А.С. Камбур // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 2 (85). – С. 222-232 (1,28 п.л./0,85 п.л.)

12. Кущенко, Л.Е. Использование интеллектуальных транспортных систем для повышения качества организации дорожного движения / Л.Е. Кущенко, Е.А. Новописный, И.А. Новиков, А.С. Камбур // Мир транспорта и технологических машин. 2022. № 2 (73). – С. 83-91 (1,05 п.л./0,85 п.л.)

13. Кущенко, Л.Е. Разработка информационной модели, предупреждающей водителя о движении по опасному участку / Л.Е. Кущенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – №4-1(79). – С. 94-102 (1,05 п.л./1,05 п.л.)

14. Кущенко, Л.Е. 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 (0,93 п.л./0,48 п.л.)

15. Кущенко, Л.Е. Прогнозирование ДТП как один из способов снижения смертности / Л.Е. Кущенко // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №2-1(81). – С. 67-73 (0,81 п.л./0,81 п.л.)

16. 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. – 2023. – №3-1(82). – С. 108-114 (0,81 п.л./0,61 п.л.)

17. 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. – №4. – С. 70-75 (0,7 п.л./0,4 п.л.)

Патенты

18. Кущенко, Л.Е. Складывающаяся искусственная неровность для принудительного снижения скорости движения автомобилей: пат. № 206112 РФ / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков, Ю.И. Бровкина; заявл. 19.04.2021; опубл. 24.08.2021.

19. Кущенко, Л.Е. Установка для измерения коэффициента сцепления заблокированного автомобильного колеса с дорожным покрытием: пат. № 210446 РФ / Л.Е. Кущенко, Д.А. Лазарев, И.А. Новиков, В.Л. Махонин, Н.А. Загородный, А.Г. Шевцова; заявл. 28.12.2021; опубл. 15.04.2022.

Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию

20. Кущенко, Л.Е. Программа прогнозирования заторовых состояний транспортного потока на участке улично-дорожной сети: свидетельство о

государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016612295 / Л.Е. Кущенко, И.А. Новиков, А.С. Солдатенков; правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; дата гос. рег.: 20.02.2016 г.

21. Кущенко, Л.Е. Программа для расчета степени сложности пересечения на улично-дорожной сети: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614883 / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, Н.С. Днистренко; правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; дата гос. рег.: 29.05.2020 г.

22. Кущенко, Л.Е. Программа расчета оптимального цикла светофорного регулирования: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020665509 / Л.Е. Кущенко, А.С. Бондарь, М.В. Головкин, А.Е. Боровской; правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; дата гос. рег.: 27.10.2020 г.

23. Кущенко, Л.Е. Программа для расчета уровня удобства дорожного движения: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616180 / Л.Е. Кущенко; правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; дата гос. рег.: 19.04.2021 г.

24. Кущенко, Л.Е. Программа статистической оценки дорожно-транспортной ситуации на основании выборочных данных количества дорожно-транспортных происшествий: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611042 / Л.Е. Кущенко; правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; дата гос. рег.: 16.01.2023 г.

25. Кущенко, Л.Е. Программа выбора оптимального решения вида транспортного узла с применением технических средств организации дорожного движения на основании нечетких множеств: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619305 / Л.Е. Кущенко; правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова; дата гос. рег.: 10.05.2023 г.

Публикации в изданиях, входящих в базы Scopus и Web of Science

26. Kushchenko, L.E. Simulation of traffic flows on the basis of fuzzy logic / L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, I.A. Novikov, A.N. Novikov, V.I. Sarbaev // International Journal of Pharmacy & Technology – 2016. – Vol. 8, Is. 4. P. 24856–24867. (0,96 п.л./0,66 п.л.)

27. Kushchenko, L.E. Traffic light regulation calculation using fuzzy inference / L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, S.N. Glagolev, I.A. Novikov // International Journal of Pharmacy and Technology. – 2016. – Vol. 8, Is. 4. – P. 24900–24907 (0,7 п.л./0,55 п.л.)

28. Kushchenko, L.E. The use of information technology to minimize traffic congestion / L.E. Kushchenko, S.V. Kushchenko, I.A. Novikov // (International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies («FarEastCon»)), 2019, 8934935 (0,7 п.л./0,5 п.л.)

29. Kushchenko, L. Improving traffic safety and accident prediction at pedestrian crossings / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Kravchenko, J. Shatova // CATPID-

2020, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Russia, Nalchik, pp. 1-6. 913 042060 (0,7 п.л./0,55 п.л.)

30. Kushchenko, L. Analysis of congestion occurrence cycles / L. Kushchenko, S. Kushchenko, I. Novikov// Transportation Research Procedia, 2020, 50, pp. 346–354 (1,01 п.л./0,7 п.л.)

31. Kushchenko, L. The Application of Wavelet Analysis to Study the Characteristics of the Traffic Flow / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov// International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020, 9271410 (0,47 п.л./0,3 п.л.)

32. Kushchenko, L. The planning and conducting transport and transport-sociological surveys for the development of a local project of the Belgorod urban agglomeration / L. Kushchenko, S. Kushchenko A. Novikov, I. Novikov // Journal of Applied Engineering Science 2021, vol. 19 (3), pp. 706-711 (0,7 п.л./0,55 п.л.)

33. Kushchenko, L. Improving traffic management through the use of intelligent transport systems / L. Kushchenko, A. Kambur, I. Novikov / MATEC Web of Conferences The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems», 2021, 00044, pp.1-7 (0,81 п.л./0,61 п.л.)

34. Kushchenko, L. The solving of optimizing the structure of a transport node problem by the fuzzy set method/ L. Kushchenko, S. Kushchenko / MATEC Web of Conferences The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems», 2021, 00020, pp.1-6 (0,7 п.л./0,5 п.л.)

35. Kushchenko L. The use of information technology «Auto –Intellect» to improve the quality of traffic management / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov, A. Kambur // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021, pp.1-5 (0,58 п.л./0,4 п.л.)

36. Kushchenko L. A System For Monitoring Traffic Parameters Using Intelligent Transport Systems / L. Kushchenko, S. Kushchenko, A. Novikov // AIP Conference Proceedings 2022, 2503, 080011 (0,7 п.л./0,5 п.л.)

37. 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, 2022, 63, pp. 868–877 (1,16 п.л./0,75 п.л.)

38. Kushchenko, L. The analyzing of personal and public transport traffic flows in Belgorod agglomeration / L. Kushchenko, S. Kushchenko, I. Novikov, A. Kambur //Journal of Applied Engineering Science pp.700-706 (0,81 п.л./0,61 п.л.)

39. Kushchenko, L.E. The statistical assessment 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, 2023, Vol. 21, No. 4, 2023 pp. 1-9 (1,05 п.л./0,65 п.л.)

Монографии

40. Кущенко, Л.Е. Моделирование транспортных потоков: монография / С.В. Кущенко, А.И. Шутов, Л.Е. Кущенко, И.А. Новиков – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – 77 с. (4,5 п.л./1,1 п.л.)
41. Кущенко, Л.Е. Вопросы управления городскими транспортными системами / И.Е. Агуреев, И.А. Новиков, В.А. Пышный, Л.Е. Кущенко, А.Г. Шевцова // Современные социально–экономические процессы: проблемы, закономерности, перспективы: монография. – Пенза, 2017. – 198 с. – С. 72–94. (1,3 п.л./0,5 п.л.)
42. Кущенко, Л.Е. Моделирование транспортных потоков на основе нечеткой логики / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков, Ю.Н. Баранов – Белгород: Изд-во БГТУ, 2018.– 86 с. (5 п.л./3,5 п.л.)
43. Кущенко, Л.Е. Особенности процесса торможения автомобиля при производстве дорожно-транспортной экспертизы / Л.Е. Кущенко, Д.А. Лазарев, И.А. Новиков, А.С. Камбур – Белгород: Изд-во БГТУ, 2023.– 86 с. (5 п.л./1,3 п.л.)

Публикации в других изданиях

44. Кущенко, Л.Е. Экологическая оценка выбросов вредных веществ на примере перекрестков города Белгорода / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, И.А. Новиков, Е.С. Мазнев // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2018. № 1. с. 29-35(0,34 п.л./ 0,12 п.л.)
45. Кущенко, Л.Е. Анализ влияния уличного освещения на ДТП / Л.Е. Кущенко, В.В. Недосекина, Д.Н. Айыдов // «Символ науки». – Уфа 2018 (7), С. 38-40 (0,17 п.л./0,5 п.л.)
46. Кущенко, Л.Е. Мероприятия, обеспечивающие безопасность движения детей на дорогах/ Л.Е. Кущенко, В.С. Добрыднева // Сб. материалов международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород 2018. – с. 41-44 (0,23 п.л./0,15 п.л.)
47. Использование фото и видео фиксации для повышения безопасности дорожного движения / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, Ю.С. Шатова // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2019. №3 с. 48-55 (0,46 п.л./0,18 п.л.)
48. Кущенко, Л.Е. Оценка состояния качества автомобильных дорог в России / Л.Е. Кущенко, А.Р. Моисеева, А.С. Колодезная // Сб. статей XI Международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии» (Самит -2019), Курск 2019. – С.231-234 (0,23 п.л./0,09 п.л.)
49. Кущенко, Л.Е. Влияние развития дорожно-транспортной инфраструктуры на ДТП / Л.Е. Кущенко, Е.В. Давыдова // Сб. IV Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи», Харьков. -2019. – С.122-125 (0,23 п.л./0,15 п.л.)

50. Кущенко, Л.Е. Влияние человеческого фактора на вероятность возникновения ДТП / Л.Е. Кущенко, Н.С. Днистренко, А.С. Колодезная // Сб. IV Міжнародної науково-практичної конференції «Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи», Харьков. – 2019. – С.38-41(0,23 п.л./0,13 п.л.)

51. Кущенко, Л.Е. Обеспечение безопасности детей на транспорте / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, Е.М. Денисова // Вестник «Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта», Донецк. – 2019. № 3. – С. 33-40 (0,46 п.л./0,25 п.л.)

52. Кущенко, Л.Е. Негативное воздействие автомобильного транспорта на экологию / Л.Е. Кущенко, Д.Н. Айыдов, Д.В. Кольшикина // «Инновационная наука». – Уфа 2019 (2), С. 36-38 (0,17 п.л./0,08 п.л.)

53. Кущенко, Л.Е. Мероприятия, повышающие БДД в зимний период / Л.Е. Кущенко, С.В. Кущенко, А.Р. Моисеева, И.А. Новиков // Сб. материалов XII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Организация и безопасность дорожного движения», Тюмень 2019, с.143-148 (0,35 п.л./0,2 п.л.)

54. Кущенко, Л.Е. Влияние профессионализма водителя на безопасность движения / Л.Е. Кущенко, Ю.С. Шатова, А.Н. Высоцкая // International Conference «Process Management and Scientific Developments», 2020.- С. 107-111 (0,23 п.л./0,09 п.л.)

55. Кущенко, Л.Е. Детский дорожно-транспортный травматизм в России и его профилактика / Л.Е. Кущенко, А.Р. Моисеева, К.М. Долженко, А.С. Колодезная // Инновационная наука». – Уфа 2020 (1), С. 18-20 (0,17 п.л./0,05 п.л.)

56. Кущенко, Л.Е. Воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду / Л.Е. Кущенко, Е.В. Давыдова, Д.В. Медведев // Материалы Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы», Тюмень, 22 октября 2020 г. – с. 227-230 (0,23 п.л./0,09 п.л.)

57. Кущенко, Л.Е. Влияние технического состояния автомобиля на безопасность дорожного движения / Л.Е. Кущенко, Е.В. Давыдова, А.А. Пехов // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Анализ проблем и поиск решений повышения результативности современных научных исследований», Оренбург, 5 декабря 2020 г. – с. 17-21 (0,23 п.л./0,09 п.л.)

58. Кущенко, Л.Е. Современное состояние качества автомобильных дорог / Л.Е. Кущенко, Е.В. Давыдова, Д.В. Одинцов, А.А. Пехов // Сб. статей XII Международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии» (Самит -2020), Курск 2020. – С.90-94 (0,29 п.л./0,09 п.л.)

59. Кущенко, Л.Е. Взаимодействие автомобильного транспорта и окружающей среды / Л.Е. Кущенко, Н.С. Днистренко // Сб. статей XII Международной научно-технической конференции «Современные

автомобильные материалы и технологии» (Самит -2020), Курск 2020. – С.106-109 (0,23 п.л./0,15 п.л.)

60. Кущенко, Л.Е. Особенности транспортного потока в условиях развития городской агломерации / Л.Е. Кущенко, Е.Д. Семенова, К.М. Долженко // Сб. статей XII Международной научно-технической конференции «Современные автомобильные материалы и технологии» (Самит -2020), Курск 2020. – С.324-327 (0,23 п.л./0,09 п.л.)

61. Кущенко, Л.Е. Влияние дорожных условий на безопасность дорожного движения / Л.Е. Кущенко, А.С. Колодезная, А.Р. Моисеева, Е.А. Новописный // XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Организация и безопасность дорожного движения», Тюмень 2020.- С. 84-89 (0,34 п.л./0,1 п.л.)

62. Кущенко, Л.Е. Влияние дорожных условий на ДТП / Л.Е. Кущенко, А.Н. Высоцкая, Д.В. Медведев, Ю.В. Шатова // XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием «Организация и безопасность дорожного движения», Тюмень 2020.- С. 50-54 (0,29 п.л./0,1 п.л.)

63. Кущенко, Л.Е. Агломерация и история ее возникновения / Л.Е. Кущенко, А.В. Клачкова, А.П. Воля // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова / Белгород, 2022, с.1-6, (0,35 п.л./0,25 п.л.)

64. 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. Камбур, К.Е. Гузнорова // XVII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств», Саратов, 2022. С.80-85 (0,29 п.л./0,15 п.л.)

65. 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 // В сборнике: Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте, сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 2022, с. 72-77 (0,34 п.л./0,1 п.л.)

Кущенко Лилия Евгеньевна

Научные основы повышения безопасности дорожного движения в городских агломерациях

усл. печ. л. 2,5

Тираж 100

Формат 60×84/16

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете
им. В.Г. Шухова

308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46.