

На правах рукописи



**Клявин Владимир Эрнстович**

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ МЕТОДОВ  
ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ СИСТЕМНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Липецк – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования  
«Липецкий государственный технический университет»

Научные консультанты:

заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор  
**Корчагин Виктор Алексеевич**;  
доктор технических наук, профессор  
**Погодаев Анатолий Кирьянович**

Официальные оппоненты:

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», директор института безопасности дорожного движения;

**Евтиков Сергей Аркадьевич**  
заслуженный работник высшей школы,  
доктор технических наук, профессор,  
**Басков Владимир Николаевич**  
доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет»,  
заведующий кафедрой «Организация перевозок и управления на транспорте»,  
проректор по воспитательной работе университета;

**Кочерга Виктор Григорьевич**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,  
профессор кафедры «Организация перевозок и дорожного движения».

Ведущая организация:

**ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова**, г. Воронеж.

Захист диссертации состоится **1 ноября 2017 года в 11:30 час.** по адресу: г. Липецк,  
ул. **Московская, д. 30, ауд. 601.** на заседании объединенного диссертационного совета Д  
999.111.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С.  
Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ  
ВО «Тульский государственный университет».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте  
(<http://oreluniver.ru>) ФГБОУ ВО Орловский государственный университет им. И.С.  
Тургенева» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 340.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2017 г. Объявление о защите диссертации и  
автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ  
ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>)  
и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации  
([www.vak.ed.gov.ru](http://www.vak.ed.gov.ru)).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, направлять в  
диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95.

Телефон для справок +79155080508. E-mail: katunin57@gmail.com

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 999.111.03

Катунин А.А.

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в своём «Докладе о состоянии безопасности дорожного движения в мире 2015» констатирует, что в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) ежегодно обрывается жизнь почти 1,25 миллиона человек. От 20 до 50 миллионов человек страдают от несмертельных травм, многие из которых приводят к инвалидности.

Безопасность дорожного движения (БДД) является одной из важных социально-экономических и демографических задач Российской Федерации. Аварийность на автомобильном транспорте наносит огромный материальный и моральный ущербы как обществу в целом, так и отдельным гражданам. Дорожно-транспортный травматизм приводит к исключению из сферы производства людей трудоспособного возраста. Гибнут или становятся инвалидами дети.

По данным, приведённым в федеральной целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах», ежегодно в Российской Федерации в результате ДТП погибают или получают ранения свыше 275 тысяч человек. На дорогах за последние 9 лет погибли 9852 ребенка в возрасте до 16 лет, травмированы 209223 ребенка. По данным ГИБДД в первом полугодии 2016 г. из 6816 смертельных случаев на дорогах России 1321 (19,4%) произошло по вине водителей в состоянии опьянения и на 3497 (51,3%) оказали сопутствующее влияние недостатки транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети (УДС).

Обеспечение БДД является составной частью задач обеспечения личной безопасности, решения демографических, социальных и экономических проблем, повышения качества жизни и содействия региональному развитию.

Темпы роста автомобилизации в стране требуют масштабного развития транспортной инфраструктуры и научно-обоснованных методов организации и системного подхода в области обеспечения БДД. Решение этой крупной научной и важной народнохозяйственной проблемы приводит к объективной необходимости иметь научно-практический фундамент для повышения уровня системной БДД, что и предопределило выбор темы, актуальность научного исследования с учетом его теоретической и практической значимости, формулировку целей, приоритетных элементов новизны.

**Степень разработанности проблемы.** Известные из научных публикаций результаты теоретико-прикладных исследований по вопросам повышения уровня БДД посвящены рассмотрению отдельных направлений и решению локальных задач и не отвечают современным общепризнанным тенденциям по снижению дорожно-транспортного травматизма и аварийности. Эта проблема изучена не полностью и не соответствует реальным потребностям общества и российской экономики.

Отсутствие теоретико-методологических положений повышения уровня системной БДД требует постановки и решения крупной научной проблемы – развитие теории и разработки комплекса организационно-технологических,

научных методов, математических моделей для обеспечения безопасного, эффективного и экологически улучшенного транспортного обслуживания.

**Цель работы** – создать научно-обоснованный теоретико-практический инструментарий для обеспечения безопасных условий движения транспортного потока, уменьшения дорожно-транспортной аварийности и загрязнения окружающей среды (ОС).

Для достижения цели **поставлены и решены следующие креативные задачи** развития теории и методологии повышения системной БДД:

- проанализировать обеспечение БДД в Российской Федерации;
- разработать теоретические и методологические положения представления объекта исследования «водитель-автомобиль-дорога-среда» (ВАДС) как подсистемы открытой социоприродоэкономической транспортной системы (СПЭТС);
- разработать теоретические и научно-методологические принципы функционирования экспертной системы безопасности дорожного движения и алгоритмы оценки риска возникновения ДТП;
- разработать теоретико-методические основы классификации участков автомобильных дорог и улиц муниципальных образований и метод определения принадлежности их к конкретной классификационной группе;
- разработать неформализованные научные подходы к реализации задач статической и динамической оценки риска возникновения ДТП на УДС и её отдельных элементах;
- разработать математические модели прогнозирования показателей аварийности;
- разработать метод определения темпов изменения количества и последствий ДТП;
- разработать метод оценки поведения водителей различных возрастных групп и социальных характеристик;
- предложить инструментарий поиска рациональных управлеченческих решений при планировании развития и реконструкции дорожной сети.

**Объект исследования** – подсистема ВАДС открытой социоприродо-экономической транспортной системы.

**Предметом исследования** являются научная методология и теоретико-практические подходы повышения уровня системной безопасности дорожного движения.

**Рабочая гипотеза** состоит в предположении, что применение разработанных теоретико-методологических положений, новых научных методов и математических моделей позволит обеспечить своевременные и эффективные управляющие решения в области БДД с минимальными издержками, направленные на снижение дорожного травматизма и уменьшение материального и экологического ущербов.

**Методология и методы исследования.** Диссертационная работа выполнена на основе проведённых научных исследований и многочисленных трудов ученых в области БДД. Методы исследований: системный анализ; макроэкономический анализ; математическая статистика и теория вероятностей;

теории принятия решений, нечётких множеств, индексов, экспертных оценок, нечёткого математического программирования.

**Научная новизна** исследования состоит из следующих теоретических и методологических положений, научных и практических методов, математических моделей оптимизации систем обеспечения условий безопасного движения, которые **выносятся на защиту**:

- теоретико-методические основы классификации участков автомобильных дорог и улиц муниципальных образований и математическая модель определения принадлежности их к конкретной классификационной группе;
- концептуальные и теоретические положения реализации задач статической и динамической оценки риска возникновения ДТП на УДС на основе теории нечетких множеств;
- математические модели прогнозирования показателей аварийности, дающие возможность разработки упреждающих управляющих решений, оценки их эффективности;
- метод определения темпов количества и последствий ДТП как индикатор срочности принятия мер, направленных на снижение аварийности;
- теоретико-прикладные методы формирования целевых аудиторий для проведения мероприятий правоприменительной практики и социального маркетинга на основе оценки поведения водителей различных возрастных групп и социальных характеристик;
- научно-методические положения создания инструментария поиска рациональных управленческих решений при планировании развития и реконструкции дорожной сети, а также при планировании правоприменительной практики и социального маркетинга на основе принципа минимизации бюджета ограниченных ресурсов, обеспечивающего достижение заданного уровня БДД;
- теоретико-методологические основы формирования принципов функционирования экспертной системы безопасности дорожного движения, определяющие создание базы данных для представления объекта исследования, алгоритмы оценки риска возникновения ДТП на основе теории нечетких множеств, формулирование правил принятия управленческих решений, оценки эффективности влияния проектных и управленческих решений на повышение уровня системной БДД.

Совокупность полученных научных результатов подтверждает значительный вклад в развитие фундаментальных исследований, теории управления и принятия решений в области организации и повышения уровня БДД.

**Теоретическая значимость работы.** Получены новые результаты в виде совокупности теоретико-методологических положений, математических моделей, научных методов, алгоритмов и программ, которые вносят существенный вклад в развитие теории и практики менеджмента по обеспечению БДД. Разработаны концептуальные научные основы и экономико-математический инструментарий экспертной системы для обеспечения

нормативного уровня системной БДД при уменьшении травматизма и социально-экономического вреда обществу.

**Практическая значимость.** Разработанные теоретический базис и научно-прикладные основы методологии и методы могут быть использованы работниками федеральных учреждений, областных управлений и городских департаментов транспорта при: формировании общероссийской, региональной и городской программ повышения БДД и снижения дорожного травматизма; решении вопросов создания интеллектуальной экспертной системы безопасности дорожного движения; обосновании выбора рационального управляющего решения и поиска путей повышения уровня БДД.

Предложенные научно-методические основы, научные подходы, методы и математические модели достаточно универсальны и могут быть использованы при оперативном решении важных задач снижения дорожного травматизма, уменьшения материального и экологического ущербов, формирования поведенческих стереотипов безопасного вождения автомобилей и повышения уровня обеспечения БДД на автомобильных дорогах.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на 15 международных научно-практических конференциях и конгрессах: «Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России» (Пенза, 2008, 2010, 2012), «Логистика промышленных регионов» (Донецк, 2010, 2012), «Транспорт-2014» (Ростов-на-Дону, 2014), «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, 2010, 2017), «Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем» (Москва, 2014), «Безопасность на дорогах ради безопасности жизни» (Санкт-Петербург, 2014, 2016), «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2015, 2017).

**Реализация результатов работы.** Значимость результатов исследования подтверждается тем фактом, что основные теоретические положения, научные результаты, математические модели и методы оптимизации использовались при разработке и решении важных проблем по 6 грантам: Минобрнауки РФ в области фундаментальных исследований: 1. «Научные основы создания ноосферологических социоприродоэкономических транспортных систем»; 2. «Информационная модель обеспечения эффективного и экологически улучшенного грузодвижения в городах»; при выполнении международных проектов: а) «Глобальная программа по БДД», научный консультант Корчагин В.А., руководитель Клявин В.Э., совместно с учеными Университета Джонса Хопкинса (США) по заданию ВОЗ; б) «Повышение эколого-экономической эффективности организации грузодвижения в г. Душанбе», выполненный совместно с Таджикским ГТУ в) «Проведение обследования по вопросам доступности и использования детских удерживающих устройств в Липецкой области», выполненный по заказу ВОЗ; г) при осуществлении Миссии ВОЗ: «Оценка БДД в Туркменистане»; при выполнении и разработке: научно-технических программ по исследованию состояния организации и БДД, научных

основ и мероприятий по снижению дорожно-транспортного травматизма в Липецкой области.

**Справки и акты о внедрении:** Всемирная организация здравоохранения в Российской Федерации; управление инновационной, промышленной политики и транспорта, управление дорог и транспорта и управление ГИБДД УМВД России по Липецкой области; управление ГИБДД УМВД России по Воронежской области; Департамент транспорта Администрации города Липецка; областное казенное учреждение «Агентство автомобильного транспорта Липецкой области»; МУП г. Воронежа «Центр организации дорожного движения»; ООО «Центр организации движения», г. Воронеж; ФГБОУ ВО «Липецкий ГТУ».

**Достоверность результатов.** Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научных положений и выводов обеспечиваются принятой методологией исследования, включающей в себя современные научные методы, системный анализ, теории нечётких множеств, индексов, корректностью разработанных математических моделей, апробацией при обсуждении результатов диссертации на международных научно-технических конференциях, использованием в практической деятельности (10 справок о внедрении), что позволило обеспечить репрезентативность, доказательность и обоснованность полученных результатов.

**Личный вклад автора** заключается в постановке и решении актуальной и крупной научно-производственной проблемы на основе разработанных: концепции исследования, идей и целей диссертационной работы; теоретико-методологических и научно-методических положений для решения всех элементов научной новизны; новых научных подходов, математических моделей на всех этапах выполнения исследования (от поиска научно-прикладных важных задач до реализации их на практике). Большая заслуга соискателя в том, что получены новые научные результаты, соответствующие национальным приоритетам инновационного научно-технологического развития России.

Основные теоретико-методологические положения и результаты диссертационного исследования в 2002 - 2017 гг. опубликованы в **67** печатных работах, в том числе **12** научных статей в **8** ведущих изданиях из Перечня ВАК, в **3** монографиях, **5** статей в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (Scopus, Web Of Science), получено 2 патента на полезную модель и 3 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ по повышению БДД, принято 2 заявки на патенты изобретений. В опубликованных работах и диссертации автору принадлежат методологические основы, научные идеи и положения, теоретические и расчётно-прикладные разработки.

Очень важно, что получены новые научные результаты, соответствующие национальным приоритетам инновационного научно-технологического развития России.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, основных результатов и выводов, 12 приложений, содержит 331 стр., 52 табл., 95 рис. Библиографический список включает 237 наименований.

## 2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрываются научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе **“Анализ современных научных исследований по повышению безопасности дорожного движения”** рассмотрены вопросы информационного обеспечения и приведен обзор опубликованных работ в области БДД.

В настоящее время многими учеными, как на Западе, так и в России в качестве фундаментального критерия экономического роста предлагается использовать устойчивость развития, под которой понимается состояние общества, при котором удовлетворение сегодняшних нормальных потребностей не уменьшает шансов будущих поколений на достойную жизнь. Несмотря на значительное количество научных работ в области обеспечения БДД, нет научных исследований по повышению уровня системной БДД.

Именно поэтому, соизмерение и согласование экономических и социоприродных потенциалов необходимо рассматривать как объект исследования. Предлагается рассматривать подсистему ВАДС как элемент СПЭТС, включающей в себя социальный, экологический и экономический компоненты и взаимодействующей с внутренней, внешней и окружающей средами.

Процесс управления сложной динамической системой требует постоянного мониторинга функционирования ее составных частей, анализа параметров ее характеристик, выработки управленческих решений, соответствующих вектору ее развития. Рассматривая систему ВАДС в данном контексте, можно констатировать, что процесс анализа аварийности и выработки мер по сокращению количества ДТП, проводимый аналитическими службами подразделений государственной инспекции безопасности дорожного движения (ГИБДД), обладающей наиболее полной и многосторонней базой данных о ДТП, на сегодняшний момент является недостаточно эффективным.

Во второй главе **“Новые научные методы повышения уровня системной безопасности дорожного движения”** определён объект исследования – СПЭТС, которая позволяет усилить первоочередную важность природоцентрического эколого-экономического сознания и мышления населения, духовной и нравственной составляющих в решении проблем социума и экономики России. Компоненты целостной СПЭТС связаны между собой потоками вещества, энергии и информации, процессами гравитационного перемещения твёрдого материала (подтверждено при эксплуатации автодорог), биогенной миграцией химических элементов. Исходя из принципов теории систем, ВАДС рассматривается как подсистема СПЭТС, включающей в себя природную среду, социально-экономическую среду, внутреннюю среду производственной деятельности и внешнюю среду. Повышение уровня БДД требует качественного улучшения функционирования целостной системы и каждого её элемента. Дано определение термина «системная безопасность дорожного движения» - это оптимальная совокупность множеств

взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов и подсистем, которая характеризуется открытостью, обменом веществом, энергией и информацией с внешней, внутренней и окружающей природной средой.

Для решения задач в сложных системах всё более эффективно используются методы искусственного интеллекта. Одним из наиболее развитых направлений искусственного интеллекта являются экспертные системы – сложные программные комплексы, позволяющие накапливать знания об определенной сфере деятельности и манипулировать знаниями для решения задач в своей предметной области.

Экспертные системы применяются для решения сложных практических задач. Их возможности предопределяют необходимость создания экспертной системы безопасности дорожного движения (ЭСБДД). Основное назначение предлагаемой ЭСБДД (рисунок 1): консультирование по узкоспециализированным вопросам при принятии решений в области БДД с целью усиления и расширения профессиональных возможностей их пользователей.



Рисунок 1 - Структура базы знаний ЭСБДД для генерации решений по повышению уровня БДД

Разработка и внедрение экспертной системы управления БДД позволит решать следующие задачи: формировать управляющие решения на всех уровнях управления БДД с учетом их особенностей и состояния; отслеживать эффективность принятых управляющих решений и при необходимости корректировать и совершенствовать их; осуществлять быстрое и повсеместное внедрение новых методов управления БДД. Использование ЭСБДД в системе управления БДД является эффективным способом достижения главной цели: уменьшения числа погибших людей, снижения дорожно-транспортного травматизма, аварийности и загрязнения ОС.

Формирование перечня мероприятий для владельцев автомобильных дорог по повышению БДД с целью выбора объектов для реализации

мероприятий с наибольшей эффективностью возможно только при проведении анализа и постоянного мониторинга. Такими объектами могут быть участки автомобильных дорог различной протяженности, муниципальные образования, районы муниципальных образований, улицы. Наибольшая концентрация аварийности характерна для муниципальных образований с развитой УДС и интенсивным движением. В качестве объекта УДС принята улица.

Для разбиения объектов на однородные группы используется кластерный анализ, который был проведён для 63 улиц г. Липецка по 8 признакам: число пострадавших в ДТП – «постр.», число нарушений правил дорожного движения (ПДД) вида 1 (ошибки маневрирования) – «гр. 1», число нарушений ПДД вида 2 (нарушение предписаний ПДД) – «гр. 2», число нарушений ПДД вида 3 (другие виды нарушений ПДД) – «гр. 3», число нарушений ПДД вида 4 (несоответствие скорости условиям движения) – «гр. 4», число нарушений вида 5 (нарушения ПДД пешеходами) – «гр. 5», количество пересечений различных видов (переходы, перекрестки, местные выезды) – «П», места притяжения (магазины, кинотеатры, места досуга и отдыха, и т.п.) – «МП».

Результаты кластерного анализа методом k-средних показали, что кластеры плохо разделяются по переменной «Нарушения ПДД вида 2» - гр. 2 (расстояния между средними значениями кластеров малы). После исключения этой переменной вновь получено чёткое разделение кластеров. Результаты повторного кластерного анализа приведены на рисунке 2.

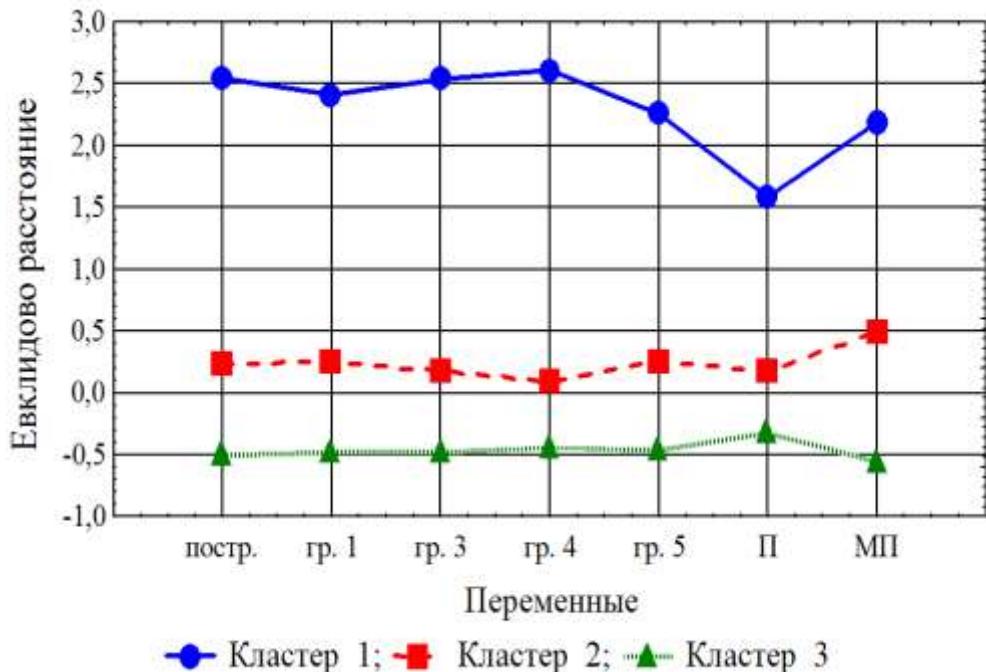


Рисунок 2 - График средних значений переменных для кластеров

Для классификации объекта на основе измерения его различных характеристик использовался дискриминантный анализ, который позволяет отнести объект к одной из нескольких групп (классов) оптимальным способом (минимум математического ожидания потерь или минимум вероятности ложной

классификации). Объекты, принадлежащие одной группе, должны иметь близкие значения дискриминантных функций.

В результате дискриминантного анализа получены функции классификации – линейные функции, которые вычисляются для каждой группы и могут быть использованы для классификации объектов

$$K_1=0,1249x_1-0,1681x_2+0,6120x_3+6,4903x_4+0,2470x_5+0,1039x_6+2,0488x_7-61,8231; \quad (1)$$

$$K_2=0,1057x_1-0,1161x_2-0,0918x_3+1,5370x_4-0,0170x_5+0,1033x_6+0,8285x_7-7,4857; \quad (2)$$

$$K_3=0,0318x_1-0,0612x_2-0,1101x_3+0,3351x_4+0,0499x_5+0,1276x_6+0,0035x_7-1,5199, \quad (3)$$

где  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  – функции классификации соответственно для 1, 2 и 3 групп объектов.

Объекты приписываются к той группе, для которой классификационная функция имеет наибольшее значение.

Разбиение объектов на однородные группы даёт возможность определять очерёдность проведения мероприятий по повышению БДД, а также разрабатывать и применять типовые решения по каждой группе объектов. Полученные классификационные функции позволяют осуществлять мониторинг изменения характеристик объектов и оперативно определять к какой группе отнести вновь определившиеся объекты.

В настоящее время для оценки БДД на автомобильной дороге используются следующие методы: метод, основанный на анализе статистических данных о ДТП; метод коэффициентов аварийности; метод коэффициентов безопасности. Методы выявления опасных участков на основе статистических данных о ДТП применяют для оценки безопасности движения на существующих дорогах при наличии достаточно полной и достоверной информации о ДТП за период не менее 3-5 лет. При отсутствии таких данных, а также для оценки проектных решений при проектировании новых и реконструкции существующих дорог используется метод коэффициентов аварийности, основанный на анализе и обобщении данных статистики ДТП. Метод коэффициентов безопасности основан на анализе графиков изменения скоростей движения по дороге. Эти методы позволяют оценить влияние на безопасность движения геометрических элементов дороги, состояния покрытия, интенсивности движения.

В отличие от представленных методов, предлагаемый метод комплексной оценки уровня обеспечения БДД на автомобильной дороге определяется степенью влияния элементов обустройства на риск возникновения ДТП, найденного с помощью экспертных оценок на основе лингвистических переменных (рисунок 3). Любой качественный показатель в этом случае представляется в виде нечёткого числа, лежащего в интервале от 0 до 1.

Для иллюстрации метода рассматривается обустройство городской улицы для обеспечения пешеходного движения через проезжую часть. Определено  $E$  видов элементов обустройства, которые должны быть оценены и проанализированы по величине рисков возникновения ДТП, связанного с наездом на пешехода. Для оценки рисков привлекаются  $m$  экспертов и вводится лингвистическая переменная для оценки рисков возникновения ДТП по видам

элементов обустройства. Чтобы составить терм-множество, задаётся совокупность  $T(x)$  значений лингвистической переменной ( $n = 7$ ):  $T(x) = \{\text{очень высокий, высокий, выше среднего, средний, ниже среднего, низкий, очень низкий}\}$ .

Чтобы построить функции принадлежности, для каждого элемента терм-множества используется нормальный закон распределения как наиболее часто встречающийся на практике и обладающий особенностью, согласно которой он является предельным законом, к которому приближаются другие законы распределения при весьма часто встречающихся типичных условиях.



Рисунок 3 - Метод комплексной оценки уровня обеспечения БДД (статический анализ)

Универсальное множество  $M(X)$  определено на интервале  $[0;1]$ , а функция принадлежности элементов терм-множества имеет вид

$$f(x) = e^{-\pi(x-a)^2}, \quad (4)$$

где  $a$  – оценка математического ожидания функции принадлежности.

Для уменьшения размытости область существования функции принадлежности ограничена интервалом  $0,5$ .

На рисунке 4 представлен график функций принадлежности значений лингвистической переменной.

Для оценки риска были выбраны восемь элементов автомобильной дороги, имеющие отношение к организации пешеходного движения: нерегулируемый

пешеходный переход, регулируемый пешеходный переход, ограждение проезжей части, разметка пешеходного перехода, островки безопасности, обеспечение видимости пешеходного перехода, расположение пешеходного перехода у автобусных остановок, наличие заездных карманов на автобусных остановках при наличии пешеходного перехода. При этом оценка риска нерегулируемого пешеходного перехода проводилась отдельно для улиц с 2, 4 и 6 полосами движения, исходя из гипотезы: увеличение числа полос увеличивает риск возникновения ДТП на нерегулируемых пешеходных переходах. Поэтому общее число элементов обустройства  $E = 10$ .

В экспертизе приняло участие  $m = 10$  экспертов: работники ГИБДД, сотрудник управления дорог и транспорта, водители, работник образования, медицинский работник, студент, домохозяйка.

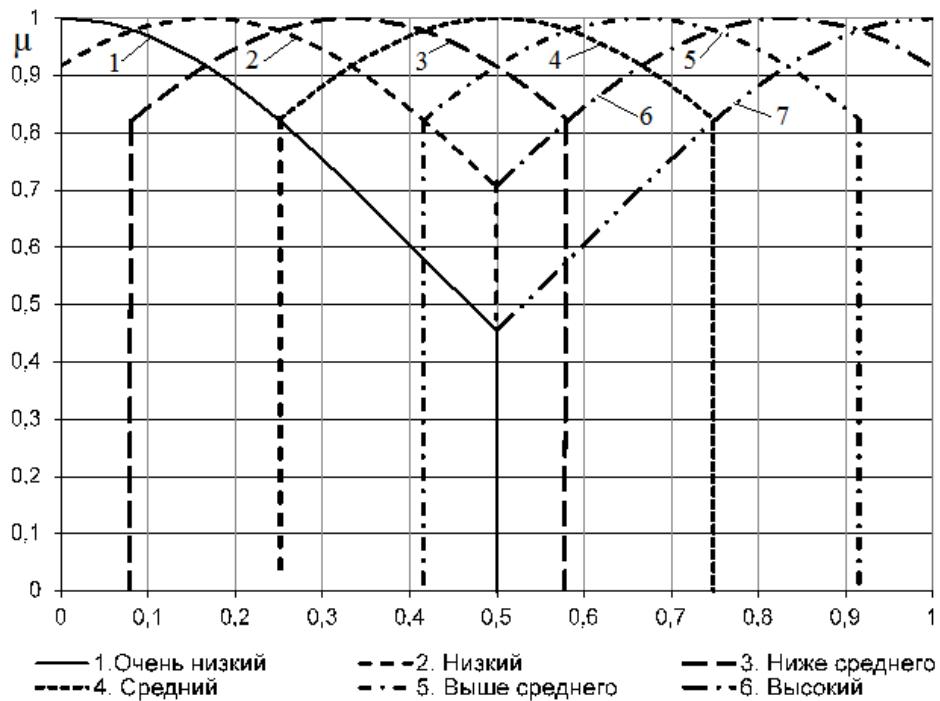


Рисунок 4 - График функций принадлежности элементов терм-множества

Оценка вида риска для  $e$ -го элемента обустройства проводилась  $j$ -м экспертом в качественной форме. Качественная оценка переводится в нечёткое число

$$r_{ej}, e = \overline{1, E}, j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Обобщение оценок риска по каждому виду элементов обустройства осуществлялось путём агрегирования оценок экспертов

$$r_e = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m r_{ej}. \quad (6)$$

В качестве объектов, для которых необходимо провести оценку уровня обеспечения безопасности пешеходного движения, было отобрано 10 улиц с наиболее высокой аварийностью. В г. Липецке - это улицы Терешковой,

Гагарина, Катукова, Космонавтов, Московская, Неделина, Советская, Студеновская, а также проспекты Победы и им. 60-летия СССР.

Для определения комплексной оценки риска возникновения ДТП необходимо оценить вес каждого элемента обустройства на каждой улице и. Однако, учитывая недостаточную информативность экспертов, провести отдельно качественную оценку веса конкретного элемента обустройства на каждой улице затруднительно. Поэтому в качестве оценки весов использованы количественные данные по элементам обустройства на каждой улице, на основе которых и определяется доля (вес) каждого вида элементов обустройства  $v_{eu}$ . Так как количественная оценка элементов обустройства имеет разную размерность, то их необходимо сгруппировать.

В группу 1 входят нерегулируемый и регулируемый пешеходные переходы. Вес риска наезда на пешехода определяется на 100 м длины улицы по формуле

$$v_{eu} = \frac{N_u}{l_u} \cdot 100, \quad e = \overline{1, 4}; \quad u = \overline{1, U} \quad (7)$$

где  $N_u$  – количество пешеходных переходов на улице  $u$ ;

$l_u$  – длина улицы  $u$ , м.

В группу 2 входит отсутствие ограждения проезжей части. Вес риска наезда на пешехода определяется по формуле

$$v_{eu} = 1 - \frac{l_{eu}}{l_u}, \quad e = 1; \quad u = \overline{1, U}, \quad (8)$$

где  $l_{eu}$  – общая длина огражденной проезжей части улицы  $u$ , м.

В группу 3 входит разметка пешеходного перехода. Вес риска наезда на пешехода определяется по формуле

$$v_{eu} = 1 - \frac{N_{pu} t_p}{12 N_u}, \quad e = 1; \quad u = \overline{1, U}, \quad (9)$$

где  $N_{pu}$  – число пешеходных переходов с разметкой на улице  $u$ ;

$t_p$  – время существования разметки на переходе, мес.

В группу 4 входят островки безопасности и отсутствие видимости на пешеходных переходах. Вес риска наезда на пешехода определяется по формулам

$$v_{eu} = 1 - \frac{N_{ou}}{2 N_u}, \quad e = 1; \quad u = \overline{1, U}; \quad (10)$$

$$v_{eu} = \frac{N_{vu}}{2 N_u}, \quad e = 2; \quad u = \overline{1, U}, \quad (11)$$

где  $N_{ou}$  – количество островков безопасности на улице  $u$ ;

$N_{vu}$  – количество входов на пешеходные переходы с нормативным расстоянием видимости на улице  $u$ .

В группу 5 входят остановки маршрутного транспорта без заездных карманов и с нарушением расположения пешеходных переходов. Вес риска наезда на пешехода определяется по формулам

$$v_{eu} = \frac{A_{\text{бку}}}{A_u}, e = 1, u = \overline{1, U}; \quad (12)$$

$$v_{eu} = \frac{A_{\text{нру}}}{A_u}, e = 2, u = \overline{1, U}, \quad (13)$$

где  $A_{\text{бку}}$  – количество остановок без заездных карманов на улице  $u$ ;

$A_u$  – общее количество остановок на улице  $u$  в обоих направлениях;

$A_{\text{нру}}$  – количество остановок с нарушением расположения пешеходных переходов на улице  $u$ .

Для выполнения условия соразмерности требуется нормировка весов. Целью нормировки является приведение количественного показателя к числу, лежащему на интервале от 0 до 1

$$\overline{v_{eu}} = \frac{v_{eu}}{v_{1u} + v_{2u} + \dots + v_{Eu}}, e = \overline{1, E}, u = \overline{1, U}, \quad (14)$$

где  $U = 10$  – число улиц.

Комплексная оценка риска наезда на пешехода на улице  $u$  определяется по формуле

$$O_u = \sum_{e=1}^E \overline{v_{eu}} r_e, u = \overline{1, U}. \quad (15)$$

Используем расстояние Хэмминга между парами функций принадлежности для определения уровня обеспечения безопасности дорожного движения. Обобщенное расстояние Хемминга дает линейную оценку расстояния между нечеткими конечными множествами  $A$  и  $B$ , заданных на одном и том же  $X$  по формуле

$$d(A, B) = |\mu_A(x_1) - \mu_B(x_1)| + \dots + |\mu_A(x_q) - \mu_B(x_q)|, \quad (16)$$

где  $q = \overline{0,21}$  – количество значений, на которое разбивается интервал универсального множества с шагом 0,05.

Наименьший уровень обеспечения безопасности дорожного движения – на улице Космонавтов, наиболее безопасной для пешеходного движения является улица Советская.

На рисунке 5 приведён алгоритм оценки уровня безопасности дорожного движения, определяемого исходя из анализа поведения водителей (динамический анализ). В основе метода – нечёткие множества и экспертные оценки.

Для определения комплексной оценки риска возникновения ДТП необходимо оценить вес конкретного нарушения на каждой улице. Провести

качественную оценку веса нарушения на каждой улице отдельно затруднительно ввиду недостаточной информативности экспертов, что может привести к низкой достоверности. Поэтому в качестве оценки весов необходимо использовать статистические данные по нарушениям ПДД, предшествующим возникновению ДТП, на основе которых определяется доля (вес) каждого вида нарушения ПДД.



Рисунок 5 - Метод комплексной оценки уровня обеспечения БДД (динамический анализ)

Применение метода к определению уровня БДД к 10 улицам г. Липецка показало: наименьший уровень – на улице Космонавтов, наиболее безопасной улицей является проспект им. 60-летия СССР.

Предлагаемый метод определения и сравнительной оценки уровня безопасности дорожного движения может применяться не только к улицам, но и к их частям, включая пересечения, территориальным районам города и к городу в целом.

Данные, необходимые для подготовительного этапа (проведение экспертизы и обработка её результатов), могут использоваться многократно. Накапливаемая в базе данных статистическая информация по нарушениям ПДД позволяет оперативно оценивать уровень безопасности дорожного движения. Предлагаемый метод даёт возможность с минимальной трудоемкостью проводить постоянный мониторинг обстановки с любой периодичностью. Результаты определения уровня БДД повышают эффективность

правоприменительной практики и социально-маркетинговых кампаний, направленных на профилактику правонарушений в области дорожного движения, значимость которых подтверждается результатами, полученными в рамках реализации международного проекта по БДД Global Road Safety Project (RS-10) в Российской Федерации в 2010-2014 гг.

В третьей главе **“Разработка математических моделей прогнозирования показателей аварийности”** представлены теоретико-прикладные положения прогнозирования, дающего возможность разработки упреждающих управляющих решений, оценки их эффективности.

В качестве индикатора, определяющего уровень необходимости предпринимать те или иные действия по снижению аварийности, целесообразно применять ситуационный анализ. Для проведения ситуационного анализа уровня БДД разработан метод определения темпов изменения количества и экономических последствий ДТП, в основе которого лежит индексный метод Фишера (рисунок 6).

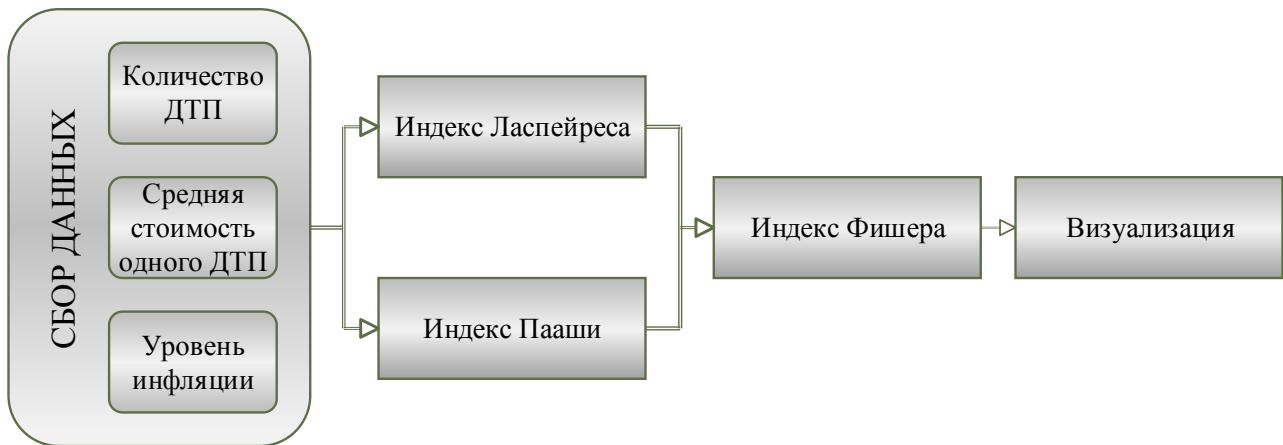


Рисунок 6 - Метод определения темпов изменения количества и экономических последствий ДТП

Индексы цены (средней стоимости одного ДТП) и объема (количества ДТП) рассчитываются соответственно по формулам

$$F_p = \sqrt{L_p P_p}; \quad (17)$$

$$F_q = \sqrt{L_q P_q}, \quad (18)$$

где  $L_p$  и  $L_q$  – соответственно индексы цены и объема Ласпейреса,

$P_p$  и  $P_q$  – соответственно индексы цены и объема Пааши.

Для анализа темпов изменения можно представить данные в виде графиков (рисунок 7), как для комплексной оценки (рисунок 7 а), так и для оценки темпов изменения каждого индекса отдельно (рисунок 7 б).

Следующим шагом после ситуационного анализа является прогнозирование показателей аварийности. Данные о таких показателях, как количество ДТП, погибших, раненых и нарушений ПДД, предшествующих возникновению ДТП имеют временную привязку и могут быть спрогнозированы. На рисунке 8

приведен график изменения количества ДТП за 5 лет по месяцам, который демонстрирует возможность использования для прогнозирования методов анализа временных рядов.

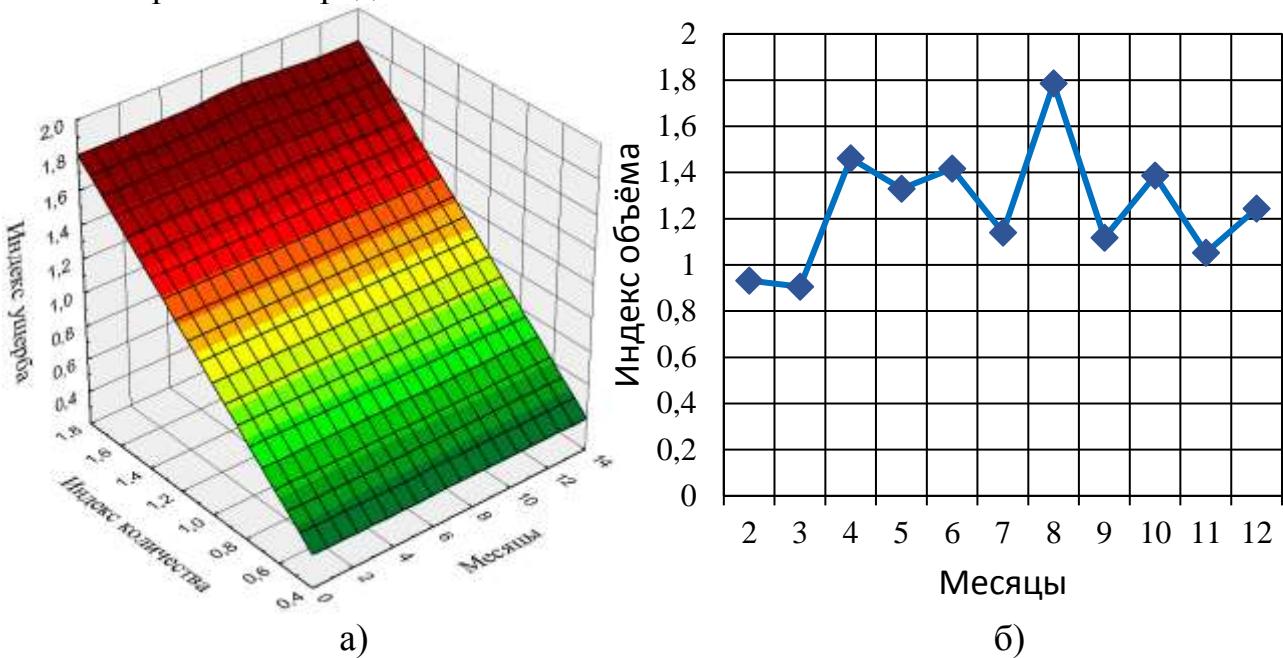


Рисунок 7 - Графики изменения индексов

- а) изменение индексов количества ДТП и ущерба по месяцам;
- б) изменение индексов количества ДТП по месяцам.

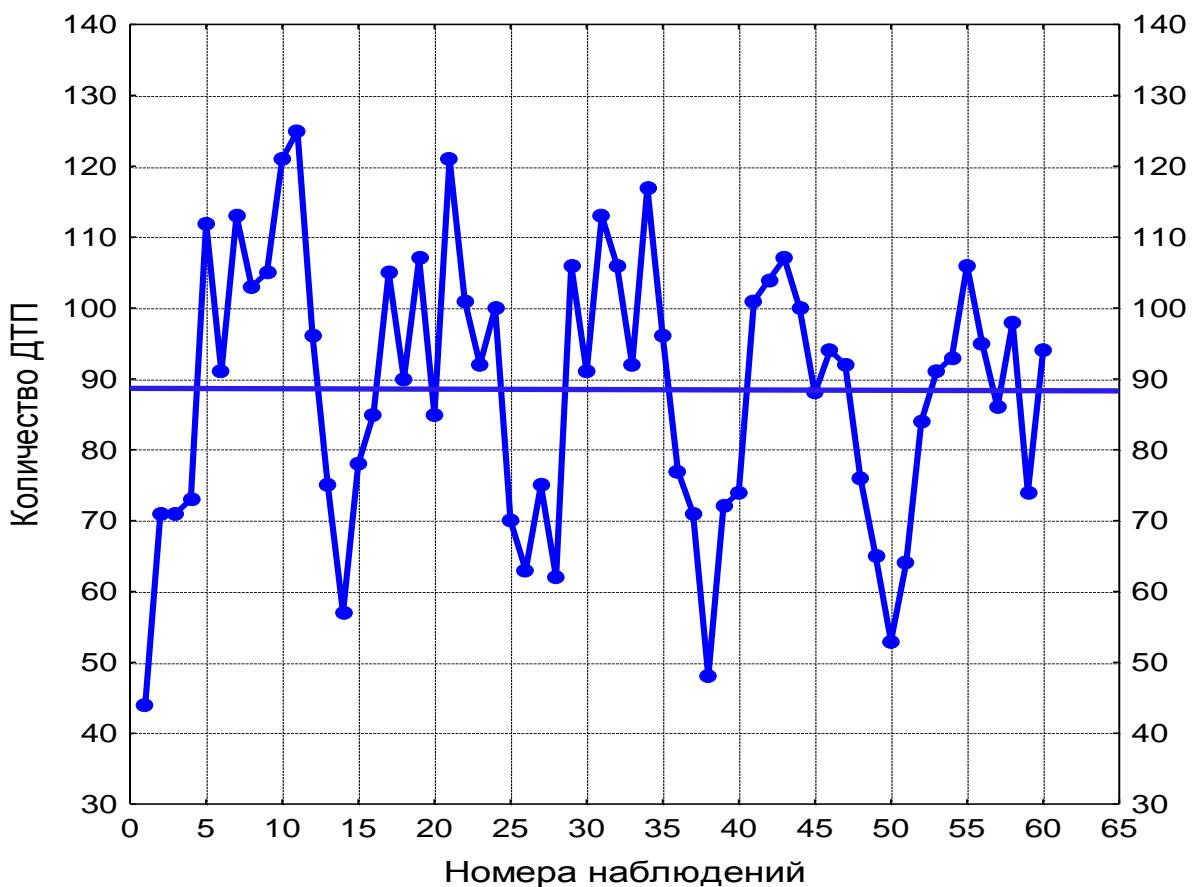


Рисунок 8 - Динамика изменения количества ДТП за 5 лет по месяцам

Основное отличие временных рядов заключается в том, что наблюдения проводятся для одного и того же показателя в последовательные моменты времени. Временные ряды характеризуются тесной связью близко расположенных значений (будущие значения, как правило, определяются в значительной степени прошлыми значениями). Эта особенность временных рядов может быть эффективно использована для решения различных задач прогнозирования будущих значений временного ряда.

Исследования показали, что для прогнозирования показателей уровня БДД наиболее эффективно использовать методы анализа временных рядов, такие как модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) и экспоненциальное сглаживание. Алгоритм выбора модели представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 - Алгоритм построения математической модели показателя аварийности

Модель АРПСС включает в себя обычные авторегрессионные члены и члены скользящего среднего, отвечающие за автокорреляции при низких интервалах, а также авторегрессионные члены и члены скользящего среднего, отвечающие за автокорреляции и частные автокорреляции при сезонных интервалах. В случае стационарного ряда обычные разности  $d=0$  и сезонные разности  $D=0$ , т.е. не применяются.

Характер поведения автокорреляционной и частной автокорреляционной функции предполагает следующие параметры АРПСС: количество обычных

авторегрессионных слагаемых  $p = 0$ , количество обычных слагаемых скользящего среднего  $q = 2$ , количество сезонных авторегрессионных слагаемых  $P = 0$ , количество слагаемых сезонного скользящего среднего  $Q = 1$ .

Модель АРПСС имеет вид

$$\text{АРПСС}(p, d, q)(P, D, Q) = \varphi + \varepsilon_t - \delta_1 \varepsilon_{t-1} - \delta_2 \varepsilon_{t-2} - \theta_1 \varepsilon_{t-12}, \quad (19)$$

где  $\varphi$  - средняя ряда;

$\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \varepsilon_{t-2}, \varepsilon_{t-12}$  – ошибка модели соответственно в момент времени  $t$ , на один шаг ранее, на два шага ранее, за предыдущий период;

$\delta_1, \delta_2$  – параметры модели авторегрессии;

$\theta$  – параметр модели скользящего среднего.

С помощью модели АРПСС получены следующие математические модели прогноза:

для общего числа ДТП

$$Y_t^{\text{ДТП}} = 87,88841 + \varepsilon_t + 0,21392 \varepsilon_{t-1} + 0,94958 \varepsilon_{t-2} + 0,21169 \varepsilon_{t-12}, \quad (20)$$

ошибка прогноза – 14,03%;

для числа погибших

$$Y_t^{\Pi} = 0,976474 Y_{t-1} + \varepsilon_t - 0,705601 \varepsilon_{t-1} \quad (21)$$

ошибка прогноза – 3,22%;

для числа раненых

$$Y_t^P = 106,1389 + 0,6544 Y_{t-1} + \varepsilon_t - 0,4696 \varepsilon_{t-1} + 0,9432 \varepsilon_{t-2} + 0,6032 \varepsilon_{t-12}, \quad (22)$$

где  $Y_{t-1}$  – предыдущее значение временного ряда, ошибка прогноза – 17,52%;

для числа нарушений ПДД вида 2

$$Y_t^{\text{гр.2}} = 31,54441 + 0,31734 Y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (23)$$

ошибка прогноза – 8,59%;

для числа нарушений ПДД вида 3

$$Y_t^{\text{гр.3}} = 17,17034 + 0,76501 Y_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (24)$$

ошибка прогноза – 6,58%.

Считается, если ошибка прогноза менее 10% - это высокая точность, если лежит в пределах от 10 до 20%, то хорошая.

Модель экспоненциального сглаживания применяется к данным, не имеющим тренда и основывается на усреднении (сглаживании) временных рядов прошлых наблюдений в нисходящем (экспоненциально) направлении, когда более поздним событиям присваивается больший вес. Для последнего наблюдения весом будет величина  $\alpha$ , для предпоследнего –  $(1 - \alpha)$ , для того, которое было перед ним, –  $(1 - \alpha)^2$  и т.д. В сглаженном виде новый прогноз (для периода времени  $t + 1$ ) можно представить как взвешенное среднее последнего наблюдения переменной в момент времени  $t$  и ее прежнего прогноза на этот же период  $t$ . Вес  $\alpha$  присваивается наблюдаемому значению, а вес  $(1 - \alpha)$  – прогнозу.

Полагается, что  $0 < \alpha < 1$ .

Таким образом, прогнозируемое значение на следующий период  $t + 1$  определяется по формуле

$$\hat{Y}_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha) \hat{Y}_t, \quad (25)$$

где  $\alpha$  – постоянная сглаживания;

$Y_t$  – наблюдаемое значение переменной в текущий момент времени  $t$ ;

$\hat{Y}_t$  – прежний сглаженный прогноз переменной на период времени  $t$ .

Экспоненциальное сглаживание – это старый прогноз, скорректированный на ошибку этого прогноза с весом  $\alpha$ .

С помощью экспоненциального сглаживания получены следующие математические модели прогноза:

для числа нарушений ПДД вида 1

$$Y_{t+1}^{\text{гр.1}} = Y_t + 0,1 \varepsilon_t; \quad (26)$$

для числа нарушений ПДД вида 5

$$Y_{t+1}^{\text{гр.1}} = Y_t + 0,9 \varepsilon_t. \quad (27)$$

Для оценки точности построенной модели прогнозирования временного ряда используется ряд показателей ошибок прогнозирования, таких как средняя ошибка, среднее абсолютное отклонение, сумма квадратов ошибки, среднеквадратическая ошибка, средняя относительная процентная ошибка, средняя абсолютная относительная ошибка. Величины ошибок говорят о достаточной точности полученных математических моделей прогнозирования.

Так как во временном ряде нарушений ПДД вида 4 прослеживаются сезонные мультипликативные колебания, необходимо применить модель Винтерса с тремя параметрами  $\alpha$ ,  $\delta$  и  $\gamma$ , которая применяется к данным, имеющим сезонно-мультипликативный тренд.

Оценка среднемесячного значения определяется по формуле

$$\hat{Y}_t = \alpha \frac{Y_t}{F_{t-L}} + (1 - \alpha)(\hat{Y}_{t-1} + b_{t-1}), \quad (28)$$

где  $Y_t$  – исходный временной ряд;

$F_{t-L}$  – коэффициент сезонности, соответствующий моменту времени  $t - L$  (разница между текущим временем и длиной сезона), его экспоненциально взвешенное среднее значение в момент времени  $t$  определяется по формуле

$$F_t = \gamma \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} + (1 - \gamma) F_{t-L}; \quad (29)$$

$b_{t-1}$  – экспоненциально взвешенная средняя оценка линейности роста

(падения), т.е. оценка тренда, определяемая по формуле для момента времени  $t$

$$b_t = \delta(Y_t - Y_{t-1}) + (1 - \delta)b_{t-1}. \quad (30)$$

Прогноз на  $\tau$  моментов времени вперед определяется по формуле

$$\hat{Y}_{t+\tau} = (Y_t + b_t \tau) F_{t-L+\tau}. \quad (31)$$

По минимуму средней абсолютной процентной ошибки значения параметров  $\alpha = 0,1$ ,  $\delta = 0,1$ ,  $\gamma = 0,1$ .

Таким образом, математическая модель для нарушений вида 4 имеет вид

$$\hat{Y}_t = 0.1 \frac{Y_t}{F_{t-L}} + 0.9(\hat{Y}_{t-1} + b_{t-1}); \quad (32)$$

$$F_t = 0.1 \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} + 0.9 F_{t-L}; \quad (34)$$

$$b_t = 0.1(Y_t - Y_{t-1}) + 0.9b_{t-1}. \quad (35)$$

Применение метода определения темпов изменения количества и экономических последствий ДТП в сочетании с математическими моделями прогнозирования показателей уровня БДД даёт возможность своевременно принимать превентивные решения, направленные на снижение аварийности.

В четвертой главе **“Научные основы формирования ответственного поведения участников дорожного движения”** основное внимание уделено проблеме формирования научного подхода к обоснованию мероприятий, направленных на повышение уровня БДД путем мотивирования участников дорожного движения изменить свое поведение.

Выполнение Липецким государственным техническим университетом части проекта Всемирной организации здравоохранения «Дорожная безопасность в 10 странах (RS-10)» и анализ полученных данных показал, что социальный маркетинг в области обеспечения БДД стал эффективным средством изучения и изменения поведения в группах риска (рисунок 10). Социальный маркетинг охватывал самую широкую аудиторию и проводился по факторам риска: использование ремней безопасности и соблюдение скоростного режима движения. Однако на практике наибольшую эффективность имеют социально-маркетинговые исследования, основанные на статистических данных, позволяющих более точно выделить группы людей со схожими особенностями поведения.

Наиболее полно поведение участников дорожного движения характеризуется видами нарушений ПДД. Такие данные содержатся в статистике, представляемой ГИБДД. Эти данные разделены на две группы. К первой относятся данные по видам и количеству, выявленным в процессе правоприменительной практики ГИБДД и не могут служить оценкой поведения участников дорожного движения, так как выявляются не случайно, а в результате запланированных мероприятий и носят целенаправленный

характер. Ко второй группе относятся нарушения ПДД, предшествующие возникновению ДТП, то есть носят случайный характер и отражают ошибки участников движения.



Рисунок 10 - Влияние мероприятий на использование ремней безопасности

Используется ранее предложенная (стр. 10) группировка видов нарушений ПДД. Выявление влияния на уровень БДД возраста водителей, совершивших ДТП, производится с использованием отчётных данных о ДТП за 2015-2016 гг. в г. Липецке.

Входной файл представлен показателями частот таблично (таблица 1): число переменных (столбцов в таблице) – 5; число наблюдений (строк в таблице) – 5.

Одна из целей анализа соответствий – представление показателей таблицы относительных частот в виде расстояний между отдельными строками (столбцами) в пространстве возможно более низкой размерности. Пять чисел в каждой строке являются координатами 5-мерного пространства и значит можно вычислить расстояния между 5 точками (строками) этого пространства. Расстояния отражают всю информацию о сходствах между строками (чем меньше расстояние, тем больше сходство). Определяются относительные частоты для исходной таблицы так, что сумма всех элементов будет равна 1 (каждый элемент делится на общее число наблюдений). Полученная нормированная таблица показывает, как распределена единичная масса по ячейкам. Сумма по строкам (столбцам) дает массу строки (столбца). Инерция определяется как статистика  $\chi^2$  Пирсона, деленная на общее количество наблюдений.

При достаточном количестве наблюдений распределение статистики хи-квадрат Пирсона приближается к распределению  $\chi^2$ , следовательно, можно вычислить приближенный  $p$ -уровень критерия. Анализ соответствий можно рассматривать как метод декомпозиции статистики  $\chi^2$  Пирсона с целью определения пространства наименьшей размерности. Чем более зависимы

строки (столбцы), тем большее значение принимает статистика Пирсона и меньше  $p$ -уровень критерия (таблица 2).

Общий  $\chi^2=68,73556$ ; общая инерция: 0,03621; число степеней свободы:  $ss=16$ ; уровень недостоверности связей:  $p=,00000$ . Зависимость между возрастом водителей и видом нарушения ПДД присутствует ( $p$ -уровень критерия равен 0,00000), и очень значимая ( $p$ -уровень меньше, чем 0,05). Она оценена общей инерцией 0,03621, что соответствует коэффициенту связи (коэффициент сопряженности)  $f = \sqrt{0,03621} = 0,16$ , не достигшему порога умеренной связи 0,30. Это соответствует достоверности связи  $1-0,00000=1$ , выше критического значения 0,95.

Таблица 1 - Абсолютные частоты нарушений ПДД водителями разных возрастных групп

Возраст водителя, год	Количество нарушений ПДД по видам				
	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5
<b>18-30</b>	72	323	140	183	7
<b>31-40</b>	79	218	108	151	4
<b>41-50</b>	33	139	44	63	2
<b>51-60</b>	25	100	40	50	5
<b>≥ 61</b>	13	56	18	15	10

Таблица 2 - Статистика  $\chi^2$  Пирсона

Возраст водителя, год	Относительное количество нарушений ПДД по видам					
	Группа1	Группа2	Группа3	Группа4	Группа5	Всего
<b>18-30</b>	1,932017	0,042037	0,297499	0,241238	1,276850	3,789640
<b>31-40</b>	2,782203	3,329994	0,216964	1,582694	2,198060	10,10992
<b>41-50</b>	0,000536	1,873990	1,179452	0,426220	1,110340	4,590540
<b>51-60</b>	0,020843	0,099044	0,007981	0,235483	0,948440	1,311790
<b>≥ 61</b>	0,000765	0,901306	0,340870	5,515512	42,17522	48,93368
<b>Всего</b>	4,736364	6,246371	2,042766	8,001147	47,70892	68,73556

Исходная информация охарактеризована двумя базисными ортогональными векторами, объясняющими пять категорий видов нарушений ПДД, совершаемых пятью возрастными группами водителей, на 82,23% - первым, на 12,89% - вторым, а в сумме на 95,12%. В таблицах координат и вкладов в инерцию приведена информация, позволяющая оценить адекватность выбора размерности пространства для решения.

Для проведения графического анализа полученных результатов разработаны научно-методические подходы. На графике отображаются точки-строки и точки-столбцы (рисунок 11). Горизонтальная ось соответствует максимальной инерции. Пересечение двух осей является центром тяжести наблюдаемых точек, соответствующим средним профилям. Если точки принадлежат одному и тому же типу, то чем меньше расстояние между ними, тем теснее связь. Для определения связи между точками разного типа (между строками и столбцами), необходимо рассматривать углы между ними с вершиной в центре тяжести.

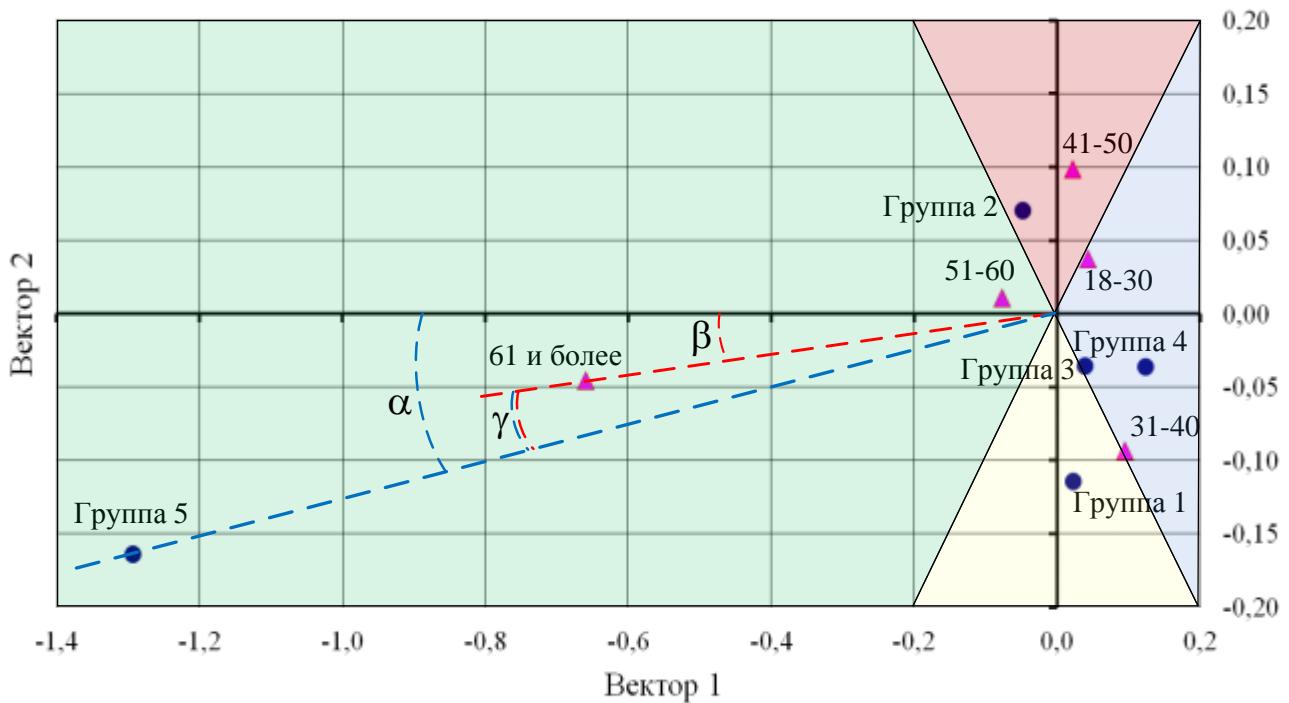


Рисунок 11 - График координат строк и столбцов

Общее правило визуальной оценки степени зависимости сформулировано следующим образом. Рассматриваются две произвольные точки разного типа. Для этого необходимо соединить их отрезками прямых с центром тяжести (точка с координатами 0,0). Если образовавшийся угол острый, то строка и столбец коррелированы положительно. Если образовавшийся угол тупой, то корреляция между переменными отрицательная. Если угол прямой, корреляция отсутствует.

Чтобы облегчить восприятие и сделать график самодостаточным, используется описанный ниже прием.

По сути, квадрат корреляции точки и оси является квадратом косинуса угла, образованного вектором точки и осью. Любой угол меньше  $45^\circ$  соответствует вектору, лежащему ниже биссектрисы, т.е. более «притянутому» к оси  $X$ . Угол больше  $45^\circ$  соответствует вектору, лежащему выше биссектрисы, т.е. более «притянутому» к оси  $Y$ . Квадрат косинуса, равный 0,5, означает, что половина

инерции данной точки принадлежит к данной оси, а оставшаяся половина инерции относится к другой оси.

Для визуализации нужно изобразить на плоскостном графике соответствий четыре биссектрисы квадрантов. Чтобы определить, какие группы видов нарушений ПДД связаны с тем или иным возрастным интервалом, необходимо руководствоваться следующим: связанными можно назвать точки, попавшие в один сектор.

Распределение точек разного типа следующее. Группы 1, 3 и 4 видов нарушений ПДД находятся в одном секторе с возрастной группой водителей 31-40 лет. Водителей в возрасте 18-30 лет и 41-50 лет объединяет группа 2 вида нарушений ПДД. Водители в возрасте 61 год и более находятся в одном секторе с группой 5. Группу водителей в возрасте 51-60 лет можно связать с группой 2 вида нарушений ПДД, так как прямые, проведённые из точки с координатами (0;0) в обозначенные точки образуют острый угол.

В результате проведённого анализа установлено, что водители: в возрасте 31-40 лет допускают ошибки маневрирования, несоответствие скорости условиям движения, другие виды нарушений; в возрасте 41-50 лет чаще всего нарушают предписания; в возрасте 61 год и более чаще других попадают в ДТП с участием пешеходов.

Использование метода в ЭСБДД вызывает необходимость наличия количественных характеристик показателей при анализе системы. В качестве количественного измерителя связи возрастных групп водителей с различными группами нарушений ПДД может быть использован коэффициент корреляции  $r$ , равный квадрату косинуса угла  $\gamma$  между прямыми, проведёнными из начала координат через сравниваемые между собой точки столбцов и строк. Угол  $\gamma$  в свою очередь определяется как разница углов  $\alpha$  и  $\beta$  (рисунок 11). Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Сформулируем правила принятия решения о необходимости проведения социально-маркетинговых исследований на основе анализа соответствий ранжированием, то есть условным делением диапазона изменения коэффициента корреляции на интервалы (таблица 4). При значениях коэффициента корреляции меньше 0 прямой зависимости между переменными нет, следовательно, в проведении социально-маркетинговых кампаний нет необходимости. По мере увеличения значений коэффициента корреляции увеличивается связь между переменными и соответственно, возрастает необходимость проведения социально-маркетинговых кампаний от возможной до обязательной.

Анализ данных табл. 3 на основе ранжирования значений коэффициентов корреляции (таблица 4) позволяет сделать следующие выводы:

- уровень необходимости «4»: водители в возрасте 31-40 лет по группам нарушений 3 и 4, и водители в возрасте от 51 года и старше по группе нарушений 5;
- уровень необходимости «3»: водители в возрасте 31-40 лет по группе нарушений 1 и водители в возрасте 41-50 лет по группе нарушений 2;
- уровень необходимости «2»: водители в возрасте 51-60 лет по группе нарушений 2;

- уровень необходимости «1»: водители в возрасте 18-30 лет по группам нарушений 2, 3 и 4, и водители в возрасте от 61 года и старше по группе нарушений 2.

Разработанные научно-методические подходы повышения уровня БДД на основе анализа соответствий позволяют решать следующие важные задачи:

- определение на научной основе связи возрастных групп участников движения с различными группами нарушений ПДД и уровня необходимости проведения социально-маркетинговых исследований для той или иной группы участников движения с целью формирования у них безопасного поведения;

- уменьшение уровня дорожно-транспортного травматизма, количества погибших людей и аварийности;

- постоянный мониторинг и принятие эффективных оперативных решений по повышению уровня БДД в России.

Таблица 3 - Коэффициент корреляции измерителя связи возрастных групп водителей с различными группами нарушений ПДД

Возраст водителя	Виды нарушений ПДД				
	группа 1	группа 2	группа 3	группа 4	группа 5
<b>18-30</b>	-0,495	0,119	0,011	0,089	-0,485
<b>31-40</b>	0,651	-0,959	0,937	0,810	-0,368
<b>41-50</b>	-0,896	0,528	-0,122	-0,025	-0,093
<b>51-60</b>	-0,092	0,451	-0,864	-0,968	0,919
<b>≥ 61</b>	-0,007	0,242	-0,680	-0,847	0,996

Таблица 4 - Ранжирование коэффициента корреляции

Уровень необходимости	Значение коэффициента корреляции $r$	Решение о проведении социально-маркетинговых исследований
«0»	$r \leq 0$	«Нет необходимости»
«1»	$0 < r \leq 0,25$	«Возможно»
«2»	$0,25 < r \leq 0,5$	«Желательно»
«3»	$0,5 < r \leq 0,75$	«Необходимо»
«4»	$r > 0,75$	«Обязательно»

В пятой главе диссертации **“Социально-экономическая оценка эффективности мероприятий по предупреждению и снижению аварийности в условиях неопределённости”** приводятся разработанные научные методы для социально-экономического обоснования принимаемых управляющих решений.

Принятие управленческих решений по повышению БДД требует предварительной социально-экономической оценки эффективности

планируемых мероприятий. Для решения этой задачи используют метод сравнительного анализа изменения числа ДТП, численности погибших, раненых и размера социального и материального ущербов за определенный период до и после внедрения мероприятий и рассчитывают средний показатель снижения числа ДТП в результате проведения мероприятий, что не позволяет осуществлять набор наиболее эффективных мероприятий по повышению БДД. Причем управляющее решение приходится принимать в условиях неопределенности, когда появляется необходимость учета влияния различных рисков. При разработке управленческих решений широкое использование находит метод сценариев, дающий возможность оценить наиболее вероятный ход развития событий и возможные последствия принимаемых решений. Сценарный подход к анализу успеха реализации мероприятия по снижению вероятности ДТП предусматривает расчет трех вариантов развития: пессимистического, оптимистического и ожидаемого. Наиболее подходящим для рассматриваемой задачи предполагается использование метода сценариев, предложенного Абтом, Фостером и Ри.

Особенностью этого метода является то, что, в первую очередь, разработка сценариев относится скорее к анализу возможного, а не вероятного будущего, что предполагает возможность коррекции. Метод предусматривает отбор только тех переменных, которые имеют непосредственное отношение к развитию анализируемой системы, а также выбор среди множества возможных сценариев, наиболее пригодных для последующего анализа. В качестве показателей оценки приняты социально-экономический эффект и приведённые затраты. Параметром, определяющим ограничение, наиболее целесообразно принять бюджет, выделяемый для реализации мероприятий.

Учитывая неопределенность, связанную с рыночной экономикой и субъективным восприятием эксперта, необходимо определить риски изменения принятых показателей. Для этого требуется ввести лингвистические переменные для оценки рисков социально-экономических показателей:  $x_1$  – оценка критериев риска. Терм-множество – число градации рисков  $T$  {высокий, средний, низкий}. В этом случае значения показателей будет представлено в виде нечеткого числа. Нечеткое число  $\mu_A(x)$  – это выпуклое нечеткое множество  $A$ , определяемое на множестве действительных чисел  $R$  с унимодальной функцией принадлежности (рисунок 12). Нечеткое число представлено в самом простом виде (треугольник). Оно может быть представлено более сложной зависимостью, что увеличит трудоемкость расчётов, но не окажет существенного влияния на точность результата.

Левая граница функции принадлежности  $a$  определяет пессимистический сценарий  $C_p$  для социально-экономической эффективности и бюджета, правая  $c$  – оптимистический  $C_o$ . Для приведённых затрат границы меняются местами. В точке  $b$  – ожидаемое значение  $C_e$ .

$\alpha$  – заданный минимальный уровень степеней принадлежности, определяющих субъективную оценку степени уверенности лица, принимающего решение, в возможности появления рисковых событий.

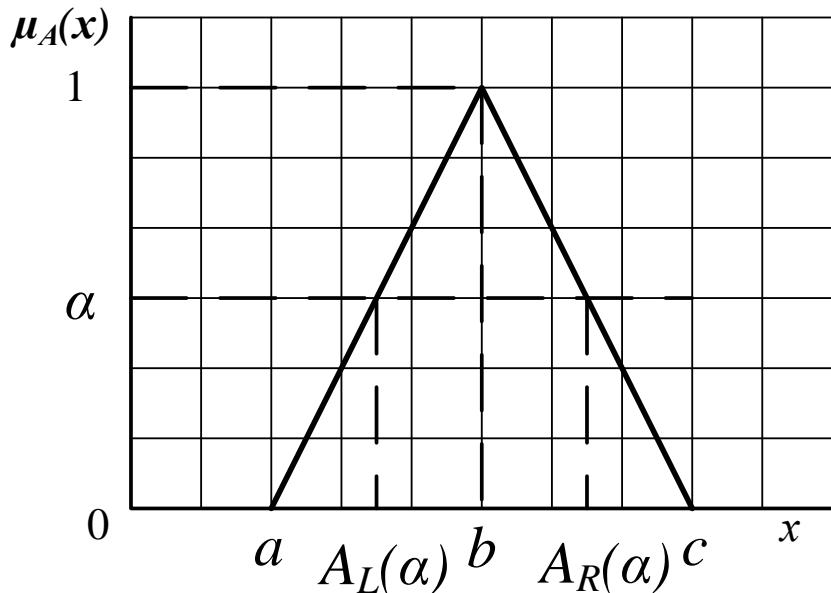


Рисунок 12 - График функций принадлежности элементов терм-множества

Множество  $\alpha$ -уровня нечеткого множества  $A$ , обозначаемое  $A_\alpha$  – это та часть его носителя, для элементов которой степень принадлежности данному нечеткому множеству не меньше  $\alpha$ .

Множеством  $\alpha$ -уровня ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) является интервал  $[A_L(\alpha), A_R(\alpha)]$ .

Левая граница интервала:  $A_L(\alpha) = a + (b - a)\alpha$  – расстояние между левой границей и 0. Правая граница интервала:  $A_R(\alpha) = c - (c - b)\alpha$  – расстояние между правой границей и 0.

Формальная постановка задачи следующая.

Имеется  $P$  показателей, которые должны быть оценены и проанализированы по величине рисков по  $n$  критериям (рисунок 13). Для оценки рисков и весов привлекаются  $m$  экспертов. Оценка критерия  $i$  и его веса осуществляется экспертом  $j$  в качественной форме, отображаемой в нечеткое число.

Для линейной оценки расстояния между нечеткими конечными множествами используется обобщенное расстояние Хемминга.

Определение расстояния между нечетким числом и нечеткими множествами, составляющими совокупность термов, позволяет преобразовать нечеткие числа в лингвистические переменные. Тот терм, для которого расстояние будет минимальным, определяет лингвистическую оценку риска, которая используется для коррекции функции принадлежности, определяющей область существования показателя. Чем выше уровень риска негативного изменения параметра, тем больше значение  $\mu_A(x)$ . При  $\mu_A(x) \Rightarrow 1$  величина  $C_e$  должна смещаться к величине  $C_p$ .

Величина смещения  $C_{ec}$  вычисляется с помощью линейной интерполяции: для эффекта и бюджета по формуле

$$C_{ec} = C_e - (\tau - 1) \frac{C_e - C_p}{T-1}; \quad (36)$$

для затрат (стоимости) – по формуле

$$C_{ec} = C_e - (\tau - 1) \frac{C_p - C_e}{T-1}, \quad (37)$$

где  $\tau$  – лингвистическая оценка риска (0 – «низкий», 1 – «средний», 2 – «высокий»);

$T$  – число градаций риска ( $T = 3$ ).



Рисунок 13 - Показатели и параметры экономической оценки и критерии риска

Для выработки управляющего решения необходимо решить задачу нечёткого линейного программирования (рисунок 14)

$$C_\alpha(X) = \sum_{i=1}^m e_i x_i \rightarrow \max \quad (38)$$

при условии

$$\sum_{i=1}^m s_i x_i \leq B, \quad (39)$$

где  $C_\alpha(X)$  – нечеткий эффект от реализации комплекса мероприятий на уровне  $\alpha$  ( $x_i = 0$ , если мероприятие не реализуется,  $x_i = 1$ , если мероприятие реализуется);

$m$  – количество объектов, на которых предполагается реализовывать мероприятия по повышению БДД;

$e_i$  – нечеткая социально-экономическая эффективность от реализации мероприятий на  $i$ -ом объекте;

$s_i$  – нечеткие приведенные затраты на реализацию мероприятий на  $i$ -ом объекте;

$B$  – нечеткий бюджет, выделяемый на реализацию всех мероприятий.

Операция « $\leq$ » понимается в нечетком смысле. Символ  $\sim \triangleright$  означает, что среди всех векторов  $X$  необходимо найти такой вектор  $X^0$ , для которого  $C_\alpha(X^0) \geq C_\alpha(X)$  в соответствии с нечеткой операцией «больше или равно на уровне  $\alpha$ ».

В качестве примера использованы данные по организации дорожного движения и аварийности на улице Гагарина, являющейся одной из наиболее аварийных улиц г. Липецка. Выделены 11 объектов концентрации дорожно-транспортных происшествий, для которых определён комплекс необходимых мероприятий по повышению БДД из следующего перечня: заездной карман на остановке маршрутного транспорта (объекты 1, 3, 5, 7-11), регулируемый пешеходный переход (объекты 2, 4, 6, 7, 9, 10), островок безопасности (объекты 4, 9, 10), пешеходное ограждение (объекты 2-10) (см. таблицу 5).

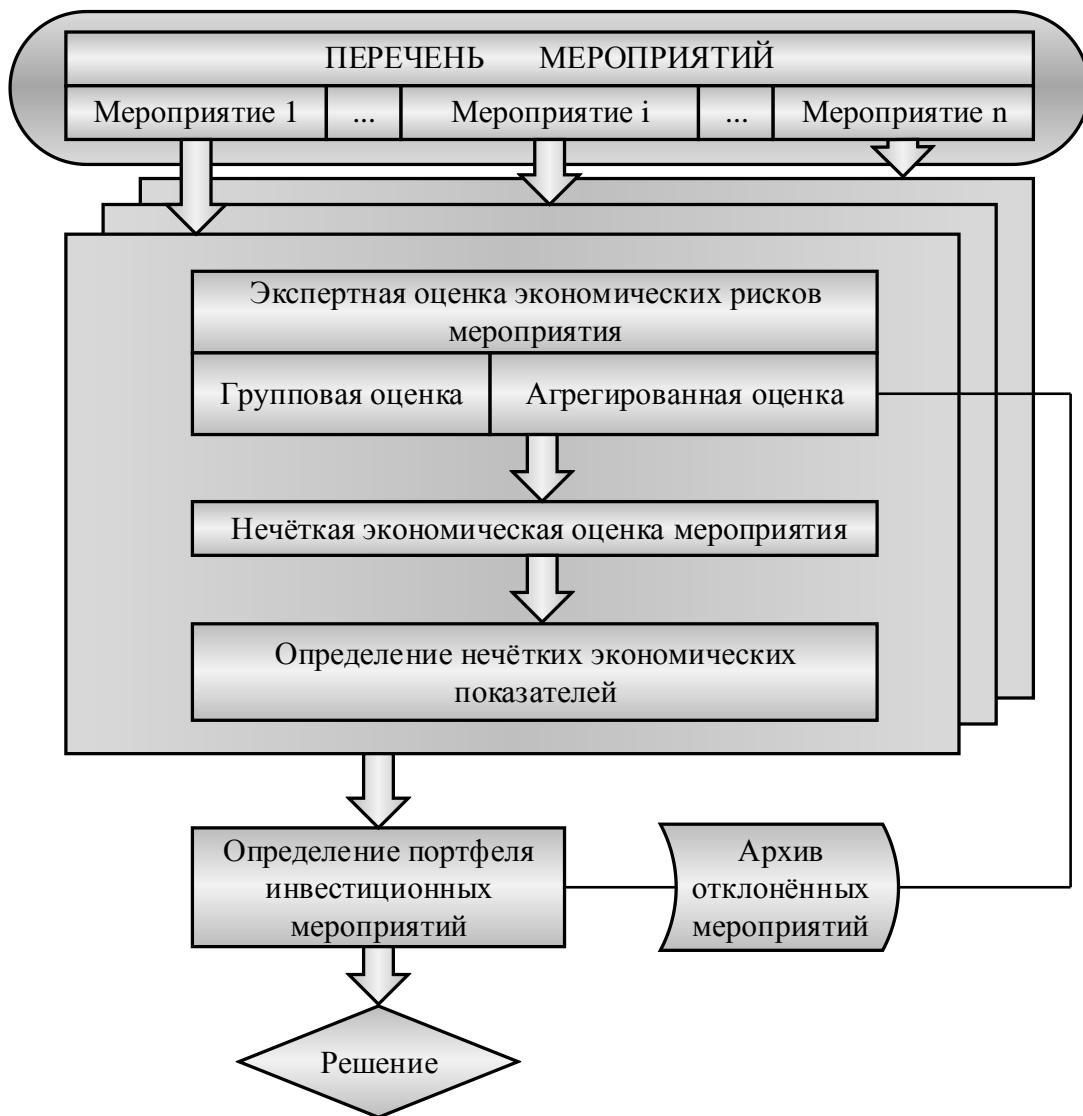


Рисунок 14 - Алгоритм решения задачи выработки управляющего решения

Приведенные затраты на реализацию мероприятий рекомендованы специалистами Управления дорог и транспорта Липецкой области, ущерб от пострадавших рассчитывался по данным исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», ущерб от

механических повреждений транспортных средств – исходя из средних выплат по ОСАГО. Показатель социально-экономический эффект от реализации мероприятий рассчитывался как предотвращённый ущерб в зависимости от варианта развития: 100% - оптимистический, 75% - ожидаемый, 50% - пессимистический.

Задача нечёткого линейного программирования решалась с помощью надстройки **Microsoft Excel «Поиск решения»**. Для этого был сделан переход от «размытой» постановки задачи к чёткой с помощью продукции правил «если-то», определяемых лицом, принимающим решение. Если допускается реализация мероприятия не в полном объеме, то можно заменить требование целочисленности решения более мягким требованием  $0 \leq x_i \leq 1$ .

Таблица 5 - Исходные данные для решения задачи нечёткого линейного программирования

Номер объекта	Приведенные затраты на реализацию мероприятий, млн. руб.			Ущерб, млн. руб.	Социально-экономический эффект от реализации мероприятий, млн. руб.		
	Оптими-стич.	Ожида-емый	Песси-мистич.		Оптими-стич.	Ожида-емый	Песси-мистич.
1	0,60	0,80	1,00	2,4850	2,485060	1,863795	1,242530
2	1,20	1,80	2,40	10,215	10,21593	7,661945	5,107963
3	0,80	1,10	1,40	1,6793	1,679309	1,259482	0,839655
4	1,12	1,68	2,24	1,2348	1,234836	0,926127	0,617418
5	0,80	1,10	1,40	0,6940	0,694062	0,520546	0,347031
6	1,30	1,95	2,60	1,1932	1,193238	0,894928	0,596619
7	2,00	2,90	3,80	3,1845	3,184532	2,388399	1,592266
8	0,70	0,95	1,20	2,4981	2,498165	1,873624	1,249082
9	2,82	4,03	5,24	1,4713	1,471319	1,103489	0,735660
10	2,52	3,58	4,64	9,1605	9,160587	6,870440	4,580294
11	0,70	0,95	1,20	10,596	10,59572	7,946789	5,297859

В качестве примера используется правило «*Если: риск снижения эффекта высокий – Тогда: использовать правую границу нечеткого множества*». Приведено решение задачи для уровня  $\alpha = 0,9$  (рисунок 15).

Анализ результатов расчёта показал, что при затратах, соответствующих ожидаемому значению бюджета (9,1 млн. руб.), реализация всего комплекса мероприятий возможна на объектах 1, 2, 8, 11. На объекте 10 реализация комплекса мероприятий осуществляется на 71,1%.

Для объективной оценки принятия решения рекомендуется использовать интегральный показатель – величина социально-экономического эффекта, полученная на 1 руб. приведенных затрат:

$$I_P = \mathcal{E}_\alpha / S_{np}, \quad (40)$$

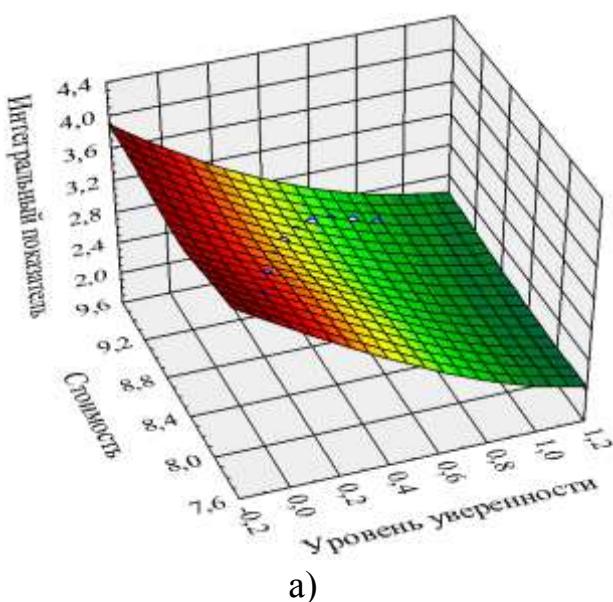
где  $\mathcal{E}_\alpha$  – социально-экономический эффект;

$S_{np}$  – приведенные затраты на реализацию мероприятий на уровне  $\alpha$ , руб.

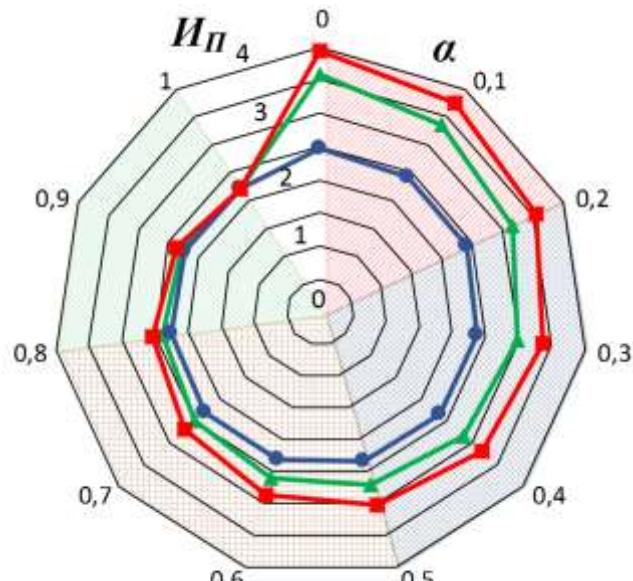
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M									
1																						
2																						
3		Задача линейного программирования																				
4		Номера объектов																				
5		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11										
6		Эффекты от реализации проектов (правые границы)																				
7		1,553163	6,384954	1,049568	0,771772	0,433788	0,745773	1,990332	1,561353	0,919574	5,725367	6,622324										
8		Решение задачи																				
9		1	1	0	0	0	0	1	0	0,803975	1											
10		Затраты на реализацию проектов																				
11		0,96	2,28	1,34	2,128	1,34	2,47	3,62	1,15	4,998	4,428	1,15										
12																						
13																						
14																						
15		Суммарные затраты			Бюджет			Целевая ячейка														
16		9,1			9,1			20,72484														
17																						
18																						

Рисунок 15 - Решение задачи с помощью надстройки Microsoft Excel «Поиск решения»

Интегральный показатель рассчитывается для каждого уровня  $\alpha$ . Полученные данные для дальнейшего анализа представляются в виде графиков (рисунок 16). На графике, отображающем зависимость интегрального показателя от  $\alpha$ -уровня (рисунок 16, б), выделены области, соответствующие ранжированию степени уверенности или информированности лица, принимающего решение, в экономических рисках при реализации мероприятий:  $0 < \alpha \leq 0,2$  – «не уверен»;  $0,2 < \alpha \leq 0,5$  – «слабо уверен»;  $0,5 < \alpha \leq 0,8$  – «недостаточно уверен»;  $0,8 < \alpha \leq 1$  – «уверен».



а)



б)

Рисунок 16. Визуализация данных для оценки и принятия решения

а) связь между уровнем уверенности, стоимостью и интегральным показателем;  
б) зависимость интегрального показателя от  $\alpha$ -уровня.

— пессимистичный; — ожидаемый; — оптимистичный.

В зависимости от степени уверенности «размытость» значений интегрального показателя  $I_{\text{пп}}$  может изменяться в широких пределах. Так, например, при уровне  $\alpha = 0,1$  значения лежат в пределах от 1,41 до 4,46, а при уровне  $\alpha = 0,9$  – находятся в диапазоне от 2,12 до 2,40. Создание базы данных, аккумулирующей результаты реализованных мероприятий, позволит существенно повысить значимость и точность социально-экономической оценки.

Формирование региональных целевых программ по повышению уровня БДД и снижению аварийности, выбор соответствующих мероприятий в условиях ограниченного бюджета является задачей, требующей научного подхода, обеспечивающего обоснованность принимаемых решений. Для решения этой задачи разработан метод оценки инвестиционной привлекательности реализации мероприятий по БДД, алгоритм которого представлен на рисунке 17.



Рисунок 17 - Алгоритм метода оценки инвестиционной привлекательности реализации мероприятий по БДД

Метод оценки инвестиционной привлекательности реализации мероприятий по БДД базируется на теории нечёткой логики и приведён на примере повышения безопасности пешеходного движения. В качестве оценочных параметров приняты инвестиционные затраты, социально-экономический эффект и удобство реализации (возможность сохранения движения при реализации мероприятия).

Определение условий выбора мероприятий осуществляется лицом, принимающим решение. Для этого необходимо разработать соответствующие производственные правила «если-то», которые должны учитывать все варианты возможных решений, и определить их совместимость с мероприятиями.

Разработанный научно-прикладной инструментарий социально-экономической оценки и отбора наиболее эффективного комплекса мероприятий по повышению безопасности дорожного движения в условиях неопределенности согласуется с методологией ЭСБДД, но может быть использован самостоятельно. Применение полученных научных результатов обеспечивает возможность качественной оценки мероприятий по безопасности дорожного движения, главная цель которых – спасение человеческих жизней и снижение дорожно-транспортного травматизма. Разработанные научно-практические методы могут применяться к любому типу автомобильных дорог и улично-дорожной сети муниципальных образований.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Квалификация работы.** Осознание автором целостного совместимого функционирования производственных систем и окружающей природной среды позволило разработать теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение, направленное на решение теоретико-прикладной проблемы повышения эффективности, системной безопасности и экологичности транспортных потоков, имеющего важное хозяйственное значение для развития автомобильного транспорта и экономики России. Область исследования диссертации и креативные разработки по всем элементам ее научной новизны соответствуют национальным приоритетам научно-технологического развития России и паспорту научной специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» (п. 5 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и п. 7 «Исследования в области безопасности движения с учётом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы»).

#### Основные результаты и выводы:

1. На основе разработанных теоретико-методологических и научно-методических положений, научных методов, моделей, экспериментальных исследований и управленческих предложений инновационной направленности решена крупная научная проблема – созданы научно-методологические и практические методы организации безопасного, эффективного и биосферно-совместимого дорожного движения. Внедрение результатов обеспечит значительный вклад в развитие экономики страны и улучшение качества окружающей среды за счет повышения уровня системной безопасности автомобильного транспорта, что подтверждает народнохозяйственную значимость полученных результатов.

2. Разработаны теоретические и методологические принципы функционирования ЭСБДД, включающие формирование базы данных для представления объекта исследования ВАДС, как подсистемы открытой СПЭТС и теоретико-практические методы для планирования и принятия управлеченческих решений по повышению уровня системной БДД на основе эволюционирующей базы знаний.

3. Применение современных математических методов и программного обеспечения позволило разработать новые теоретико-методические подходы к классификации участков автомобильных дорог и улиц муниципальных образований и математическую модель для определения принадлежности их к конкретной классификационной группе для решения практических задач, обеспечивающих повышение эффективности, экологической и дорожной безопасности эксплуатации автомобильного транспорта. Впервые для классификации одновременно использовались переменные, характеризующие аварийность, поведение участников дорожного движения и сложность объектов. Полученные зависимости показали чёткое разделение по всем переменным. По результатам анализа улично-дорожной сети г. Липецка выделено 3 классификационные группы: в наиболее проблемную группу вошли 6 улиц, 18 улиц определили классификационную группу с меньшими проблемами, 39 улиц составили наименее проблемную группу.

4. На основе теории нечётких множеств и экспертных оценок впервые разработана новая научная концепция комплексной оценки уровня обеспечения БДД, определяемой степенью влияния элементов обустройства дорожной инфраструктуры, позволяющей выполнять статический анализ оценки риска возникновения ДТП на УДС и её отдельных элементах. Выполнено ранжирование объектов дорожной инфраструктуры по уровню влияния на риск возникновения ДТП. Наиболее опасным признан нерегулируемый пешеходный переход. Предлагаемый метод позволяет повысить уровень БДД на автомобильной дороге при проектировании и реконструкции.

5. Разработанные методология и научно-методические подходы к комплексной оценке причин аварийности на городских улицах (динамический анализ) позволяют эффективно организовать и управлять процессами взаимодействия участников дорожного движения посредством своевременной и эффективной правоприменительной практики, и социально-маркетинговой политики. В качестве объектов, для которых проведена оценка уровня безопасности дорожного движения, было выбрано 10 улиц г. Липецка с наиболее высокой аварийностью. Наиболее опасной является улица Космонавтов. Выработан механизм обработки статистической информации по нарушениям ПДД, что даёт возможность оперативно оценивать уровень БДД на улично-дорожной сети. Предлагаемый метод позволяет с минимальной трудоемкостью проводить постоянный мониторинг обстановки с любой периодичностью.

6. Предложенный алгоритм и полученные на его основе математические динамические модели прогнозирования количества ДТП и числа пострадавших в них (модели авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего и

экспоненциальное сглаживание), дали возможность разработать упреждающие управляющие решения, направленные на предотвращение аварийности, и оценить их эффективность. Разработанный метод определения темпов изменения количества и экономических последствий ДТП обеспечивает ретроспективный анализ для оценки относительной величины динамики аварийности и является трекинг-сигналом срочности принятия мер по снижению уровня дорожно-транспортной аварийности.

7. Разработанные научно-методические подходы повышения уровня БДД позволяют осуществить выявление на научной основе связи возрастных групп участников дорожного движения, а также их социальные характеристики (пол, образование и др.), с различными видами нарушений ПДД, что даёт возможность определить уровень необходимости проведения социально-маркетинговых исследований и мероприятий для той или иной группы участников движения с целью формирования у них безопасного поведения, направленного на уменьшение дорожно-транспортного травматизма, аварийности и количества погибших людей. Полученные зависимости показали, что причиной возникновения ДТП по вине водителей в возрасте 51 год и старше является движение со скоростью, не соответствующей условиям движения или превышение скорости.

8. На основе метода сценариев, нечёткого линейного программирования, продукционных правил разработан научно-прикладной инструментарий социально-экономической оценки и отбора наиболее эффективного комплекса мероприятий по повышению уровня БДД. Применение полученных научных результатов, главная цель которых – спасение человеческих жизней и снижение дорожно-транспортного травматизма, обеспечивает возможность качественной социально-экономической оценки комплекса мероприятий по повышению БДД, когда управляющее решение приходится принимать в условиях неопределенности и появляется необходимость учета влияния различных рисков. Анализ результатов расчёта показал, что при затратах, соответствующих ожидаемому значению бюджета, реализация всего комплекса мероприятий возможна на 4 объектах УДС г. Липецка из 11 выделенных. Ещё на одном объекте реализация комплекса мероприятий осуществляется на 71,1%.

9. Применение научно-прикладного инструментария социально-экономической оценки и отбора наиболее эффективных мероприятий и комплексов мероприятий по повышению БДД на УДС муниципального образования послужило основой формирования и социально-экономического обоснования приоритетных мероприятий муниципальной целевой программы повышения уровня системной БДД.

10. Совокупность полученных новых научных результатов и выводов, разработанных 8 научных методов, 9 математических моделей и концепция экспертной системы безопасности дорожного движения позволили создать научно-обоснованный теоретико-практический инструментарий, который прошел апробацию для: повышения уровня системной безопасности эксплуатации автомобильного транспорта; уменьшения затрат на перевозки и

приведенной массы выбросов вредных веществ автомобилями в окружающую среду; снижения уровня дорожно-транспортного травматизма в Липецкой области опережающими по сравнению с общими по России темпами. Так, за период с 2010 г. по 2015 г., количество ДТП в Липецкой области снизилось на 21,88%, число погибших уменьшилось на 23,43%, раненых - на 24,36%, в то время, как в среднем по России снижение произошло соответственно на 9,96%, 15,05% и 10,03%.

Видится перспективным развитие исследований в области использования разработанных теоретико-методологических положений и научных методов, имеющих универсальный характер, для решения важных задач БДД.

**Основные положения диссертации и полученные результаты опубликованы:**

**Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов  
для опубликования основных научных результатов диссертаций**

1. Клявин, В.Э. Анализ и классификация регулируемых магистральных перекрестков / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.А. Суворов, Д.А. Кадасев // Автотранспортное предприятие. 2007. № 3. С. 26-28.
2. Клявин, В.Э. Прогнозирование количества ДТП в г. Липецке с помощью методов экспоненциального сглаживания и ARIMA / В.А. Корчагин, Е.В. Кузнецова, В.Э. Клявин, М.А. Зеленцов // Автотранспортное предприятие. 2009. № 5. С. 23-26.
3. Клявин, В.Э. Разработка классификатора ДТП на основе построения искусственных нейронных сетей / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.А. Суворов, М.А. Зеленцов // Мир транспорта и технологических машин. 2009. № 4/27. С. 42-46.
4. Клявин, В.Э. Эффективность мероприятий по освещению проезжей части / В.Э. Клявин, М.В. Зеленцов // Мир транспорта и технологических машин. 2010. № 1(28). С. 66-69.
5. Клявин, В.Э. Классификация наземных пешеходных переходов / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Вестник ИГТУ, Иркутск. 2012. №1. С. 103-108.
6. Клявин, В.Э. 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, М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2015. № 6. С. 251-256.
7. Клявин, В.Э. Метод комплексной оценки уровня безопасности дорожного движения на дорожной сети / В.А. Корчагин, А.К. Погодаев, В.Э. Клявин, В.А. Суворов // Вестник МАДИ. 2016. № 2 (45). С.88-94.
8. Клявин, В.Э. Научно-практический метод повышения уровня безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин, А.К. Погодаев, В.Э. Клявин, В.А. Суворов // Автотранспортное предприятие. 2016. № 11. С. 19-22.
9. Клявин, В.Э. Метод объективной оценки уровня обеспечения безопасности движения / В.А. Корчагин, А.К. Погодаев, В.Э. Клявин, В.А. Суворов // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 1. С. 10-12.
10. Клявин, В.Э. Классификация городских улиц и дорог на основе характеристик безопасности дорожного движения / Корчагин В.А., Клявин В.Э., Суворов В.А. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутск, ИГУПС. 2017. № 2 (54). С. 142-149.
11. Клявин В.Э. Модели прогнозирования показателей уровня безопасности дорожного движения / Корчагин В.А., В.Э. Клявин, Суворов В.А. // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 2. С. 18-22.
12. Клявин В.Э. Индексный анализ как индикатор дорожно-транспортной аварийности / Корчагин В.А., В.Э. Клявин, Суворов В.А. // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2017. № 2. С. 47-53.

### **Монографии**

13. Kliavin, V.E. Practical steps in enhancing road safety Lessons from the Road safety in 10 countries project (RS 10) 2010–2014 in the Russian Federation / E. Yurasova, D. Sethi, M. Peden, V. Klyavin et al. // WHO Regional Office for Europe. 2015. 64 p.

14. Клявин В.Э. Актуальные социально-экономические аспекты управления: государство, регион, предприятие: монография / [Л. П. Вовк, Е. П. Мельникова, В.Э. Клявин и др.]; под ред. Е. П. Мельниковой. – СПб: Свое издательство, 2017. – 294 с.

15. Клявин В.Э. Новые методы обеспечения системной безопасности дорожного движения: Монография / В.А. Корчагин, А.К. Погодаев, В.Э. Клявин, В.А. Суворов // Липецк: Липецкий полиграфический центр. - 2017. - 171 с.

### **Публикации в изданиях, индексируемых международной системой цитирования (Scopus, Web Of Sciens)**

16. Kliavin, V.E. Seat belt and child seat use in lipetskaya oblast, russia: frequencies, attitudes, and perceptions / S. Ma, A.A. Hyder, N. Tran, F. Zambon, V.E. Klyavin, K.W. Hatcher, A. B. Petruhin, E.S. Slyunkina, F. Zambon // Traffic Injury Prevention. 2012. T. 13. № 1. pp. 76-81.

17. Kliavin, V. E. Activities of the Bloomberg Philanthropies Global Road Safety Programme (formerly RS10) in Russia: promising results from a sub-national project / E.A. Gritsenko , He Huan, A.A Hyder, V.E. Klyavin // Injury-international journal of the care of the injured. 2013. № 1. T. 44. pp. 64-69.

18. Kliavin, V.E. Rapid assessment of road safety policy change: relaxation of the national speed enforcement law in russia leads to large increases in the prevalence of speeding / K. Bhalla, N. Paichadze, S. Gupta, D. Bishai, A.A. Hyder, V. E. Kliavin, E. Gritsenko // Injury Prevention. 2015. T. 21. № 1. pp. 53-56.

19. Kliavin, V.E. Scientific Basis of the Expert System of Road Safety / Viktor Korchagin, Anatoly Pogodaev, Vladimir Kliavin, Vitali Sitnikov // Transportation Research Procedia. 2017. № 20 pp. 321 – 325.

20. Kliavin, V.E. Evaluation of the five-year Bloomberg Philanthropies Global Road Safety Program in the Russian Federation / S. Gupta, N. Paichadze, E. Gritsenko, V. E. Klyavin, E. Yurasova, A.A. Hyder // Public health. 2017. № 144. pp. 5-14.

### **Патенты**

21. Клявин, В.Э. Ограждение дорожное разделительное. Патент на полезную модель RUS 62122 04.12.2006.

22. Клявин, В.Э. Ограждение пешеходное. Патент на полезную модель RUS 63814 04.12.2006.

23. Клявин, В.Э. Автопоезд. Патент на изобретение. Заявка № 2017102843/11(004960) / В.А. Корчагин, Е.В. Сливинский, С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.А. Коновалова.

24. Клявин, В.Э. Большегрузный автопоезд. Патент на изобретение. Заявка № 2017102841/11(004957) / В.А. Корчагин, Е.В. Сливинский, С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.А. Коновалова.

### **Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию**

25. Клявин В.Э. Автоматизированное рабочее место инспектора ДПС. Свид. о гос. регистр. прог. для ЭВМ № 2015611027 / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Зарег. 22.01.2015 г.

26. Клявин В.Э. Автоматизированное рабочее место аналитика ДТП. Свид. о гос. регистр. прог. для ЭВМ № 2015611028 / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Зарег. 22.01.2015 г.

27. Клявин В.Э. Расчёт оптимального распределения средств на повышение безопасности пешеходных переходов. Свид. о гос. регистр. прог. для ЭВМ № 2015615911 / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Зарег. 7.04.2015 г.

### **Публикации, входящие в издания, индексируемые в РИНЦ**

28. Клявин, В.Э. Некоторые аспекты анализа факторов в местах концентрации ДТП / Корчагин В.А., Клявин В.Э., Суворов В.А., Зеленцов М.В. // Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин: матер. межд. науч.-техн. конф., Тюмень: ТюмГНГУ. 2008. С. 102-106.
29. Клявин, В.Э. Определение степени влияния факторов на вероятность возникновения ДТП / В.А. Корчагин, В.А. Суворов, В.Э. Клявин, М.А. Зеленцов // Транспортные и транспортно-технологические системы: матер. межд. науч.-техн. конф., Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. С. 185-189.
30. Клявин, В.Э. Проект RS-10 в Липецкой области: промежуточные итоги / В.Э. Клявин // Индустрия туризма: всерос. науч.-практ. конф., Липецк: ЛГТУ. 2013. С. 44-49.
31. Клявин, В.Э. Пересечение улиц московская и катурова города липецка: перспективы // Индустрия туризма: всерос. науч.-практ. конф., Липецк: ЛГТУ. 2013. С. 39-45.
32. Клявин, В.Э. Методологические основы повышения эффективности системы регистрации, анализа и предотвращения дорожно-транспортных происшествий // С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Транспорт-2014: межд. науч.-практ. конф., Часть 3. Технические и естественные науки, Ростов-на-Дону: РГУПС. 2014. С. 82-84.
33. Клявин, В.Э. Карточка учета дорожно-транспортных происшествий как база данных для анализа аварийности // С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем: межд. науч.-практ. конф., М.: МИЭТ. 2014. С. 58-61.
34. Клявин, В.Э. Некоторые проблемы организации дорожного движения в микрорайонах крупных городов / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.И. Попова // Транспорт-2014: межд. науч.-практ. конф., Часть 1. Технические и экономические науки, Ростов-на-Дону: РГУПС. 2014. С. 49-50.
35. Клявин, В.Э. Совершенствование методики накопления и анализа информации о дорожно-транспортных происшествиях / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития: матер. всерос. науч.-техн. конф., Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт. 2014. С. 280-283.
36. Клявин, В.Э. Экспертная система в решении задач повышения безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2016. №4 (10). С. 9.
37. Клявин, В.Э. Экспертная система мониторинга и обеспечения безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин, С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Вестник ЛГТУ, Липецк. 2016. №3 (29). С. 33-38.
38. Клявин, В.Э. Теоретико-прикладные методы организации экспертной системы безопасности дорожного движения / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Информационные технологии и инновации на транспорте: матер. межд. науч.-практ. конф., Орел: ОГУ. 2016. С. 328-338.
39. Клявин, В.Э. Организация парковочного пространства в районе центрального рынка г. Липецка / М.С. Собин, В.Э. Клявин // Научная конференция студентов и аспирантов Липецкого ГТУ: сб. докладов, Липецк: ЛГТУ. 2016. С. 301-303.
40. Клявин, В.Э. Новые подходы к моделированию работы дорожно-эксплуатационной службы / В.А. Корчагин, С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Организация и безопасность дорожного движения: матер. межд. науч.-практ. конф., Тюмень: ТГИУ. 2017. С. 226-230.
- Научные статьи в иных рецензируемых журналах, в сб. трудов и научных конференций**
41. Клявин, В.Э. Пути решения проблемы увеличения пропускной способности улично-дорожной сети г. Липецка / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, С.А. Ляпин // Вестник ЛГТУ-ЛЭГИ, Липецк. 2002. №2 (10). С. 8-11.
42. Клявин, В.Э. Ноосферно-логистические технологии автомобильно-дорожного комплекса / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, С.А. Ляпин // Вестник ЛГТУ- ЛЭГИ, Липецк. 2002. №2 (10). С. 12-14.

43. Клявин, В.Э. Анализ и классификация регулируемых магистральных перекрестков / В.А. Корчагин, Д.А. Кадасев, В.Э. Клявин // Проблемы экологии и экологической безопасности центрального Черноземья РФ: матер. всерос. науч.-практ. конф., Липецк: ЛГТУ. 2006. С. 84-85.
44. Клявин, В.Э. Регулируемые автотранспортные перекрестки: анализ и классификация / В.А. Корчагин, В.А. Суворов, Д.А. Кадасев, В.Э. Клявин // Технические науки – региону: сб. науч. тр. ЛГТУ, Липецк: ЛГТУ. 2007. С. 48-55.
45. Клявин, В.Э. Типологизация проектируемых перекрестков в транспортных системах городов / В.А. Корчагин, В.А. Суворов, Д.А. Кадасев, В.Э. Клявин // Экономика и управление проблемами, тенденциями, перспективами: сб. научн. тр. МИПиЭ, Липецк: ЛГТУ. 2007. С. 233-237.
46. Клявин, В.Э. Проблемы развития улично-дорожной сети г. Липецка / В.Э. Клявин // Проблемы безопасности дорожного движения. Пути их решения: матер. межрег. науч.-практ. конф., Липецк: ЛГТУ. 2007. С. 80-86.
47. Клявин, В.Э. Совершенствование организации дорожного движения как социоэкологический фактор / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Проблема эксплуатации транспортных машин: матер. межд. науч. конф., Пенза: ПГУАС. 2008. С. 204-209.
48. Клявин, В.Э. Об эффективности применения искусственных неровностей в дорожном движении / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Вестник Донецкого ИАТ. 2009. №1. С. 385-390.
49. Клявин, В.Э. Обеспечение безопасности наземных пешеходных переходов на основе системного подхода / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных машин: матер. межд. науч. конф., Пенза: ПГУАС. 2010. С. 290-295.
50. Клявин, В.Э. О необходимости системного подхода к решению транспортных проблем города / В.Э. Клявин // Безопасность и устойчивость транспортной системы Липецкой области: матер. межрегион. науч. конф., Липецк: ЛОУНБ. 2010. С. 27-31.
51. Клявин, В.Э. Проблемы обеспечения безопасности движения на пешеходных переходах г. Липецка // В.Э. Клявин, А.В. Симаков / Безопасность и устойчивость транспортной системы Липецкой области: матер. межрегион. науч. конф., Липецк: ЛОУНБ. 2010. С. 32-36.
52. Клявин, В.Э. Левый поворот: быть или не быть? / В.Э. Клявин, А.Г. Сычиков // Дороги Содружества, информационно-аналитический журнал Межправительственного совета дорожников. М.: «Стратим ПКП». 2011. №1. С. 14-16.
53. Клявин, В.Э. Применение математических методов при обеспечении безопасности дорожного движения на пешеходных переходах / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Авиакосмические технологии (АКТ-2011): матер. всерос. науч.-техн. конф., Воронеж: ВГТУ. 2011. С. 113-117.
54. Клявин, В.Э. Безопасность дорожного движения в Липецке как объект информатизации / В.Э. Клявин, В.В. Ситников, М.А. Стеганцев // Авиакосмические технологии (АКТ-2011): матер. всерос. науч.-техн. конф., Воронеж: ВГТУ. 2011. С. 126-129.
55. Клявин, В.Э. Организация и безопасность движения в Липецке / В.Э. Клявин, В.В. Двуреченский, А.В. Панасович // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения и пути их решения: матер. межрегион. науч. конф., Липецк: ЛГТУ, 2011. С. С. 24-32.
56. Клявин, В.Э. Системный подход к обеспечению безопасности дорожного движения на пешеходных переходах г. Липецка / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения и пути их решения: матер. межрегион. науч. конф., Липецк: ЛГТУ. 2011. С.56-61.
57. Клявин, В.Э. Учет ДТП с причинением материального ущерба / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Логистика промышленных регионов: матер. межд. науч. конф., Донецк: ДААТ. 2012. С. 166-168.
58. Клявин, В.Э. ДТП как объект информатизации / В.Э. Клявин // Авиакосмические технологии: матер. всерос. науч. конф., Воронеж: ВГТУ, 2012. С. 197-201.
59. Клявин, В.Э. Научно-методические основы учета ДТП с причинением материального ущерба / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: матер. межд. науч.-практ. конф., Пенза: ПГУАС. 2012. С. 321-324.

60. Клявин, В.Э. Информация как средство снижения аварийности / В.Э. Клявин // RS:10 итоги реализации первых этапов международного проекта, проблемы и пути их решения: матер. межд. науч.-практ. конф., Липецк: ЛГТУ. 2012. С. 60-63.
61. Клявин, В.Э. Методика оптимального распределения денежных средств на мероприятия по обустройству пешеходных переходов / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин, А.В. Симаков // Логистика промышленных регионов: матер. межд. науч.-практ. конф., Донецк: ЛАНДОН-XXI. 2013. С. 154-156.
62. Клявин, В.Э. Влияние реализации проекта RS10 на аварийность в Липецкой области / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Информационная среда вуза: матер. межд. науч. конф., Иваново: Издательский центр ДИВТ. 2013. С. 401-406.
63. Клявин, В.Э. Влияние на аварийность реализации проекта RS-10 в Липецкой области / А.А. Иевлев, В.Э. Клявин, А. Хайдер, К. Бхалла, Н.Ш. Паичадзе // Развитие Всероссийской службы катастроф на современном этапе: матер. всерос. конф. с межд. участием., М.: ФГБУ «ВЦМК «Задита». 2013. С. 60-61.
64. Клявин, В.Э. Дорожно-транспортные происшествия с причинением материального ущерба как объект информатизации / С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: матер. межд. заочн. науч.-техн. конф., Пенза: ПГУАС. 2014. С. 121-124.
65. Kliavin, V.E. Intersectoral action to improve road safety in two regions of the Russian Federation / V. Kondratiev, V. Grishin, S. Orlov, V. Klyavin, E. Yurasova, D. Sethi, M. Peden, Sh. Gupta, L. Migliorini // Public Health Panorama. Volume 1. Issue 2. 2015. pp. 192-197.
66. Клявин, В.Э. Искусственный интеллект и управление / В.А. Корчагин, В.Э. Клявин // Мир дорог. 2017. №94. С. 76-77.
67. Клявин, В.Э. Концепция экспертной системы «Безопасность дорожного движения» / В.А. Корчагин, А.К. Погодаев, В.Э. Клявин, В.В. Ситников // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: межд. науч.-практ. конф., СПб.: СПбГАСУ. 2016. С. 96-102.

## Список основных сокращений

- ВОЗ:** Всемирная организация здравоохранения
- ДТП:** дорожно-транспортные происшествия
- БДД:** безопасность дорожного движения
- ВАДС:** водитель-автомобиль-дорога-среда
- ОС:** окружающая среда
- ВС:** внутренняя среда
- СПЭТС:** социоприродоэкономическая транспортная система
- УДС:** улично-дорожная сеть
- ГИБДД:** государственная инспекция безопасности дорожного движения
- ЭСБДД:** экспертная система безопасности дорожного движения
- ПДД:** правила дорожного движения
- АРПСС:** авторегрессия и проинтегрированное скользящее среднее
- СБДД:** системная безопасность дорожного движения
- ЭБ:** экологическая безопасность
- СЭБ:** социально-экономическая безопасность

**Клявин Владимир Эрнстович**

Разработка научных методов повышения уровня  
системной безопасности дорожного движения

**Автореферат**