

*На правах рукописи*



**ИЛЬИНА Ирина Евгеньевна**

**МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ  
С УЧЁТОМ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ**

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта  
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Омск – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г. Омск

Научный консультант: **Витвицкий Евгений Евгеньевич**  
доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет», профессор кафедры организации перевозок и безопасности движения

Официальные оппоненты: **Сильянов Валентин Васильевич**  
Заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры изыскания и проектирования дорог ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

**Клявин Владимир Эрнстович**  
доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского института ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

**Куракина Елена Владимировна**  
доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Защита диссертации состоится 26 декабря 2024 года в 10 часов на заседании диссертационного совета 24.2.352.01 на базе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, ауд. 170215.

С диссертацией и авторефератом диссертации можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ([www.osu.ru](http://www.osu.ru)) ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет».

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

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



Хасанов Ильгиз Халилович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) в «Докладе о состоянии безопасности дорожного движения в мире» констатирует, что в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) ежегодно погибают свыше 1,19 миллиона человек и около 50 миллионов человек получают травмы различной степени тяжести. Задача снижения показателей аварийности нашла свое отражение в реализации государственной политики Российской Федерацией. В межотраслевом документе стратегического планирования на среднесрочный период «Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы» (Стратегия), отмечено, что в России основные показатели аварийности за последние годы имеют тенденцию к сокращению, что в целом соответствует мировому опыту адаптации стран к условиям растущей автомобилизации населения.

Несмотря на положительную динамику, целевые показатели транспортного и социального риска достигнуты не во всех субъектах РФ и по-прежнему значительно превышают аналогичные показатели стран Европейского союза. Около 90% ДТП происходит из-за нарушения Правил дорожного движения (ПДД) водителями механических и немеханических транспортных средств (ТС), в том числе водителями велосипедов и средств индивидуальной мобильности (СИМ). В ДТП по причине нарушения ПДД водителями разных целевых групп погибает около 85% и получает ранения 91% человек. На протяжении нескольких лет наибольшее количество ДТП совершается водителями в возрасте 30 – 39 лет (26,8%). Наибольшей тяжестью последствий характеризуются ДТП, совершенные водителями возрастной группы 70 лет и старше. По вине водителей, имеющих стаж управления ТС менее двух лет во всех возрастных группах, происходит более 65% ДТП.

Установлено, что такие показатели обусловлены рядом причин, к числу основных из которых следует отнести низкую подготовленность водителей транспортных средств, связанную, в частности, с отсутствием или неэффективностью действенных механизмов обеспечения их удовлетворительной подготовки с учётом целевой группы, а также недостаточный учёт социально-экономических и природно-климатических факторов регионов РФ при планировании мероприятий по обеспечению безопасности дорожного движения.

**Степень разработанности темы исследований.** Существенный вклад в исследовании проблем дорожной безопасности, в том числе прогнозирования ДТП, связывается с именами отечественных учёных: В.В. Амбарцумяна, В.Ф. Бабкова, В.Н. Баскова, М.Я. Блинкина, И.А. Венгерова, В.С. Волкова, Э.В. Дингеса, С.В. Дорохина, С.А. Евтюкова, С.С. Евтюкова, С.В. Жанказиева, А.П. Жигадло, Н.С. Захарова, А.В. Зедгенизова, В.В. Зырянова, Д.В. Капского, Г.И. Клинковштейна, В.Э. Клявина, Д.А. Кременца, В.М. Курганова, Е.М. Лобанова, В.В. Лукьянова, Л.Б. Миротина, А.Н. Новикова, И.А. Новикова, И.Н. Пугачева, В.И. Рассохи, А.И. Рябчинского, В.В. Сильянова, Л.С. Трофимовой, А.Б.

Чубукова, В.А. Федорова, А.П. Фота, А.В. Шемякина, а также ряда зарубежных: G. Jacobs, A. Mekky, J. Adams, D Andreassen, M. Koornstra, R. Smeed, E. Timo.

Теоретическим вопросам роли надёжности водителя в возникновении ДТП и ее оценке, особенностям влияния человеческого фактора на автотранспортные перевозки и подготовке дисциплинированного водителя с учётом его целевой группы (водитель автомобиля, велосипеда, моноколеса, электросамоката и пр.) посвящены труды Е.В. Агеева, И.Е. Агуреева, И.М. Блянкинштейна, П.А. Кравченко, Е.В. Куракиной, Е.М. Олещенко, А.Н. Романова, Ю.В. Трофименко, В.В. Чванова, Э.С. Цыганкова, Н.Н. Якунина, Н.В. Якуниной, а также ряда зарубежных: J. Weyer, S. Hoffmann, U. Reutter, M. Stiewe, M. Rohs, G. Flore, S. Heimlich, S. Haendschke.

Анализ проблемы показал, что разработка методологии обеспечения безопасности дорожного движения в регионах РФ с учётом подготовленности водителей как качества, определяющего их надёжность в предотвращении ДТП, является актуальной.

Результаты работы получены при выполнении хоздоговорных НИР: 1) «Исследования психофизиологических особенностей кандидатов в водители» по договору № 14.59 от 17.02.2014 г.; 2) «Совершенствование подготовки и переподготовки водителей автомобильного транспорта» по договорам № 15.58 от 25.01.2015 г., № 15.219 от 15.10.2015 г.; 3) «Разработка проектов программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий» в рамках исполнения государственного контракта № 110/2021 от 04.08.2021 г.; 4) «Исследование условий движения автотранспорта и разработка мероприятий по повышению безопасности движения на автомобильных дорогах Пензенской области» по договорам № 20-МК-4 от 19.10.2020 г., № 21-68 от 15.09.2021 г., № 22-04 от 28.01.2022 г.; 5) «Разработка проектов комплексного развития транспортной инфраструктуры и комплексных схем организации дорожного движения населенных пунктов Республики Дагестан» по договорам № 05-06.02.2023 от 12.02.2023, № 06-10.02.2023 от 15.02.2023 г. Соискатель является участником межрегиональных специализированных выставок: «АвтоМир» с проектами «Исследование влияния параметров ВАДС на результат расследования ДТП», «Разработка проекта «Автомобильный тренажёр», (Пенза, 2011, 2013), «Образование и карьера» с проектами «Профилактика детского дорожно-транспортного травматизма», «Обучение школьников вождению автомобиля на тренажёре», «Теоретические и практические аспекты обучения правилам дорожного движения» (Пенза, 2015, 2016, 2017).

**Объект исследования** – процесс перевозок по дорогам общего пользования.

**Предмет исследования** – закономерности влияния подготовленности водителей на безопасность дорожного движения.

**Цель диссертационной работы** – обеспечение безопасности дорожного движения на основе совершенствования подготовленности водителей с учётом региональных особенностей.

**Рабочая гипотеза** заключается в том, что подготовка водителей с учётом

комплексного показателя, интегрирующего значения показателей уровня специальных знаний, умений и навыков, возраста водителя, стажа управления транспортным средством, особенностей категории управляемого транспортного средства и региональных условий осуществления профессиональной деятельности, позволит повысить БДД.

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие **задачи**:

1. Концепция обеспечения безопасности дорожного движения, учитывающая параметры подготовленности водителей, на основе анализа существующей законодательной базы.

2. Ранжирование регионов РФ по уровню аварийности с учётом параметров внешней среды для реализации дифференцированного подхода к обеспечению безопасности дорожного движения.

3. Количественная оценка уровня безопасности дорожного движения, систематизация показателей аварийности и определение связи между значениями показателей аварийности и параметрами качества водителей.

4. Прогнозирование количества дорожно-транспортных происшествий, связанных с нарушением ПДД водителями транспортных средств, с учётом влияния региональных особенностей.

5. Разработка практических рекомендаций по снижению уровня аварийности на основе обеспечения требуемых параметров подготовленности водителей.

**Методы исследования.** В ходе исследования применялись методы математического анализа: факторный анализ, метод главных компонент, прогнозирование; методы системного анализа: натурные обследования, моделирование, эксперимент, классификация.

**Содержание диссертации** соответствует области исследований паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта: п. 9 «Исследования в области безопасности дорожного движения с учётом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности», п. 23 «Разработка требований к персоналу автомобильного транспорта. Совершенствование подготовки и переподготовки специалистов и персонала автомобильного транспорта; прогноз потребности».

**Практическая значимость** работы определяется:

1) применением разработанных математических моделей и методов для получения новых данных количественной оценки БДД;

2) разработанным методом ранжирования регионов по уровню аварийности по вине водителей, защищенным свидетельствами об интеллектуальной собственности, позволяющим выявлять субъекты, требующие первоочередных мер по обеспечению БДД, а также субъекты, где наблюдается положительная динамика по обеспечению БДД;

3) разработанными алгоритмами, использующимися в модуле прогнозирования ДТП, включённого в состав многофункциональной

геоинформационной системы Пензенской области;

4) предложенными практическими рекомендациями по повышению эффективности подготовки водителей механических и немеханических транспортных средств.

**Обоснованность и достоверность** полученных результатов обеспечивается концепцией исследования, общенаучными методами решения поставленных задач исследования, результатами экспериментальных исследований, обсуждением и одобрением результатов работы научной общественностью.

**Внедрение результатов исследований.** Полученные в работе результаты исследований использованы органами исполнительной власти и федеральными структурами на уровне субъекта: Министерством цифрового развития, транспорта и связи (г. Пенза) в виде модуля прогнозирования ДТП в составе многофункциональной геоинформационной системы Пензенской области; Федеральным экспериментальным центром «Детский автогород» (г. Ульяновск) в виде комплекта методических разработок; Экспертным центром «Движение без опасности» (г. Москва), автошколой ДОСААФ России (г. Пенза) в виде разработанных программ подготовки водителей. Результаты исследований использованы при подготовке информационно-аналитических материалов по вопросам обеспечения БДД УГИБДД УМВД России по Пензенской области.

Результаты работы используются в учебном процессе Пензенского государственного аграрного университета, Ульяновского государственного технического университета, Волгоградского государственного технического университета при подготовке студентов по направлению «Технология транспортных процессов» (23.03.01, 23.04.01), «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (23.03.03, 23.04.03), «Наземные транспортно-технологические средства» (23.05.01), «Техника и технологии наземного транспорта» (23.06.01).

**Положения научной новизны, выносимые на защиту:**

1. Концептуальный подход обеспечения безопасности дорожного движения, *отличающийся* от указанного в Стратегии уточненным, по итогам мониторинга, перечнем показателей состояния БДД, содержащим показатели подготовленности водителей и внешней среды.

2. Метод ранжирования регионов, *отличающийся* от существующих методов комплексным учётом особенностей внешней среды и ключевых факторов состояния аварийности.

3. Новые индексы БДД, *позволяющие* оценить состояние БДД с учётом параметров подготовленности как качества водителей в предотвращении ДТП.

4. Математическая модель статистической вероятности возникновения ДТП, *позволяющая* установить взаимосвязь параметров, определяющих подготовленность водителей разных целевых групп, региональных особенностей и БДД. Зависимости между показателями БДД и параметрами подготовленности водителя: возраст, стаж управления ТС, вид управляемого ТС, представленными в виде линейной функции с множеством переменных.

5. Метод прогнозирования показателей аварийности, *отличающийся*

учётом параметров подготовленности водителей, модуль прогнозирования, являющийся частью программного обеспечения, для визуализации данных мониторинга нарушений правил дорожного движения водителями.

б. Модели, алгоритмы и полученные на их основе зависимости, *позволяющие* определить показатели подготовленности – знания, умения и навыки – водителей разных целевых групп «до» и «после» подготовки.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационного исследования представлялись и обсуждались на конференциях и конгрессах:

– *международных*: «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (Оренбург, 2013, 2015, 2021, 2022, 2023), «Транспорт. Экономика. Социальная сфера. (Актуальные проблемы и их решения)» (Пенза, 2014), «Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства» (Красноярск, 2016), «Развитие теории и практики автомобильных перевозок, транспортной логистики» (Омск, 2016), «Новые достижения по приоритетным направлениям науки и техники» (Пенза, 2015, 2016), «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» (Пенза, 2017), «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов, 2018), «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств» (Саратов, 2019, 2020), «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы» (Новокузнецк, 2020), «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации» (Омск, 2021, 2022), «Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза, 2010, 2012, 2013, 2014), «Information-management systems and technologies» (Украина (Одесса), 2020), IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (Белгород, 2021 г.), VII, VIII, IX International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (Орел, 2021, 2022, 2023, 2024), «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 2022, 2024), «Формирование интеллектуального капитала в условиях цифровой трансформации: опыт, вызовы, перспективы» (Казахстан (Караганда), 2022), «Перспективы развития транспортного комплекса» (Беларусь (Минск), 2022);

– *всероссийских (с международным участием)*: «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» (Оренбург, 2015), «Актуальные проблемы автотранспортного комплекса» (Самара, 2018, 2019, 2020, 2022), «Исследование проблем обеспечения эффективности и качества работы автомобильного транспорта» (Омск, 2021);

– *всероссийских*: «Организация и безопасность дорожного движения» (Тюмень, 2015), «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств» (Пенза, 2018, 2019, 2021).

**Публикации.** По результатам исследований опубликованы 65 научных работ, в том числе 11 – в журналах из «Перечня...» ВАК, 3 – в изданиях,

индексируемых в базах Scopus и Web of Science, 4 монографии, 1 патент на полезную модель, 4 базы данных, зарегистрированных Роспатентом. В прочих изданиях опубликовано 42 работы.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников из 224 наименований. Содержит 337 страниц, 26 таблиц, 94 иллюстрации, 6 приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** определены актуальность темы исследования, степень её разработанности, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, результаты апробации и реализации.

**Первый раздел «Состояние вопроса безопасности в практике дорожного движения»** посвящён анализу проблемы обеспечения безопасности дорожного движения. Состояние уровня безопасности дорожного движения изменяется циклично (рисунок 1) и зависит от реализации долгосрочных программ по повышению БДД организационно-технической направленности, ужесточения ответственности за «нарушения ПДД и правил эксплуатации транспортных средств».

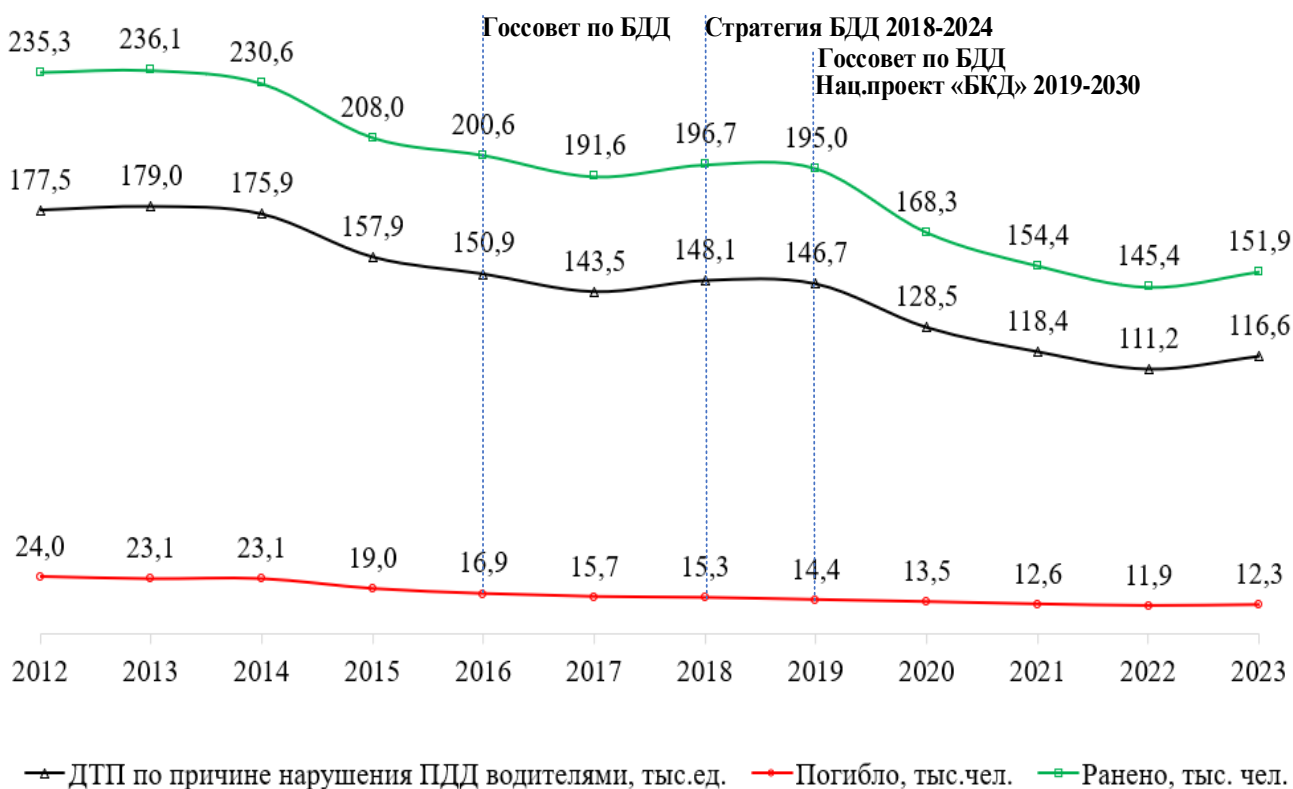


Рисунок 1 – Изменение основных абсолютных показателей аварийности по причине нарушения ПДД водителями

На основании анализа массива статистических данных по РФ за период 2004-2022 гг. отмечается изменение целевых показателей аварийности:



снижение количества ДТП и погибших в них, в том числе в результате ДТП по причине нарушения ПДД водителями.

Несмотря на реализуемые мероприятия, показатель тяжести последствий ДТП остается стабильно высоким на протяжении четырех лет (рисунок 2).

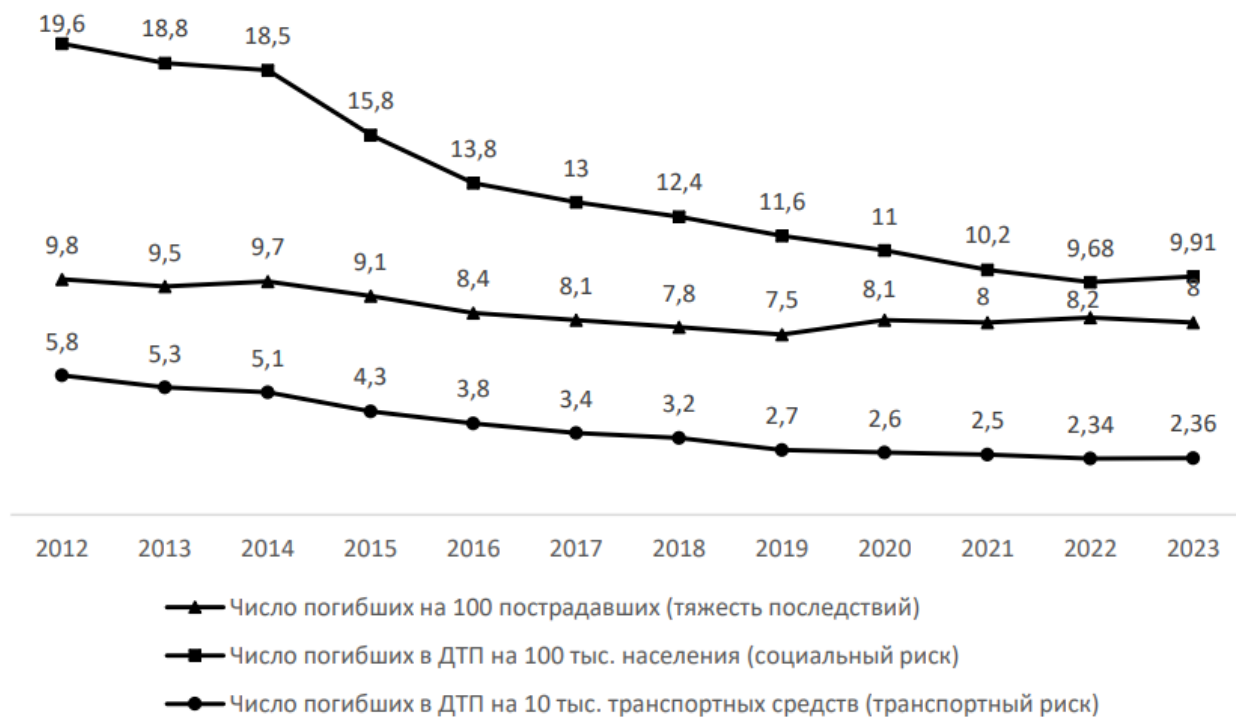


Рисунок 2 – Изменение относительных показателей аварийности

Анализ уровня БДД показал превышение установленного значения показателя тяжести последствий ДТП в 46 субъектах Российской Федерации. Поэтому проведён анализ внешней среды по регионам РФ.

1. Погодно-климатические условия. На основании исследований И.А. Новикова, А.Г. Шевцовой и др. учёных предложено использовать показатель, характеризующий совокупность метеорологических или погодных условий в момент, предшествующий ДТП, Индекс суровости погоды, определяемый по формуле Бодмана (1), где показатели  $t$  и  $v$  оказывают влияние не только на состояние человека, но и на состояние проезжей части, т.е. на желание и возможность совершение поездок.

$$S = (1 - 0,04 \cdot t)(1 + 0,27 \cdot v) \quad (1)$$

где  $S$  – индекс суровости, баллы;  $t$  – температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $v$  – скорость ветра, м/с.

2. Уровень доходов. Показатели смертности на дороге в зависимости от уровня дохода населения изучали учёные М.Я. Блинкин, И.А. Новиков, Е.М. Решетова и др. Ими проводился сравнительный анализ данного показателя по странам с высоким, средним и низким уровнем дохода и уровнем автомобилизации. Поэтому предложено использовать показатель «уровень доходов», учитывающий среднедушевые денежные доходы на человека руб./месяц и определяемый Росстатом по утвержденной методике.

3. Транспортный индекс. На основании данных информационных систем Федеральной службы государственной статистики, муниципальных органов управления в сфере транспорта, отчетов независимых аналитических центров и исследований учёных предложено использовать показатель, характеризующий качество и доступность транспортных услуг для владельцев механических и немеханических транспортных средств, пользователей общественного транспорта, пешеходов, воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду и БДД.

Проведенный сравнительный анализ показателей индекса суровости погоды, уровня доходов населения и транспортного индекса показал отсутствие устойчивой зависимости их комплексного влияния на уровень безопасности дорожного движения (рисунок 3).

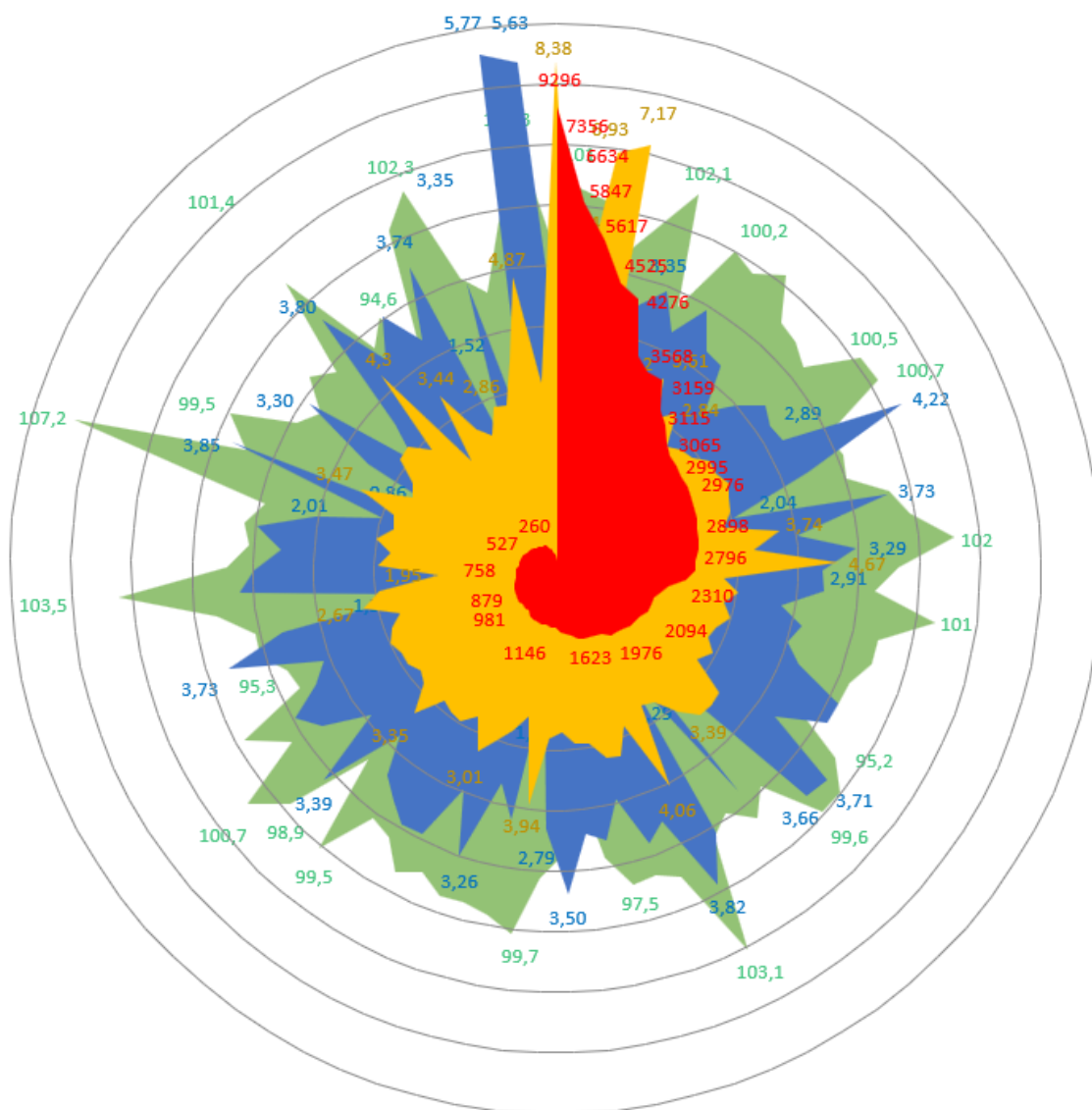


Рисунок 3 – Уровень БДД (красный цвет), 2023 г., в зависимости от индекса суровости погоды (синий цвет), уровня доходов (зеленый цвет), транспортного индекса (желтый цвет)

Учитывая, что до 94% ДТП происходит по причине нарушения ПДД водителями транспортных средств, целесообразно оценить изменение показателя тяжести последствий ДТП по целевой группе водителей (рисунок 4).

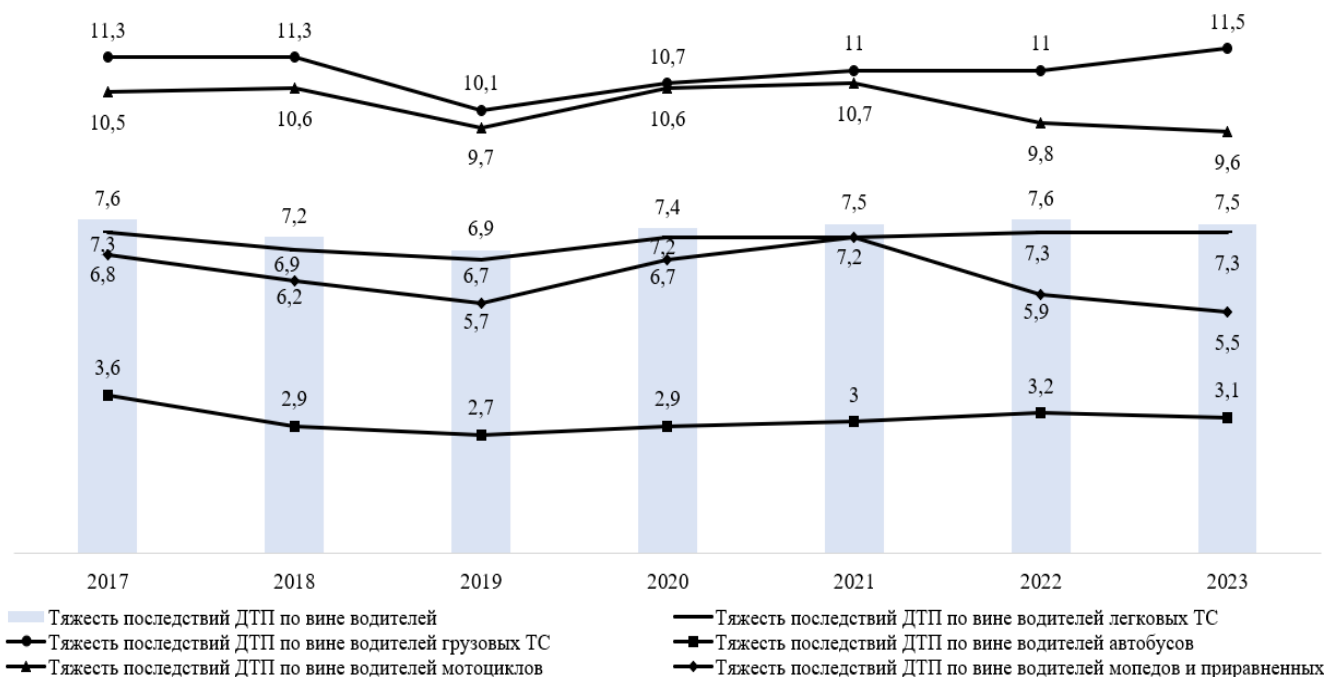


Рисунок 4 – Динамика изменения тяжести последствий ДТП

Анализ аварийности по причине нарушения ПДД водителями выявил тенденцию в изменении их абсолютных и относительных показателей по целевой группе водителей. Отмечена динамика роста ДТП и тяжести последствий с участием водителей легковых и грузовых транспортных средств, водителей автобусов на 3-10%. В регионах превышение составляет до 40%. Установлена взаимосвязь между показателями аварийности по причине нарушения ПДД водителями, возрастом и стажем управления ТС (рисунок 5).

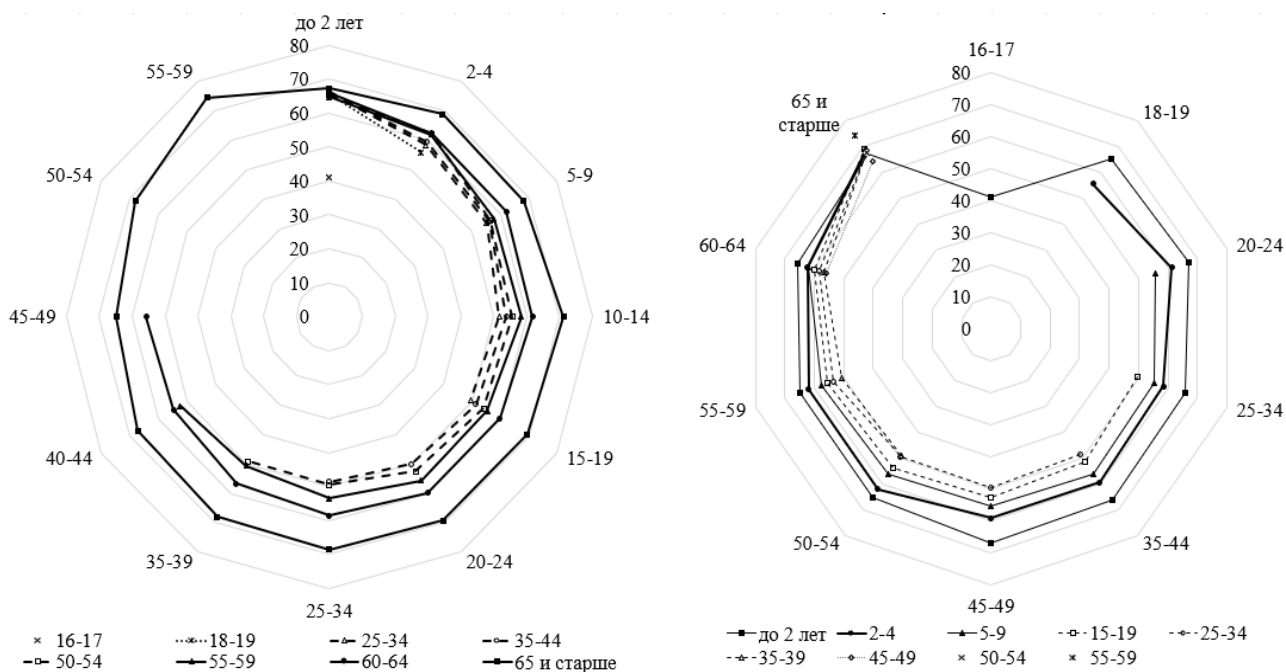


Рисунок 5 – Доля ДТП, произошедших по причине нарушения ПДД водителями соответствующей возрастной категории и стажем управления ТС

Не менее 65% ДТП происходит по причине нарушения ПДД водителями, имеющими стаж управления ТС менее двух лет во всех возрастных группах. Примерно 51% ДТП происходит по вине водителей в возрасте от 25 до 55 лет, имеющих стаж управления не менее 10 лет. Среднее значение доли ДТП по причине нарушения ПДД водителями в возрасте 65 лет составляет 68,7%.

Несмотря на различие в методиках определения качеств водителей, влияющих на безопасность дорожного движения и их группировке, установлено качество, в полной мере характеризующее способность водителей безошибочно управлять транспортным средством в любых дорожных условиях (рисунок 6). Подготовленность как качество надёжности водителя определяется уровнем его знаний, умений, навыков и обуславливается возрастом, стажем управления и видом управляемого ТС.

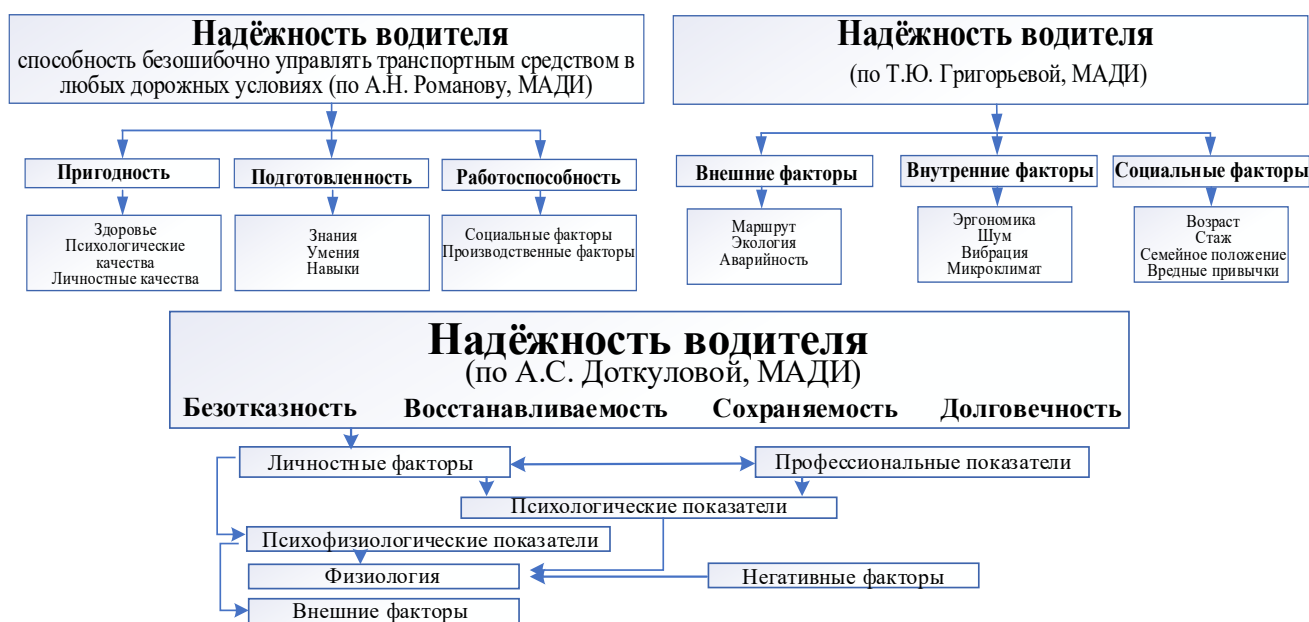


Рисунок 6 – Факторы надёжности водителей  
по А.Н. Романову, Т.Ю. Григорьевой, А.С. Доткуловой

Проведенный анализ позволил установить необходимость научных исследований, направленных на обеспечение БДД, в соответствии со Стратегией БДД, требующей «активизации усилий государства и граждан в воздействии на ключевые факторы аварийности, оказывающие влияние на гибель людей в ДТП» в части совершенствования методов обучения водителей для обеспечения их качественной подготовки и адаптации к участию в дорожном движении.

**Второй раздел «Концептуальный подход к обеспечению безопасности дорожного движения в Российской Федерации»** посвящен существующей концепции, методологическим аспектам реализации её положений и общим теоретическим исследованиям, подробнее в работах автора [1, 2 – 9, 11 – 13, 15, 16, 25].

Теория безопасности дорожного движения базируется на концептуальных знаниях о её составе и структуре и представлена в виде «анализ – предупреждение – обеспечение – контроль – следствие» [14]. В развитии

концепции обеспечения безопасности движения предложено использовать параметры подготовленности водителей разных целевых групп с учётом социально-экономического состояния регионов РФ (рисунок 7).

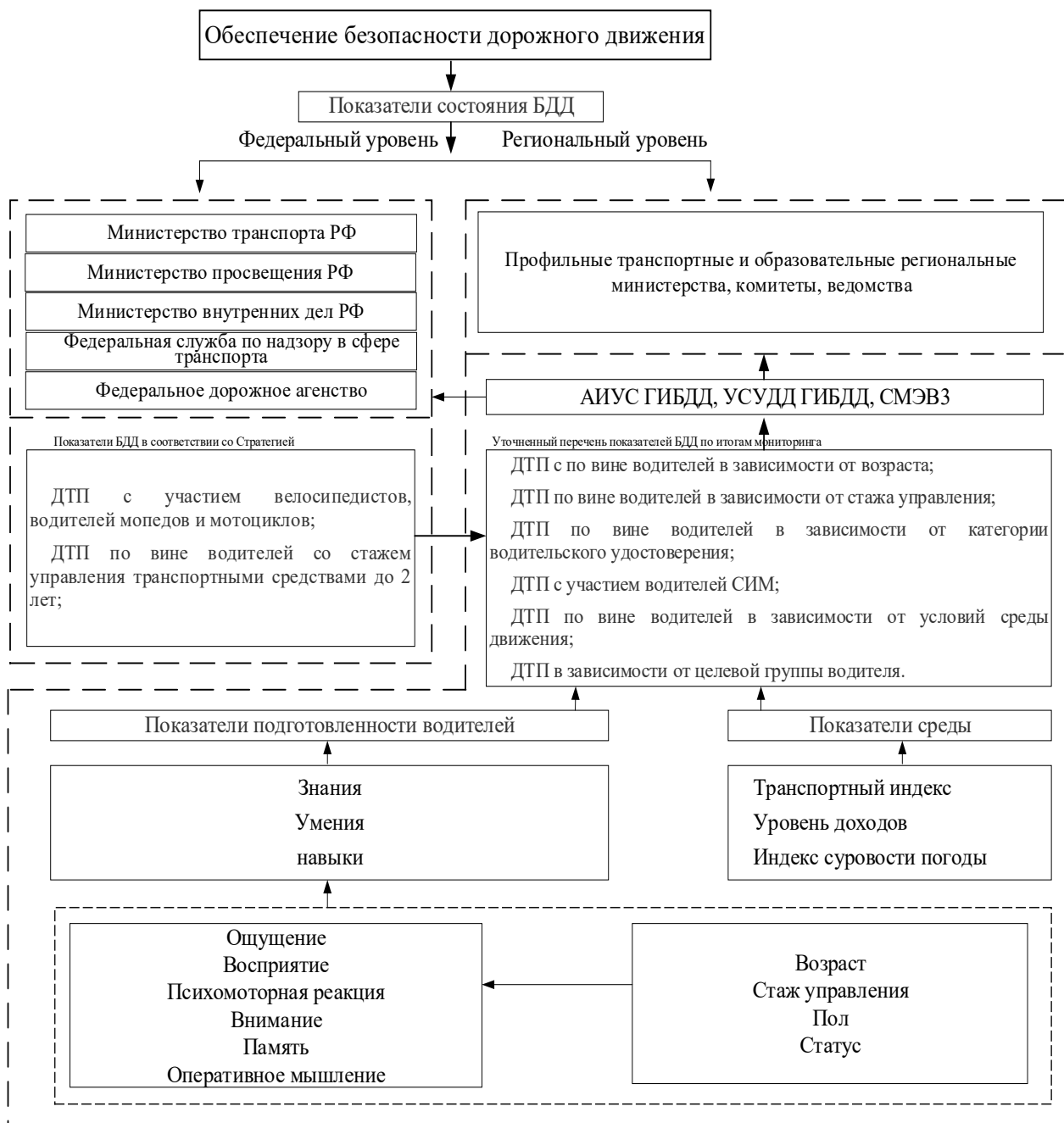


Рисунок 7 – Обеспечение БДД с учётом параметров подготовленности водителей

Следует различать принятые для оценки состояния БДД понятия «ошибка» и «нарушение». В соответствии с государственным стандартом «ошибка» является следствием недостатка в рассуждениях и последовательных выводах, а «нарушение» – намеренное уклонение от требуемых правил работы, которое не является необходимым. Водитель выполняет ошибочные действия, считая их как верные и необходимые в транспортной ситуации, и они непреднамеренны. В ином случае «ошибка» квалифицируется как «нарушение».

По отношению к безопасности дорожного движения причины, способствующие ошибочным действиям водителя на улично-дорожной сети, можно разделить на объективные (1, 2, 3) и субъективные (4, 5) (рисунок 8). Существующая классификация причин совершения ошибок дополнена группами «4. Ошибки, вызванные физическим, психологическим, эмоциональным состоянием, обуславливающим подготовленность водителя (возраст, стаж управления)» и «5. Ошибки, вызванные отсутствием умений, навыков, актуальных знаний о правилах дорожного движения».



Рисунок 8 – Причины совершения ошибок водителями, способствующих ДТП

Необходимо провести подготовку водителей, заключающуюся в накоплении и актуализации теоретических знаний и практических навыков, необходимых для обеспечения БДД, и оценить её эффективность на основании параметров, всесторонне характеризующих подготовленность водителя.

Параметром, характеризующим достигнутый уровень знаний, умений и навыков, является уровень освоения  $q$ :

$$q = q_{\text{текущий}} / q_{\text{max}}; 0 < q < 1 \quad (2)$$

где  $q_{\text{текущий}}$ ,  $q_{\text{max}}$  – текущий и максимальный уровень знаний, умений и навыков соответственно.

Значение уровня освоения  $q$  зависит от интенсивности подготовки  $I$ , принимающей значения 0 или 1 (рисунок 9, рисунок 10):

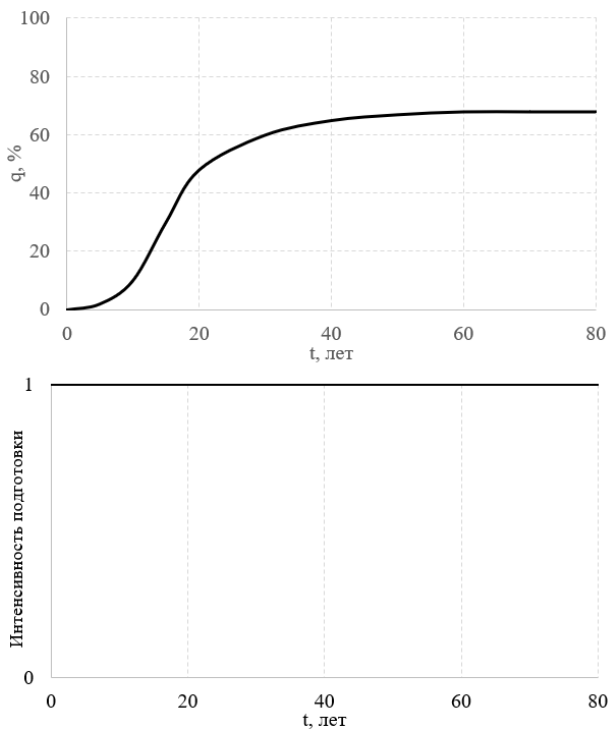


Рисунок 9 – Изменение уровня знаний ПДД, умений и навыков водителем, осуществляющим регулярную подготовку,  $I=1$

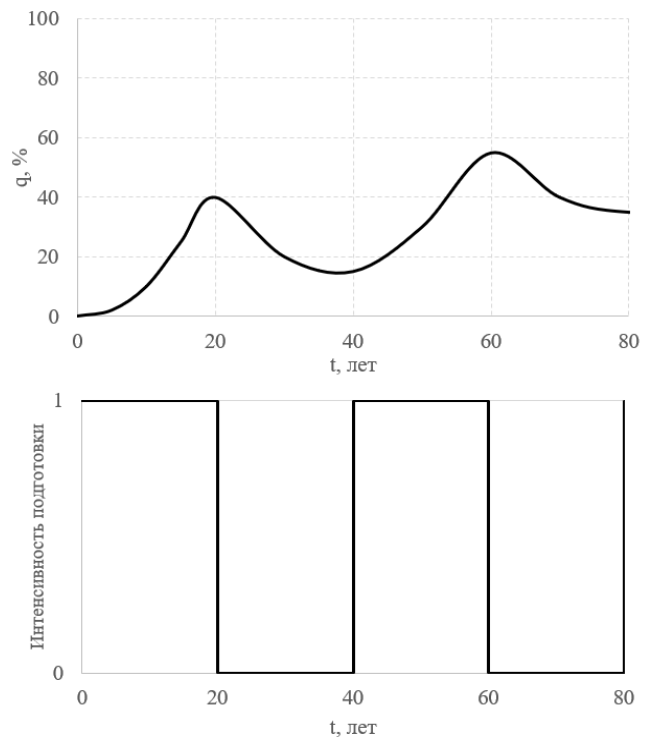


Рисунок 10 – Изменение уровня знаний ПДД, умений и навыков водителем, осуществляющим нерегулярную подготовку,  $I=\{1, 0\}$

Составлена иерархия уровней обеспечения БДД с учётом параметров, определяющих подготовленность водителей (рисунок 13).

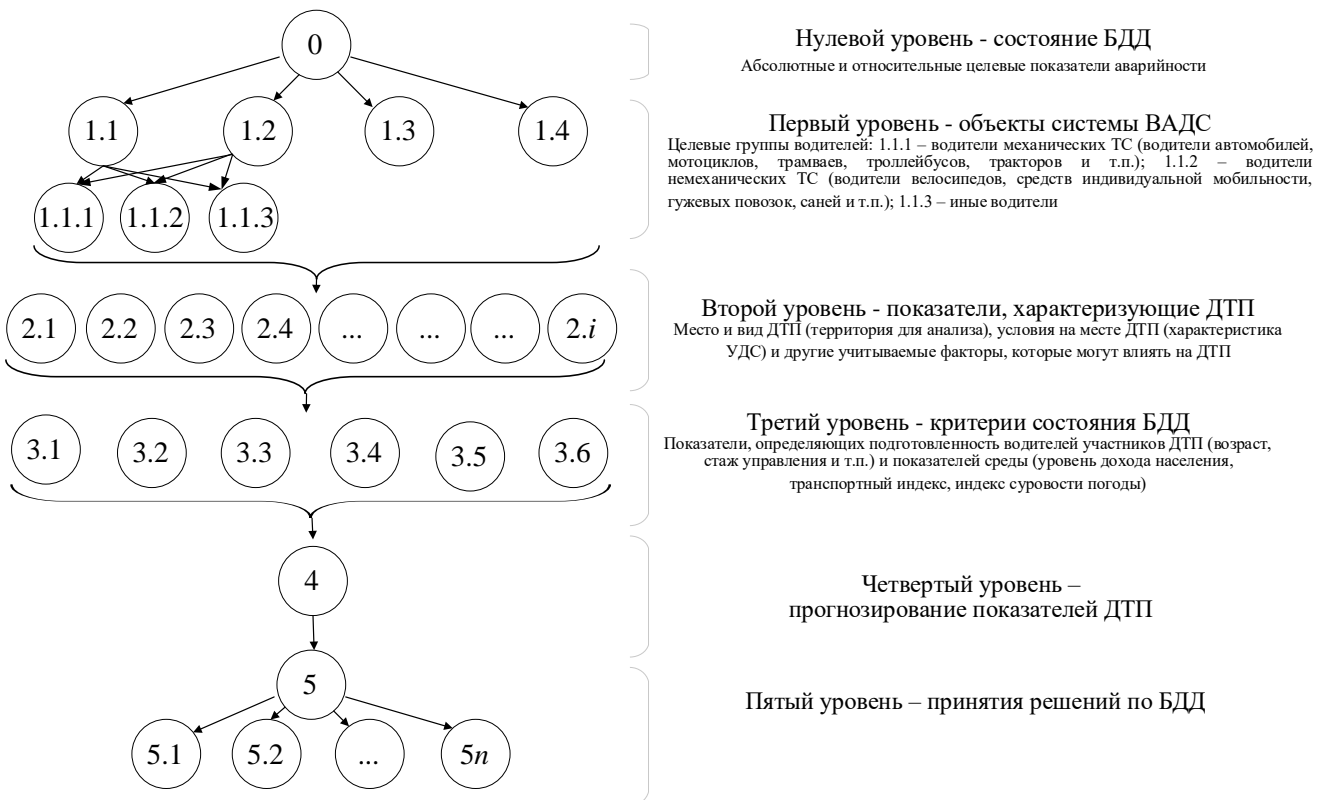


Рисунок 11 – Иерархия уровней обеспечения БДД с учётом параметров подготовленности водителей



Нулевой уровень отражает состояние безопасности дорожного движения и соответствует установленным целевым показателям. Первый уровень соответствует объектам системы ВАДС. На основании Федерального закона РФ «О безопасности дорожного движения» и ПДД РФ сформированы целевые группы водителей. Второй уровень содержит параметры, характеризующие ДТП (2.1 – 2.i). Процесс анализа данных о ДТП включает значения параметров: место и вид ДТП (территория для анализа), условия на месте ДТП (характеристика УДС) и другие учитываемые факторы, которые могут влиять на ДТП. Третий уровень содержит показатели БДД (3.1 – 3.4), определяющие подготовленность водителей участников ДТП (возраст, стаж управления и т.п.) и параметры среды (уровень дохода населения, транспортный индекс, индекс суровости погоды), обеспечивающие безопасность движения на улично-дорожной сети. На четвертом уровне производится прогнозирование показателей БДД в заданных условиях посредством применения программных продуктов и оценка полученных результатов. На пятом уровне принимаются решения по обеспечению БДД (5.1 – 5.n), заключающиеся в совершенствовании управления, организации, мониторинга ситуаций в условиях улично-дорожной сети.

**Третий раздел «Модели обеспечения безопасности дорожного движения с учётом параметров подготовленности водителей»** посвящён теоретическим исследованиям по обеспечению БДД с учётом параметров, определяющих подготовленность водителей разных целевых групп, ранжированию регионов РФ по уровню БДД с учётом параметров среды, подготовке водителей, прогнозированию показателей ДТП, подробнее в работах автора [1, 11, 12, 16].

Для оценки БДД применяются методы, учитывающие психофизиологические параметры водителя:

– методы тестирования водителей и анализа качества вождения по 40 критериям (Клеббельсберг Д., Гаврилов Э.В.);

– методы определения риска попадания водителя в ДТП на основании вероятности несовместимых событий и на основании мониторинга поведения водителя (Лашков И.Б., Дементенко В.В., Герус С.В.).

Представленные методы позволяют прогнозировать аварийность по причине нарушения ПДД водителем, но для количественной и качественной оценки уровня БДД они не могут быть применимы.

В результате анализа статистических данных, являющихся необходимыми для оценки уровня аварийности, установлено что 89 % – 94 % ДТП возникает из-за нарушения ПДД водителями транспортных средств, при этом более 70 % ДТП происходит в населенных пунктах. Для оценки причин возникновения ДТП на основании исследований Шевцовой А.Г. разработан граф вероятности возникновения ДТП в условиях городской среды по относительной частоте их наступления, учитывающий параметры подготовленности водителей разных целевых групп.

Вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями в условиях городской среды:



$$P(R) = P(A)_{a1} \cdot P(K)_{k1} \quad (3)$$

где  $P(R)$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями в условиях городской среды;  $P(A)_{a1}$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями;  $P(K)_{k1}$  – вероятность возникновения ДТП в городской среде.

Вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями, на основании составленного графа (рисунок 12), учитывающего параметры подготовленности водителей возможно количественно оценить (формулы 3 – 6).

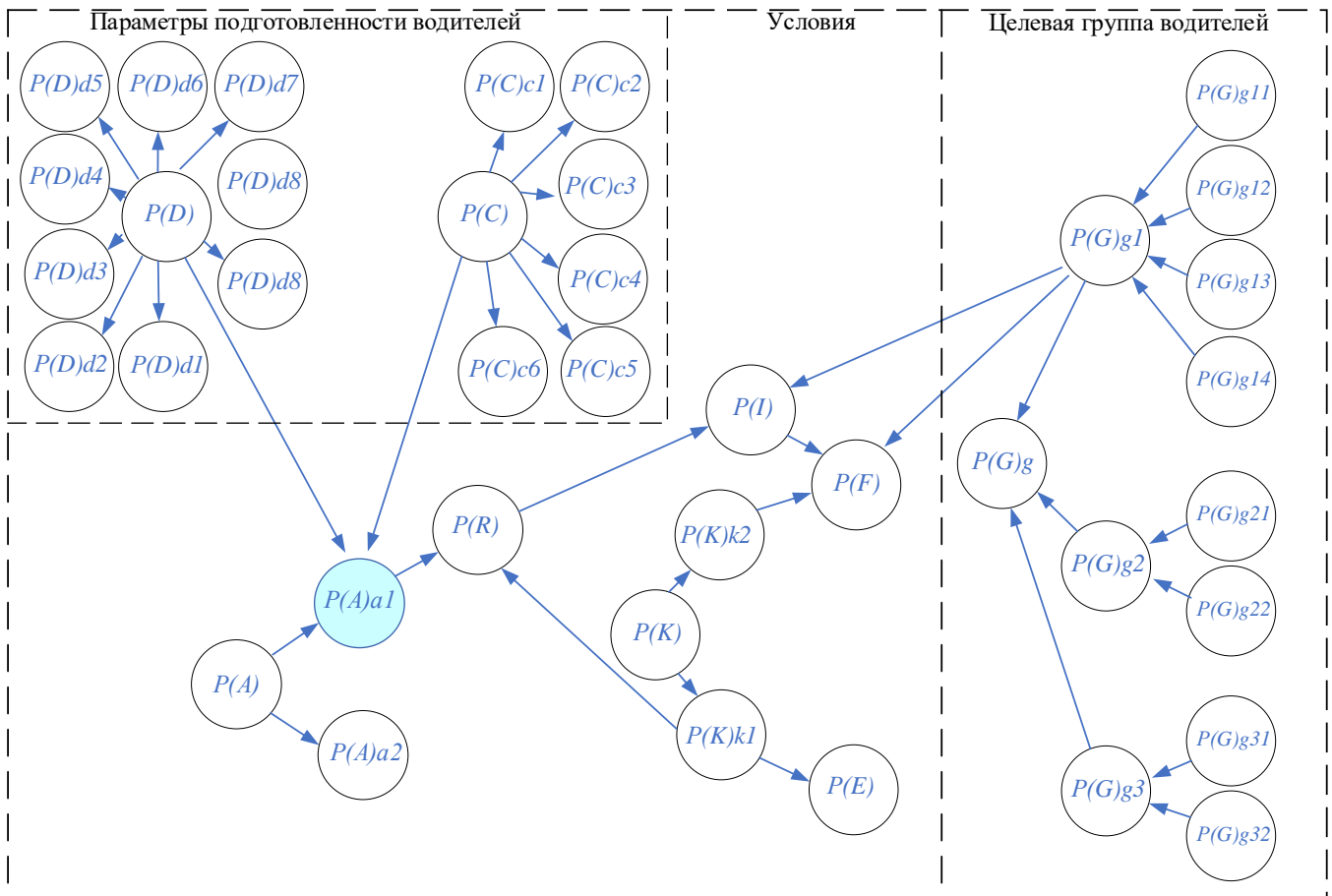


Рисунок 12 – Граф вероятности возникновения ДТП с учётом параметров подготовленности водителей как причины ДТП

где  $P(A)$  вероятность возникновения ДТП;  $P(A)_{a1}$  – вероятность возникновения ДТП по причине нарушения правил дорожного движения водителями;  $P(A)_{a2}$  вероятность возникновения ДТП по иным причинам;  $P(K)$  – вероятность возникновения ДТП по виду условий среды;  $P(K)_{k1}$  – вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды;  $P(K)_{k2}$  – вероятность возникновения ДТП в условиях загородной среды;  $P(G)$  – вероятность возникновения ДТП с ТС;  $P(G)_{g1}$  вероятность возникновения ДТП с механическими ТС: легковые ТС –  $P(G)_{g11}$ , грузовые ТС –  $P(G)_{g12}$ , автобусы –  $P(G)_{g13}$ , мотоциклы –  $P(G)_{g14}$ ;  $P(G)_{g2}$  – вероятность возникновения ДТП с немеханическими ТС: СИМ –  $P(G)_{g21}$  и велосипеды –  $P(G)_{g22}$ ;  $P(G)_{g3}$  – вероятность возникновения ДТП с участием других ТС:  $P(G)_{g3}$  – обучающий вождению,  $P(G)_{g3}$  – погонщики;  $P(E)$  – вероятность возникновения ДТП с участием

механических ТС в условиях городской среды;  $P(F)$  – вероятность возникновения ДТП с участием механических ТС в условиях загородной среды;  $P(R)$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением ПДД водителями в условиях городской среды;  $P(I)$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением ПДД водителями механических транспортных средств в условиях городской среды;  $P(D)$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением ПДД водителями по возрасту:  $P(D)_{d1}$  – до 18 лет,  $P(D)_{d2}$  – от 18 до 21 года,  $P(D)_{d3}$  – от 21 до 25 лет,  $P(D)_{d4}$  – от 25 до 30 лет,  $P(D)_{d5}$  – от 30 до 40 лет,  $P(D)_{d6}$  – от 40 до 50 лет,  $P(D)_{d7}$  – от 50 до 60 лет,  $P(D)_{d8}$  – от 60 до 70 лет,  $P(D)_{d9}$  – старше 70 лет;  $P(C)$  – вероятность возникновения ДТП связанных с нарушением ПДД водителями по стажу управления ТС:  $P(c)_{c1}$  – без стажа управления ТС,  $P(c)_{c2}$  – до 2-х лет,  $P(c)_{c3}$  – от 2 до 5 лет,  $P(c)_{c4}$  – от 5 до 10 лет,  $P(c)_{c5}$  – от 10 до 15 лет,  $P(c)_{c6}$  – свыше 15 лет.

$$P(E)=P(K)_{k1} \cdot P(G)_{g1} \quad (4)$$

$$P(I)=P(G)_{g1} \cdot P(R) \quad (5)$$

$$P(A)_{a1}=P(D) \cdot P(C) \quad (6)$$

где  $P(E)$  – вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды с участием механических транспортных средств;  $P(I)$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями механических транспортных средств в условиях городской среды;  $P(G)_{g1}$  – вероятность возникновения ДТП с участием механических ТС:  $P(G)_{g11}$  – легковых ТС;  $P(G)_{g12}$  – грузовых ТС,  $P(G)_{g13}$  – автобусов,  $P(G)_{g14}$  – мотоциклов;  $P(R)$  – вероятность возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями в условиях городской среды;  $P(D)$  – вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями в зависимости от возраста;  $P(C)$  – вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями в зависимости от стажа управления транспортным средством.

Граф вероятности возникновения ДТП с учётом параметров подготовленности водителей как причины ДТП (рисунок 12) и выражения вероятности возникновения ДТП в условиях городской среды с участием водителей механических и немеханических транспортных средств (формулы 3 - б) образуют модель статистической вероятности возникновения ДТП.

Анализ статистических данных по Пензенской области за 2019 г. показал, что частота возникновения ДТП, связанных с нарушением правил дорожного движения водителями, составляет 1722 ДТП из 1839 ДТП, а количество ДТП в условиях городской среды составляет 1533 ДТП из 1839 ДТП. Значения вероятности возникновения ДТП по причине нарушения правил дорожного движения водителями  $P(A)_{a1}=0,94$  и вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды  $P(K)_{k1}=0,83$ . Вероятность возникновения ДТП по причине нарушения правил дорожного движения водителями, возникших в городской среде составляет  $P(R) =0,78$  (формула 3), т.е. 78% ДТП в городской среде возникает в результате нарушений правил дорожного движения водителями.

В Пензенской области в 2019 году из 1839 ДТП 1666 ДТП произошло с участием механических ТС, тогда вероятность возникновения ДТП с участием механических ТС в условиях городской среды  $P(E)=0,75$  (формула 4). Вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды, связанных с нарушением ПДД водителями механических транспортных средств, составляет  $P(I)=0,71$  (формула 5).

Граф позволяет оценить вероятность возникновения ДТП по причинам нарушения правил дорожного движения водителями механических и немеханических транспортных средств в условиях городской среды – 0,73, т.е. 73% ДТП с участием механических и немеханических ТС в условиях городской среды возникают в результате нарушений водителями правил дорожного движения. Из 1722 ДТП по причине нарушения ПДД водителями 450 ДТП произошло с водителями в возрасте от 30 до 40 лет. Вероятность возникновения ДТП в условиях городской среды с участием таких водителей составит 0,2, при этом с участием водителей легковых автомобилей 0,15. Т.е. 20% ДТП возникает в городской среде по вине водителей возрастом от 30 до 40 лет, при этом 15% ДТП с участием водителей легковых автомобилей.

В развитии концепции обеспечения БДД и эффективной реализации допуска водителей к участию в дорожном движении необходимо формирование научно-методологического подхода определения влияния параметров подготовленности водителей с учётом внешней среды.

Осуществление регионального обеспечения БДД основано на ранжировании регионов РФ с учётом их особенностей и ключевых факторов состояния аварийности. «Отнесение городов и регионов РФ к определенным типам» определяется одним из условий эффективной региональной политики с основным принципом «дифференцированный подход к реализации мер государственной поддержки регионов и муниципальных образований в зависимости от их социально-экономических и географических особенностей», – зафиксировано в Указе Президента РФ от 16.01.2017 №13.

Необходимость мониторинга в области безопасности дорожного движения обусловлена важностью определения тенденции аварийности не по общему состоянию, а по отдельным показателям. Необходимо провести ранжирование регионов РФ по отдельным показателям состояния БДД с учётом параметров подготовленности водителей с целью формирования и реализации мероприятий, направленных на повышение БДД применительно к каждому региону.

Анализ регионов по уровню БДД по причине нарушения ПДД водителями ТС выполнялся в программе Python. Число кластеров определялось по процедуре разделения методом *k-means*. Векторное квантование очень чувствительно к размерности пространства признаков: количество центров кластеров экспоненциально растёт с ростом размерности. Поэтому для ускорения и улучшения векторного квантования необходимо удалить показатели, не влияющие на кластеризацию.

Информационную базу исследования составили данные объемом  $81 \times 14 \times 5$ , где 81 – количество субъектов РФ (на момент проведения исследования); 14 показателей социально-экономического состояния регионов РФ, в полной мере

учитывающие административно-территориальные образования РФ; 5 лет временного периода наблюдений.

Анализ мультиколлинеарности на основе матрицы коэффициентов корреляции позволил определить уровень связи между факторами. Сформированы 11 кластеров (таблица 1) на основании восьми независимых между собой параметров, характеризующих социально-экономическое состояние регионов РФ и показателей аварийности в регионах РФ – количество ДТП с пострадавшими, ед. на 100 тыс., число собственных легковых автомобилей, ед. на 1000 чел., денежные доходы в расчете на душу населения, руб. в месяц, плотность населения, чел. на 1 кв. км, миграционный прирост, чел., количество погибших, чел., тяжесть последствий – количество погибших на 100 пострадавших по вине водителей, финансовое обеспечение проекта БКД, руб.

Таблица 1 – Нормализованное представление данных и класс регионов по состоянию БДД РФ с учётом подготовленности водителей. Фрагмент

Регион	$x_3$	$x_4$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_{10}$	$x_{12}$	$x_{14}$	klass
Алтайский край	0,57511	0,51388	0,10968	0,02636	0,06506	0,26730	0,18859	0,49748	9
Амурская область	0,81614	0,45835	0,24995	0,00404	0,09910	0,15016	0,23684	0,94773	2
Брянская область	0,43778	0,23856	0,17607	0,06561	0,09870	0,1459	0,29386	0,42411	1
г. Севастополь	0,66760	0,47146	0,20438	1	0,15974	0,01810	0	0,21685	3
Камчатский край	0,69618	1	0,54005	0,00115	0,08618	0,05750	0,27631	0,09370	0
.....									

Сформированы качественные характеристики регионов РФ, соответствующие полученным одиннадцати кластерам. Например, регионам девятого кластера (к которому относится 19 регионов, в том числе Пензенская область, Оренбургская область, Омская область и др.) соответствуют высокие показатели уровня автомобилизации, аварийности по вине водителя и тяжести последствий, численность населения, при этом выделяются высокие суммы субсидий на обеспечение дорожной деятельности и финансовое обеспечение дорожной деятельности в рамках реализации национального проекта «Безопасные качественные дороги».

Мониторинг состояния аварийности по параметрам подготовленности водителей позволит выявить субъекты РФ, требующие первоочередных мер по обеспечению БДД, а также субъекты РФ, где наблюдается положительная динамика в области обеспечения безопасности дорожного движения, подробнее в работах автора [18, 19].

Для оценки состояния безопасности дорожного движения определены 23 параметра, которые в свою очередь образуют 4 индекса, определяющих подготовленность как качество водителей в предотвращении ДТП:  $K_b$  – индекс БДД в зависимости от возраста водителя;  $K_c$  – индекс БДД в зависимости от стажа управления;  $K_y$  – индекс БДД в зависимости от категории водительского удостоверения;  $K_h$  – индекс БДД в зависимости от целевой группы водителей.

В результате анализа статистических данных ДТП по регионам РФ получены эмпирические линейные уравнения множественной регрессии (таблица 2) вида:

$$Y = f(\beta, Q) + \varepsilon \quad (7)$$

где  $Q = Q(Q_1, Q_2, \dots, Q_m)$  – независимые переменные, являющиеся показателями аварийности;  $\beta$  – вектор параметров (подлежащих определению);  $\varepsilon$  – случайная ошибка;  $Y$  – зависимая переменная БДД.

Эмпирическое уравнение множественной регрессии:

$$Y = b_0 + b_1Q_1 + b_2Q_2 + \dots + b_mQ_m + e \quad (8)$$

где  $b_0, b_1, \dots, b_m$  – оценки теоретических значений  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$  эмпирических коэффициентов регрессии;  $e$  – оценка отклонения  $\varepsilon$ .

Коэффициенты регрессии  $\beta$  рассчитываются в результате выполнения регрессионного анализа методом Гаусса. Для каждой независимой переменной  $Q$  вычисляются величины, которые представляют силу взаимосвязи независимой переменной по отношению к зависимой  $K_b, K_c, K_y, K_h$ .

Таблица 2 – Система уравнений влияния параметров, характеризующих подготовленность водителей на показатели БДД с учётом регионов РФ

Индекс	Система уравнений	Коэффициенты регрессии $\beta$ (вес)
БДД в зависимости от возраста водителя, $K_b$	$Y = -48,3835 + 1,2508Q_{b_1} + 0,04935Q_{b_2} - 0,5116Q_{b_3} + 2,0753Q_{b_4} + 1,6701Q_{b_5} + 0,9225Q_{b_6} + 1,9036Q_{b_7} + 1,4464Q_{b_8} - 2,8329Q_{b_9}$	$\beta_{b_1} = 0,0116; \beta_{b_2} = 0,00187; \beta_{b_3} = 0,0443; \beta_{b_4} = 0,245; \beta_{b_5} = 0,415; \beta_{b_6} = 0,145; \beta_{b_7} = 0,206; \beta_{b_8} = 0,0891; \beta_{b_9} = -0,0656$
БДД в зависимости от стажа управления, $K_c$	$Y = -28,7027 + 0,008Q_{c_1} + 1,7721Q_{c_2} + 0,204Q_{c_3} + 1,7009Q_{c_4} + 1,7572Q_{c_5} + 0,9111Q_{c_6}$	$\beta_{c_1} = 0,035; \beta_{c_2} = 0,112; \beta_{c_3} = 0,0215; \beta_{c_4} = 0,297; \beta_{c_5} = 0,254; \beta_{c_6} = 0,332$
БДД в зависимости от категории водительского удостоверения, $K_y$	$Y = -30,8082 + 1,1917Q_{y_1} + 0,9843Q_{y_2} + 1,4334Q_{y_3} + 1,4829Q_{y_4}$	$\beta_{y_1} = 0,851; \beta_{y_2} = 0,0692; \beta_{y_3} = 0,0514; \beta_{y_4} = 0,0434$
БДД в зависимости от целевой группы водителей, $K_h$	$Y = 0,9844Q_{h_1} + 1,1657Q_{h_2} + 0,0168Q_{h_3} - 13,9526$	$\beta_{h_1} = 0,828; \beta_{h_2} = 0,0362; \beta_{h_3} = -0,0987$

где  $Q_{b_1} \dots Q_{b_9}$  – независимые переменные БДД в зависимости от возраста водителя (до 18 лет, от 18 до 21 года, от 21 до 25 лет, от 25 до 30 лет, от 30 до 40 лет, от 40 до 50 лет, от 50 до 60 лет, от 60 до 70 лет, старше 70 лет), ед.;  $Q_{c_1} \dots Q_{c_6}$  – независимые переменные БДД в зависимости от стажа управления (без стажа, до 2-х лет, от 2 до 5 лет, от 5 до 10 лет, от 10 до 15 лет, свыше 15 лет), ед.;  $Q_{y_1} \dots Q_{y_4}$  – независимые переменные БДД в зависимости от категории водительского удостоверения водителя («В», «С», «Д», «А»), ед.;  $Q_{h_1} \dots Q_{h_3}$  – независимые переменные БДД в зависимости от целевой группы водителей, в соответствии с рисунком 14 – 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3, ед.;  $\beta_{b_1} \dots \beta_{b_9}$  – коэффициент регрессии (вес) показателя параметра возраста водителя;  $\beta_{c_1} \dots \beta_{c_6}$  – коэффициент регрессии (вес) показателя параметра стажа управления ТС;  $\beta_{y_1} \dots \beta_{y_4}$  – коэффициент регрессии (вес) показателя параметра категории водительского удостоверения водителя («В», «С», «Д», «А»);  $\beta_{h_1} \dots \beta_{h_3}$  – коэффициент регрессии (вес) показателя параметра целевой группы водителей.

Пример интерпретации параметров модели индекса БДД в зависимости от

возраста водителя  $K_b$ : увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте до 18 лет ( $Q_{b_1}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 1,251 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 18 до 21 года ( $Q_{b_2}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 0,0493 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 21 года до 25 лет ( $Q_{b_3}$ ) приводит к уменьшению показателя БДД в среднем на 0,512 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 25 до 30 лет ( $Q_{b_4}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 2,075 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 30 до 40 лет ( $Q_{b_5}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 1,67 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 40 до 50 лет ( $Q_{b_6}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 0,923 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 50 до 60 лет ( $Q_{b_7}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 1,904 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем в возрасте от 60 до 70 лет ( $Q_{b_8}$ ) приводит к увеличению показателя БДД в среднем на 1,446 единиц измерения; увеличение на 1 единицу измерения показателя аварийности по причине нарушения ПДД водителем старше 70 лет ( $Q_{b_9}$ ) приводит к уменьшению показателя БДД в среднем на 2,833 единиц измерения. По максимальному коэффициенту  $\beta_5=0,415$  делаем вывод, что наибольшее влияние на показатель БДД оказывает  $Q_{b_5}$  – возраст водителя от 30 до 40 лет. Статистическая значимость уравнений проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 99,59% значений показателей аварийности объясняется изменением факторов  $Q_j$ .

Системная модель БДД с учётом подготовленности водителей примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_b = \sum_{b=1}^9 k_b \beta_b \quad Q_{b_i} > 0 \\ K_c = \sum_{c=1}^6 k_c \beta_c \quad Q_{c_i} > 0 \\ K_y = \sum_{y=1}^4 k_y \beta_y \quad Q_{y_i} > 0 \\ K_h = \sum_{h=1}^3 k_h \beta_h \quad Q_{h_i} > 0 \end{array} \right. \quad (9)$$

Метод подготовки водителей учитывает условия, при которых должна осуществляться подготовка, например, при лишении прав управления ТС в установленных законом случаях; определяет последовательность подготовки водителей разных целевых групп, например, управляющих транспортным средством при осуществлении трудовых функций; учитывает параметры подготовленности водителей и средства передвижения. Разделение уровня знаний, умений и навыков на «достаточные» и «неудовлетворительные» проводится с помощью установки пороговых значений в соответствии с общепринятыми в РФ, подробнее в работах автора [1 – 7, 14, 23 – 27]. Алгоритм содержит процедуры контроля уровня знаний, умений и навыков по разработанным базам заданий и подготовки водителей (рисунок 13).

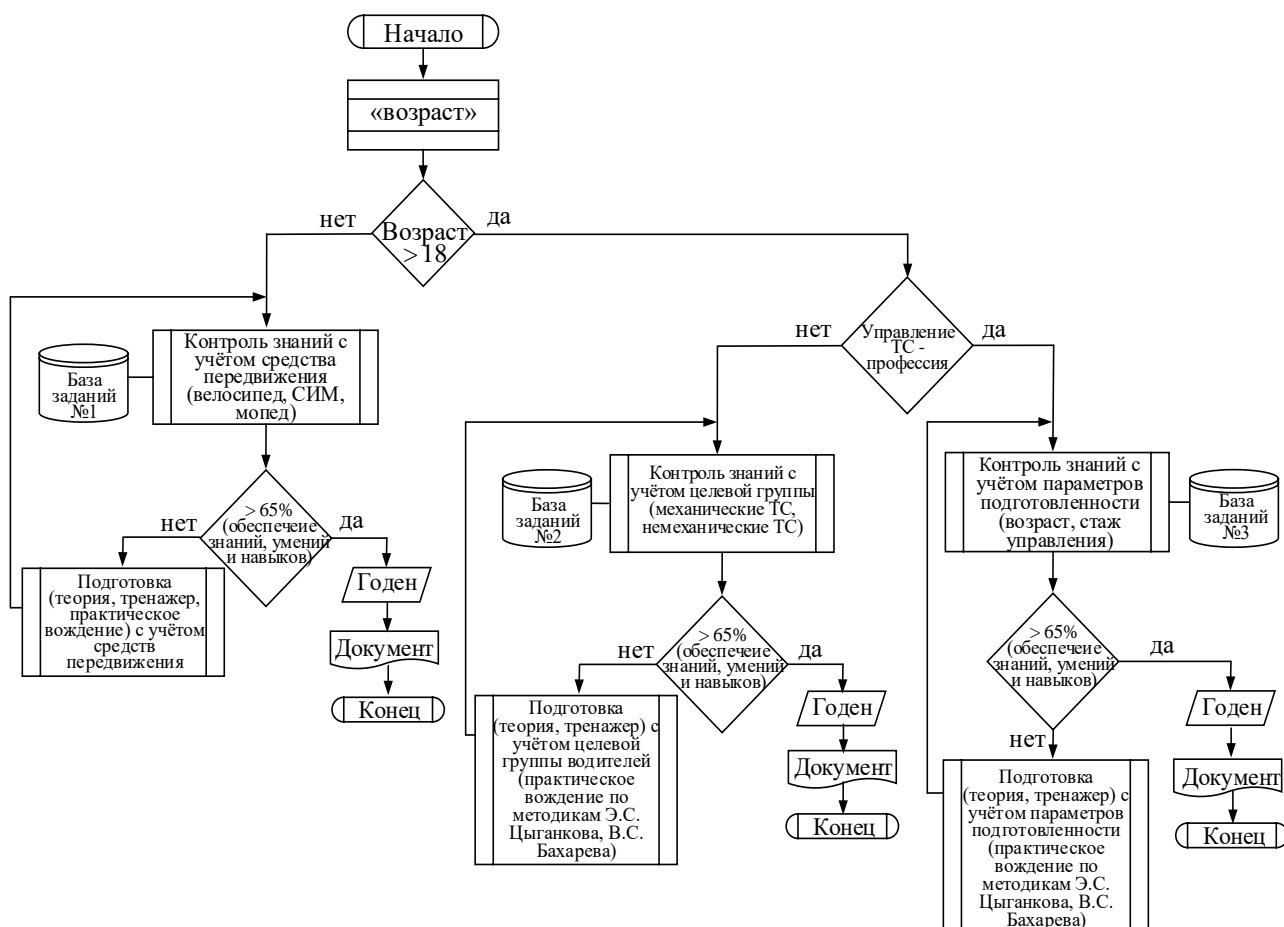


Рисунок 13 – Алгоритм подготовки водителей

Прогнозирование показателей аварийности с учётом подготовленности водителей заключается в нахождении целевой переменной – показателя  $Y$  на основе множества  $n$  входных переменных: данные о показателях подготовленности водителей, чьи осознанные или неосознанные действия стали причиной ДТП: целевая группа  $CATEG \in \{1, 2, 3\}$ ; социальная категория  $SOCATEG \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ ; нарушения правил дорожного движения  $PDD \in \{0, 1, 2, 3, 4, \dots, 97\}$ ; возраст  $AGE \in \{0, 1, 2, 3, 4, \dots, 100\}$ ; стаж управления  $MANAGEM \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ ; данные о показателях подготовленности водителя до 18 лет: целевая группа  $CATEGCHILD \in \{1, 2, 3\}$ ; возраст  $AGECHILD$

$\in \{0, 1, 2, 3, 4, \dots, 18\}$ ; социальная категория SOCATEGCHILD  $\in \{0, 1, 2, 3, 4\}$ ; стаж управления MANAGEMCHILD  $\in \{0, 1, 2, 3, 4\}$ ; нарушения правил дорожного движения PDDCHILD  $\in \{0, 1, 2, 3, 4, \dots, 50\}$ . Результатом является прогнозирование количества ДТП в заданных условиях, а также прогноз по конкретным показателям ДТП, подробнее в работе автора [12].

Разработка мероприятий, направленных на обеспечение подготовленности водителей, выполняется после формирования набора данных, которые включают данные о виде ДТП, нарушениях ПДД водителями целевой группы, возрасте и стаже управления ТС, тяжести последствий ДТП, количестве погибших и раненых по причине несоблюдения ПДД водителями механических и немеханических транспортных средств и пр. Для планирования мероприятий по предотвращению ДТП, выполняется ранжирование ДТП по задаваемым показателям, например, по тяжести последствий, целевой группе водителей – водитель механического ТС, водитель велосипеда, водитель средства индивидуальной мобильности и т.д.

**Четвертый раздел «Экспериментальные исследования безопасности дорожного движения с учётом параметров подготовленности водителей»** посвящён практическому подтверждению результатов теоретических исследований, подробнее в работах автора [2 – 6, 13, 22 – 25].

На первом этапе экспериментальных исследований разрабатывалось методическое обеспечение, осуществлялся выбор и подготовка объектов исследований к эксперименту. На втором этапе проводилась реализация методов в реальных условиях, анализировались результаты для определения эффективности методов и разрабатывались практические рекомендации в виде программ подготовки, подробнее в работах автора [2 – 6].

По результатам обработки проведенных экспериментов, в ходе которых регистрировались совершаемые нарушения ПДД или действия, способствующие совершению аварийной ситуации, определен оптимальный уровень знаний водителей. Уровень «неудовлетворительный» соответствует списку и количеству «грубых» нарушений, уровень «достаточный» соответствует списку и количеству «средних» нарушений. Более 50% водителей обладали «неудовлетворительным» уровнем знаний и навыков.

Выявлены наиболее часто совершаемые нарушения ПДД водителями разных целевых групп (рисунок 14). В первую очередь изучены темы, по которым получено наибольшее количество нарушений по каждой целевой группе водителей (рисунок 15). Тестовая (для отработки знаний) и тренажёрная (для отработки умений и навыков) тренировки дают возможность установить индивидуальные особенности каждого из обучаемых, их типичные ошибки, отработать навыки управления транспортным средством в сложных дорожных условиях и сделать заключение об успешности проведённой подготовки.

Исследования изменения уровня знаний подтвердили выдвинутое предположение, что с течением длительного времени уровень знаний, умений и навыков водителей изменяется в худшую сторону, что отрицательно влияет на уровень БДД. За продолжительный период времени изменение уровня знаний и навыков происходит по кривой скользящей средней:



$$SMA_t = \frac{p_t + p_{t-1} + p_{t-2} + p_{t-3} + p_{t-4} + p_{t-5} + p_{t-6} + p_{t-7} + p_{t-8}}{9} = SMA_{t-1} - \frac{p_{t-9}}{9} + \frac{p_t}{9} \quad (10)$$

где  $SMA_t$  – значение простого скользящего среднего в точке  $t$ ;  $p_t$  – значение исследуемой функции в точке  $t$ ;  $p_{t-i}$  – значение исходной функции в момент времени, отдалённый от текущего на  $i$  интервалов; 9 – количество периодов временного ряда на основании статистических данных аварийности по возрасту водителя.

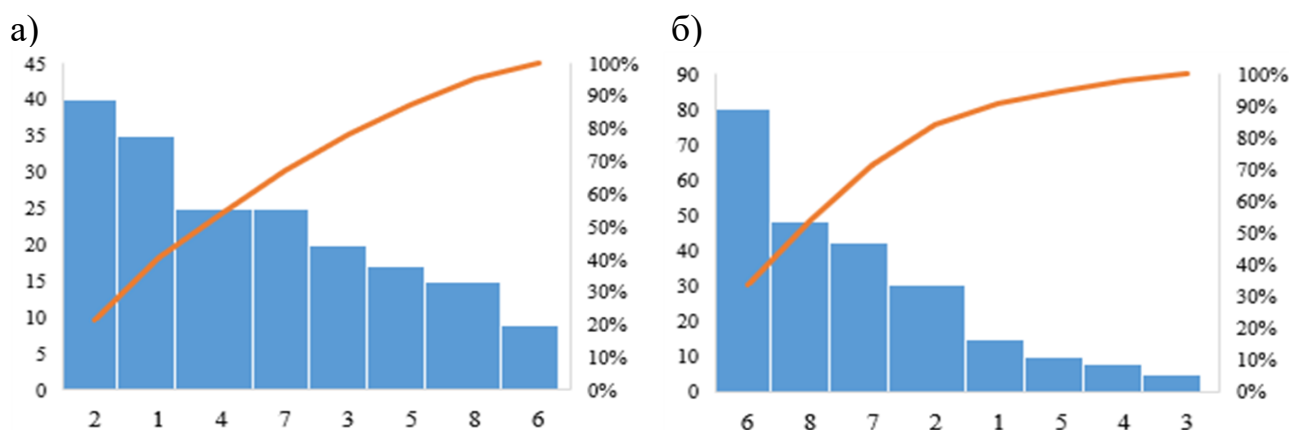


Рисунок 14 – Распределение нарушений ПДД водителями

а) водители механических ТС, б) водители немеханических ТС

1 – скоростной режим, 2 – правила расположения ТС на проезжей части, 3 – движение по полосам, 4 – дистанция, 5 – очередность проезда, 6 – непредоставление преимущества пешеходу, 7 – боковой интервал, 8 – требований сигнала светофора

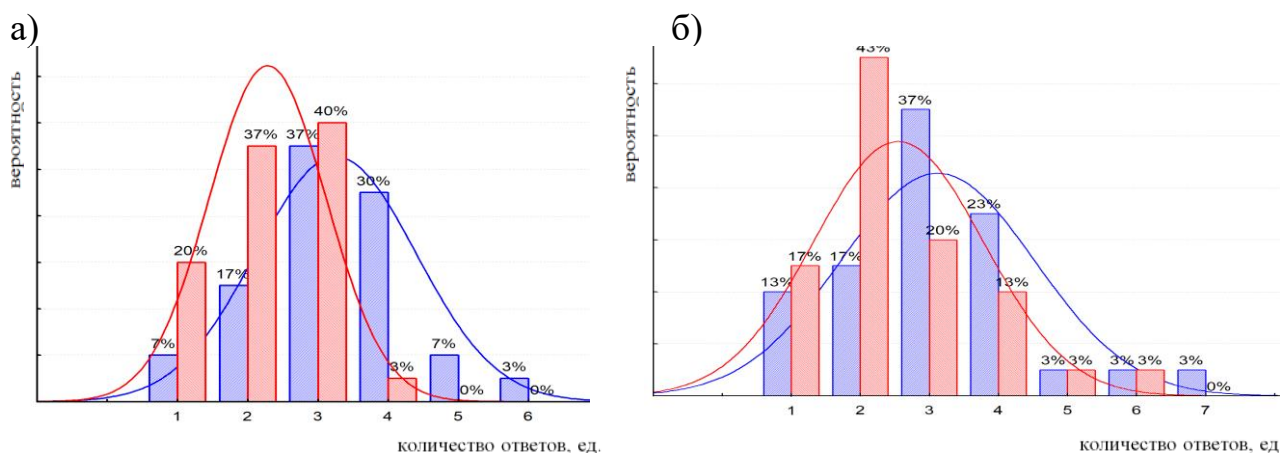


Рисунок 15 – Результаты тестирования водителей

а) водители механических ТС; б) водители немеханических ТС

красная линия – входной контроль, синяя линия – итоговый контроль

Снижение уровня знаний достигало в ряде случаев 50%. Так, среди водителей немеханических транспортных средств снижение уровня знаний составило от 25 до 40%, среди водителей СИМ – от 30 до 50%, среди водителей механических ТС – от 10 до 30%.

**Пятый раздел «Практические рекомендации для повышения безопасности дорожного движения на территории Пензенской области» посвящен изложению вопросов практической реализации результатов выполненных исследований и оценке их эффективности.**

Теоретические исследования позволили отнести Пензенскую область к девятому кластеру, характеризующемуся высоким уровнем аварийности, что свидетельствует о недостаточности применяемых мер для обеспечения БДД.

Практическая реализация метода прогнозирования показателей аварийности заключается в разработке модуля прогнозирования и является частью задачи по разработке программного обеспечения для визуализации данных мониторинга нарушений правил дорожного движения водителями. Модуль включён в состав многофункциональной геоинформационной системы Пензенской области, предназначенной для сбора, обработки и анализа данных, их отображения и использования при подготовке и принятии решений, касающихся обеспечения БДД.

На основе разработанного метода прогнозирования показателей аварийности с учётом массива статистических данных ДТП по улично-дорожной сети г. Пензы визуализация ДТП на карте (рисунок 16) позволяет детально просматривать месторасположение ДТП по причине нарушения ПДД водителем, дополнительную информацию (адрес, причины ДТП, вид ТС, возраст водителя и стаж управления транспортным средством, количество ДТП, погибших и раненых, количество ДТП без пострадавших), что способствует своевременной разработке предложений по составу мероприятий, направленных на обеспечение БДД на заданном участке.

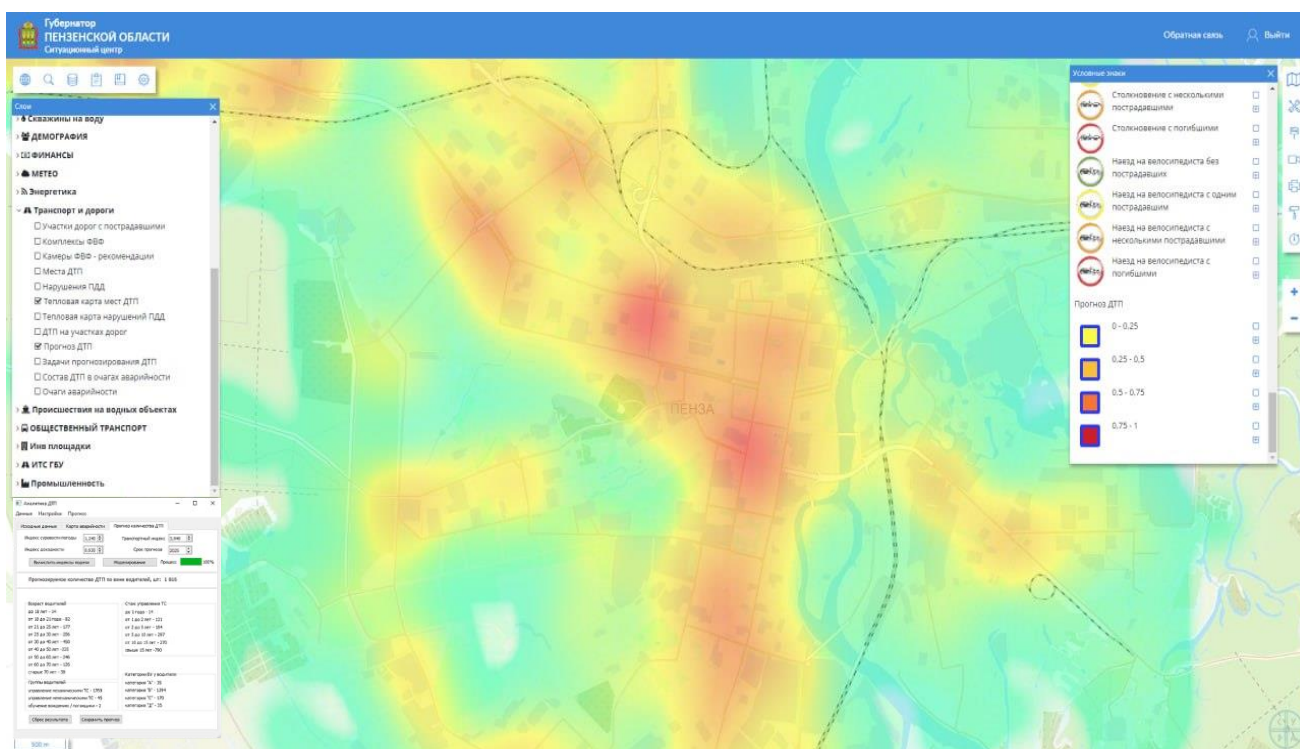


Рисунок 16 – Визуализация аналитики и прогнозирования ДТП на УДС г. Пензы

Region	x161	Pred	rezidal	rm
Владимирская область	170	163.469543	6.530457	3.841445
Воронежская область	221	214.986542	6.013458	2.721022
Курская область	130	123.697662	6.302338	4.847952
Липецкая область	116	109.102966	6.897034	5.945719
Рязанская область	127	122.847656	4.152344	3.269562
Тульская область	154	150.473846	3.526154	2.289710
Ярославская область	143	137.567230	5.432770	3.799140
Вологодская область	138	130.327393	7.672607	5.559860
Республика Татарстан (Татарстан)	292	277.711975	14.288025	4.893159
Пермский край	180	172.239349	7.760651	4.311473
Нижегородская область	374	365.530975	8.469025	2.264445
Оренбургская область	177	169.886414	7.113586	4.018975
Пензенская область	126	122.801933	3.198067	2.538148
Саратовская область	220	206.858398	13.141602	5.973455
Алтайский край	211	200.714783	10.285217	4.874511
Красноярский край	250	233.686279	16.313721	6.525488
Иркутская область	176	162.824066	13.175934	7.486326
Кемеровская область	214	202.648438	11.351562	5.304468
Омская область	156	150.572098	5.427902	3.479425

Рисунок 17 – Результат прогнозирования показателей аварийности с участием водителей со стажем управления до 2-х лет для регионов. Пример

На этапе предварительных испытаний программно-аппаратного комплекса прогнозирования показателей ДТП произведена апробация модуля на основе массива статистических данных ДТП по регионам РФ, имеющегося на момент апробации. Результат прогнозирования показателей аварийности показал величину абсолютной погрешности в пределах 2 – 7 % в зависимости от исходных данных (рисунок 17), что свидетельствует о достаточной валидации и возможности использования данного метода прогнозирования.

В процессе определения уровня БДД Пензенской области используются коэффициенты предпочтения, которые задаются на этапе анализа частных показателей в зависимости от цели анализа. С помощью сортировки возможно выделить значимые показатели по совокупности показателей аварийности с учётом их степени важности с точки зрения цели исследователя (таблица 3). Например, по количеству погибших  $k_1=0,1$ , по количеству раненых  $k_2=0,2$ , по количеству ДТП  $k_3=0,7$ .

Таблица 3 – Определение уровня БДД на участке УДС г. Пензы при разных значениях коэффициентов предпочтения. Пример

Коэффициент предпочтения		№ участка				Нормированные показатели			
		1	2	3	4	1	2	3	4
Погибло	$k_1=0,1$	5	1	0	0	0,1	0,02	0	0
Ранено	$k_2=0,2$	3	0	2	1	0,2	0	0,13	0,06
ДТП	$k_3=0,7$	6	4	10	5	0,23	0	0,7	0,11
<i>Итоговый <math>k_i</math></i>						<b>0,53</b>	<b>0,02</b>	<b>0,83</b>	<b>0,17</b>

Оценка эффективности мероприятий, проведенных в соответствии с разработанной методикой, после их реализации осуществляется на основе сопоставления наблюдаемого уровня аварийности до проведения подготовки водителей соответствующей целевой группы с уровнем аварийности после их проведения (таблица 4).

Таблица 4 – Исходные данные для оценки эффективности мероприятий

№ п/п	«До» подготовки			«После» подготовки		
	Кол-во водителей, чел.	Кол-во ДТП, ед.	ДТП на 100 водителей	Кол-во водителей, чел.	Кол-во ДТП, ед.	ДТП на 100 водителей
1	34	5	0,15	43	5	0,11
2	45	4	0,09	44	3	0,07
3	36	6	0,17	38	5	0,13
4	90	17	0,19	103	15	0,14

Данные (средние значения за 3 года) по четырем предприятиям показывают изменение от -2,7% до +26,4% количества водителей и снижение от 11,7% до 25% количества ДТП в период проведения исследований.

Расположение точек (рисунок 18) показывает наличие и характер связи между двумя переменными (количество ДТП на 100 водителей на предприятиях «до» и «после» проведения мероприятий).

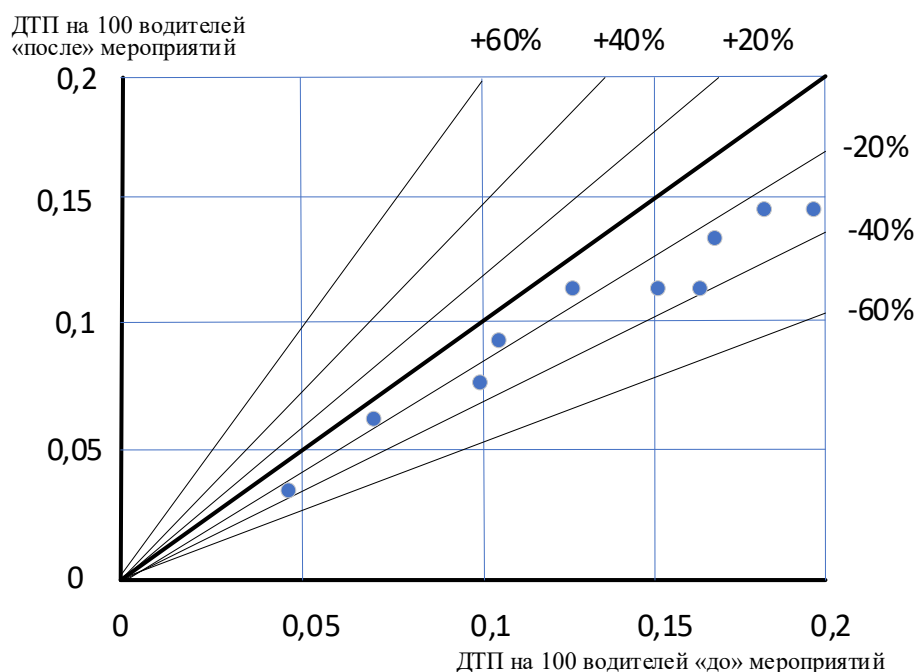


Рисунок 18 – Диаграмма эффективности проведенных мероприятий для водителей старше 25 лет

Мероприятия по подготовке водителей показали эффективность в сокращении количества ДТП и в ряде случаев составляли 70%. Результатом проведенных мероприятий в предприятиях г. Пензы стало снижение количества ДТП от 10% до 70% водителями со стажем управления более 2-х лет и от 5% до 49 % водителями в возрасте от 35 лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненного исследования решена научно-практическая проблема, имеющая важное социально-экономическое значение: предложены новые научно-обоснованные методы, математические модели и технические

решения, способствующие развитию методологии обеспечения безопасности дорожного движения с учётом подготовленности водителей.

1. В рамках развития концепции БДД предложена методология обеспечения безопасности дорожного движения на основе выявленных закономерностей влияния подготовленности водителей на значения показателей аварийности с учётом региональных особенностей, позволяющая повысить качество планирования и реализации мероприятий по обеспечению БДД.

2. Теоретически обоснован и разработан метод ранжирования регионов по уровню безопасности дорожного движения с учётом параметров внешней среды, позволивший с учётом восьми независимых между собой параметров социально-экономического развития регионов РФ сформировать одиннадцать территориальных кластеров и выявить субъекты РФ с положительной динамикой в области обеспечения БДД, а также субъекты РФ, требующие реализации первоочередных мер по обеспечению БДД.

3. Предложена система показателей аварийности, включающая новые показатели – индексы безопасности дорожного движения, обеспечивающие комплексную оценку безопасности дорожного движения. Разработан и теоретически обоснован оценочный комплекс из двадцати двух параметров подготовленности водителей и условий внешней среды, интегрированных в четыре индекса БДД для количественной оценки уровня безопасности дорожного движения, позволяющий на основе статистических данных ДТП по регионам РФ построить регрессионные зависимости для выявления наиболее значимых параметров подготовленности водителя на уровень БДД.

4. Предложена математическая модель для оценки вероятности возникновения ДТП, связанных с нарушением ПДД водителями транспортных средств с учётом региональных особенностей, и осуществлена её верификация. Модель построена с учётом статистических данных, подтверждающих, что 73% ДТП с участием механических и немеханических ТС в городской среде возникает в результате нарушений водителями правил дорожного движения, 20% ДТП в городской среде происходит по вине водителей возрастом от 30 до 40 лет, причём 15% ДТП – с участием легковых автомобилей.

5. Разработан и экспериментально проверен метод подготовки водителей различных целевых групп. В ходе апробации метода существующая классификация причин, способствующих совершению ДТП водителями, дополнена причинами «Ошибки, вызванные физическим, психологическим, эмоциональным состоянием, обуславливающим подготовленность (возраст, стаж управления)» и «Ошибки, вызванные отсутствием актуальных знаний о Правилах дорожного движения, умений, навыков». Подтверждено изменение уровня знаний ПДД водителями в случае продолжительного времени осуществления профессиональной деятельности без дополнительной подготовки (у водителей немеханических ТС снижение уровня знаний составило 25% – 50%, у водителей механических ТС – 10% – 30% в течение трёх наблюдаемых лет).

Эффективность от внедрения разработанных научных положений оценена на примере Пензенской области. Положительный эффект от реализации



предложенных практических рекомендаций по снижению уровня аварийности достигал в ряде случаев 70%, отрицательных результатов не наблюдалось.

Предложенные концепция и методология позволяют оценить уровень безопасности дорожного движения с учётом параметров подготовленности водителей, что является необходимым условием для реализации основного направления стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 – 2024 годы – совершенствование методов обучения водителей для обеспечения их качественной подготовки и адаптации к участию в дорожном движении. Это, в свою очередь, обеспечивает значимый социальный эффект (на примере Пензенской области, снижение на 120 ДТП в год).

Совокупность практических рекомендаций по применению проектных решений, направленных на повышение уровня БДД с учётом параметров подготовленности водителей разных целевых групп, представлена в комплекте оценочных средств, методических материалов и подтверждена актами внедрения и свидетельствами о регистрации интеллектуальной собственности.

Направлением дальнейших исследований является совершенствование методологии представления и обработки данных аварийности по причине нарушения правил дорожного движения водителями механических и немеханических транспортных средств.

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:**

**– в рецензируемых научных изданиях из «Перечня...» ВАК:**

1. **Ильина, И.Е.** Проблемы подготовки водителей категории «В» и пути их решения / И.Е. Ильина, А.А. Юмаева, Н.Р. Бахтеев, О.М. Серова // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 2 (37). – С. 117-122 (К2, 0,31 п.л. / 0,25 п.л.).

2. **Ильина, И.Е.** Использование автотренажёров в обучении водителей категории «В» / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, А.И. Звижинский, С.А. Евстратова // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 1 (40). – С. 103-108 (К2, 0,31 п.л. / 0,25 п.л.).

3. **Ильина, И.Е.** Определение согласованности оценок по результатам тестирования водителей / И.Е. Ильина, Е.И. Титова, Д.А. Кротова // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 4 (47). – С. 131-138 (К2, 0,44 п.л. / 0,34 п.л.).

4. **Ильина, И.Е.** Применение тренажёра ТА-2 для оценки психофизиологических особенностей кандидатов в водители / И.Е. Ильина, Е.С. Куприянова, Д.А. Кротова // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 3 (46). – С. 128-135 (К2, 0,44 п.л. / 0,34 п.л.).

5. **Ильина, И.Е.** Исследования психофизиологических особенностей кандидатов в водители на тренажёре ТА-2 / И.Е. Ильина, М.Г. Богаткина, С.А. Евстратова // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 1 (44). – С. 112-117 (К2, 0,31 п.л. / 0,25 п.л.).

6. **Ильина, И.Е.** Исследование возможности предотвращения дорожно-

транспортного происшествия при использовании пограничных значений / И.Е. Ильина, В.И. Буркина // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 3 (50). – С. 77-83 (К2, 0,38 п.л. / 0,28 п.л.).

7. **Ильина, И.Е.** Экспертная оценка факторов, влияющих на эффективность оказания транспортных услуг по перевозке строительных грузов / И.Е. Ильина, А.С. Квасова // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №1(60). – С. 115-120 (К2, 0,31 п.л. / 0,25 п.л.).

8. **Ильина, И.Е.** Приемы оценки безопасности дорожного движения: обзор / И.Е. Ильина // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 1 (86). – С. 22-25 (К1, 0,375 п.л.).

9. **Ильина, И.Е.** Выявление и оценка влияния человеческого фактора в возникновении дорожно-транспортного происшествия / И.Е. Ильина // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – №9. – С. 59-62 (К2, 0,375 п.л.).

10. **Ильина, И.Е.** Методология стратификации субъектов РФ по состоянию безопасности дорожного движения / И.Е. Ильина, Е.Е. Витвицкий // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 3(78). – С. 76-82 (К2, 0,38 п.л. / 0,28 п.л.).

11. **Ильина, И.Е.** Определение потенциальных мест ДТП с целью прогнозирования аварийности с учётом человеческого фактора / И.Е. Ильина // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2 (82). – С. 74-80 (К2, 0,38 п.л.).

**– публикации в наукометрических базах Scopus и Web of Science:**

12. **Ильина, И.Е.** Comparative quantitative and temporal analysis of «minor violations» of men and women in car simulator (Сравнительный количественный и временной анализ «незначительных нарушений» у мужчин и женщин в автосимуляторе) / V.V. Lyandenburskiy, I.E. Ilina, Y.V. Rodionov, S.A. Pylaykin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Т. 8. – №5-8. – С. 335-339 (К1, 0,75 п.л. / 0,5 п.л.).

13. **Ильина, И.Е.** Conceptual foundations of the theory of road safety (Концептуальные основы теории безопасности дорожного движения) / I.E. Ilina // MATEC Web Conf. The VII International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Management of Transport Systems» (ITMTS 2021) Volume 341, 2021 Published online: 21 July 2021 (К3, 0,75 п.л.).

14. **Ильина, И.Е.** Modeling of accident rates involving trucks in order to improve road safety in the Russian Federation (Моделирование аварийности с участием грузовых автомобилей с целью повышения безопасности дорожного движения в Российской Федерации) / I.E. Ilina // E3S Web Conf. Volume 281, 2021 IV International Scientific Conference «Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development» (CATPID-2021 Part 1) (К3, 0,75 п.л.).

**– патенты и свидетельства:**

15. **Ильина, И.Е.** Тренажёр для обучения курсантов вождению автомобиля и контроля корректирующих действий инструктора / В.В. Лянденбургский, Ю.В. Родионов, С.А. Пылайкин, Г.И. Шаронов, И.Е. Ильина // Патент RU 152219 U1. – Заявка №2014129197/11 от 15.07.2014. – Решение о выдаче патента 10.05.2015.

16. **Ильина, И.Е.** Аварийность на автомобильном транспорте. Зонирование регионов РФ по категории «стаж управления транспортным средством» / И.Е. Ильина // Свид-во о регистрации базы данных 2021621020. – Заявка №2021620877 от 05.05.2021 – Решение о выдаче свидетельства 20.05.2021.

17. **Ильина, И.Е.** Аварийность на автомобильном транспорте. Зонирование регионов РФ по категории «возраст водителя-участника ДТП» / И.Е. Ильина // Свид-во о регистрации базы данных 2021622284. – Заявка №2021622187 от 18.10.2021. – Решение о выдаче свидетельства 26.10.2021.

18. **Ильина, И.Е.** Оценка знаний правил безопасного дорожного движения. Тестовые вопросы для учеников 1 – 4 классов / И.Е. Ильина // Свид-во о регистрации базы данных 2022621089. – Заявка № 2022620870 от 25.04.2022. – Решение о выдаче свидетельства 16.05.2022.

19. **Ильина, И.Е.** Оценка знаний правил безопасного дорожного движения. Тестовые вопросы для учеников 5 – 9 классов / И.Е. Ильина // Свид-во о регистрации базы данных 2022621090. – Заявка № 2022620871 от 25.04.2022. – Решение о выдаче свидетельства 16.05.2022.

– **монографии:**

20. **Ильина, И.Е.** Подготовка водителей к управлению автомобилем. Обучение управлению автомобилем водителей с ограниченными возможностями: монография / И.Е. Ильина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 164 с. (10,25 п.л.).

21. **Ильина, И.Е.** Применение автотренажёров при обучении водителей категории «В»: монография / И.Е. Ильина, В.В. Лянденбургский, С.А. Пылайкин. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 220 с. (13,75 п.л. / 6,88 п.л.).

22. **Ильина, И.Е.** Исследования возможности применения психофизиологических тренажёров при подготовке водителей: монография / И.Е. Ильина. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 132 с. (9,43 п.л.).

23. **Ильина, И.Е.** Проблема качества подготовки курсантов в автошколе: монография / И.Е. Ильина. – Пенза: ПГУАС, 2019. – 148 с. (9,25 п.л.).

– **в других изданиях: 42 научные работы**

Подписано в печать . Формат 60x84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 2. Уч.-изд. л. 2. Тираж 150 экз. Заказ №  
Пензенский государственный аграрный университет  
440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30