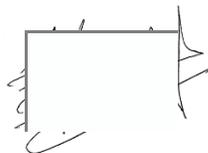


На правах рукописи



ЛУКАШОВ БОГДАН ВИТАЛЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА АВТОТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЕРТИЗЫ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ПРОИСШЕСТВИЙ С УЧАСТИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ КАТЕГОРИЙ M2, N2, N3**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Евтюков Сергей Аркадьевич

Официальные оппоненты: **Новиков Иван Алексеевич**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова», транспортно-технологический
институт, директор;

Дорохин Сергей Владимирович
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени
Г.Ф. Морозова», автомобильный факультет,
декан;

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Орловский государственный
университет имени И.С. Тургенева».**

Защита состоится 16 июня 2025 года в 11.00 на заседании диссертационного совета 24.2.380.05 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория № 220 главного корпуса). Тел./факс: (812) 316-58-73; e-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/lukashov-bogdan-vitalevich>

Автореферат разослан «05» мая 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С. М. Грушецкий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обеспечение безопасности дорожного движения (ОБДД) относится к государственной задаче, имеющей социально-экономическое значение в Российской Федерации. Нарастание дорожно-транспортных происшествий (ДТП) наносит невозвратимый ущерб участникам дорожного движения, дорожной инфраструктуре, окружающей среде и в целом экономике государства. Анализ аварийных ситуаций необходим, в частности, для оценки уровня безопасности дорожного движения (БДД), что возможно только при комплексной оценке дорожно-транспортной ситуации (ДТС). В экспертных исследованиях по ДТП ранее, в основном, изучались вопросы, связанные с процессами торможения транспортных средств категорий М1, но недостаточно изучен вопрос транспортных средств (ТС) категорий М2, N2, N3, хотя достаточно большая часть аварий происходит именно с их участием, нанося значительный ущерб автодорожному комплексу Российской Федерации. Выбор категорий ТС в экспертной практике определен ГОСТ Р 52051-2003. Актуальность данного научного исследования заключается в усовершенствовании метода автотехнической экспертизы ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3 и требует достоверных данных о параметрах движения транспортных средств при их торможении. Точность экспертных исследований играет ключевую роль при расследовании и реконструкции ДТП. Возрастание числа аварий требует создания надежных и превентивных методов повышения безопасности дорожного движения. В условиях интенсивного дорожного движения и растущего объема цифровых дорожно-эксплуатационных данных актуальность данного исследования обусловлена возможностью введения современных программных модулей алгоритмов «искусственного интеллекта», позволяющих более подробно и детально исследовать закономерности ДТП и рекомендовать эффективные меры по их предотвращению. Это делает настоящее исследование актуальным с целью повышения достоверности и качества выполняемых автотехнических экспертиз и как следствие предложение рекомендаций по повышению БДД.

Степень разработанности темы. Внушительный вклад в развитие научных исследований внесли: Б.Е. Боровский, В.А. Пучкин, В.А. Илларионов, С.В. Жанказиев, В.Н. Добромиров, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, П.А. Кравченко, В.Н. Ложкин, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.В. Терентьев, С.С. Евтюков, Я.В. Васильев, Е.В. Куракина, И.С. Брылев, С.М. Грушецкий, П.А. Стёпина, Е.В. Голов, И.В. Ворожейкин, а также зарубежные исследователи, среди них: Д.В.Капский, Д. Клеббельсберг, Д. Коллинз, А. Мюссен, Д. Моррис. Их работы значительно повлияли на создание новых теоретических моделей, предлагая практические решения для совершенствования экспертной практики.

Диссертационная работа направлена на совершенствование метода реконструкции ДТП, учитывающего основные параметры, связанные с процессом торможения для ТС категорий М2, N2, N3. Ранее основные научные публикации были направлены на выявление зависимостей замедления от коэффициента сцепления поверхности для категории ТС М1. В данной работе представлен анализ развития ДТС с участием ТС категорий М2, N2, N3. Исследования основываются на теории статистического анализа и математического моделирования с применением нового алгоритма, используемого для анализа данных больших массивов.

Цель работы: заключается в совершенствовании метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3, позволяющего повысить точность оценки параметров движения при их торможении и качество экспертиз по ДТП.

Задачи исследования:

1. Выявить методы анализа развития дорожно-транспортной ситуации с участием ТС категорий М2, N2, N3 на основе теории статистического анализа и программных модулей «искусственного интеллекта» с применением нового алгоритма аналитического комплекса.

2. Проведение экспериментов для построения эмпирических моделей и для создания коэффициентов, корректирующих значения установившегося замедления и времени его нарастания, а также создание параметрических уравнений зависимостей замедления от коэффициента сцепления дорожного покрытия для транспортных средств категорий М2, N2, N3 в границах модельно-ориентированной реконструкции дорожно-транспортных происшествий.

3. Разработать усовершенствованный метод реконструкции ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3 путем повышения точности оценки параметров движения транспортных средств при их торможении и качества заключений ДТЭ.

4. Разработать модель и алгоритм применения расчетно-аналитических операций метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием ТС категорий М2, N2, N3 и способ их реализации, создание предложений по повышению качества производства ДТЭ.

Объект исследования – транспортные средства категории М2, N2, N3.

Предмет исследования – влияние коэффициента сцепления и установившегося замедления на процесс торможения ТС категорий М2, N2, N3.

Рабочая гипотеза – теоретические и экспериментальные исследования влияния коэффициента сцепления дорожного покрытия и установив-

шегося замедления на процесс торможения ТС категорий М2, N2, N3 позволят повысить точность оценки параметров движения ТС за счет создания уточняющих коэффициентов и качество заключений ДТЭ.

Научная новизна исследования заключается в достижении следующих результатов:

1. Впервые выявлены методы анализа развития дорожно-транспортной ситуации с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3 на основе теории статистического анализа и программных модулей «искусственного интеллекта» с применением нового алгоритма аналитического комплекса.

2. Впервые предложены эмпирические модели и коэффициенты, корректирующие значения установившегося замедления и времени его нарастания, а также созданы параметрические уравнения зависимостей замедления от коэффициента сцепления дорожного покрытия для транспортных средств категорий М2, N2, N3 в границах модельно-ориентированной реконструкции дорожно-транспортных происшествий.

3. Разработан усовершенствованный метод автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3 путем повышения точности оценки параметров движения транспортных средств при их торможении и качества заключений дорожно-транспортных экспертиз.

4. Разработаны модель и алгоритм метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3 и способ их реализации, созданы предложения по повышению качества производства дорожно-транспортных экспертиз.

Теоретическая значимость заключается в разработке модели и алгоритма метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3 и способ их реализации, создание предложений по повышению качества производства дорожно-транспортных экспертиз в Российской Федерации, создание усовершенствованного метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3.

Практическая значимость заключается в возможности применения диссертационного исследования в оценке процесса торможения ТС категорий М2, N2, N3 и учета времени нарастания замедления, времени оттормаживания, которое ранее не учитывалось при составлении временных промежутков движения ТС на тормозной диаграмме, вследствие чего повышается качество выполняемых автотехнических экспертиз, а также в создании достоверной базы данных значений установившегося замедления, времени нарастания замедления для транспортных средств категорий

M2, N2, N3, используемых в учебном процессе по дисциплинам диагностика, инструментальный контроль и экспертиза наземных транспортно-технологических машин, эксплуатации автомобильного транспорта, преподаваемым в СПбГАСУ.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационной работы, в проведении теоретических и экспериментальных исследований. Основные результаты и выводы послужили основой для создания предложений по повышению эффективности выполняемых автотехнических экспертиз. Автор обосновал и наглядно проиллюстрировал закономерности изменения ДТС с участием ТС категорий M2, N2, N3, усовершенствовал классический расчетный метод автотехнической экспертизы (АТЭ), актуализировал базу данных для экспертных исследований.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта: п. 6 и п. 9.

Методология и методы исследования. Методология исследования базируется на использовании экспериментальных методов, включающих измерения замедления с использованием деселерометра модели «BRAKE TESTER LWS-2M». В работе применены следующие методы: регрессионный анализ, кластеризация при помощи метода «К-средних», классификации, включая «дерево решений», метод «опорных векторов», «К-ближайших соседей», «случайный лес», «бустинг». Для обеспечения надежности результатов исследования использовались метрики качества моделей – «коэффициент силуэт» для кластеризации, «точность», «полнота» и «F-мера» для классификации. Результаты апробированы на конкретных ДТП и подтверждены высокими показателями точности и надежности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методы анализа развития дорожно-транспортной ситуации с участием ТС категорий M2, N2, N3 на основе теории статистического анализа и программных модулей «искусственного интеллекта» с применением нового алгоритма аналитического комплекса.

2. Эмпирические модели и коэффициенты, корректирующие значения установившегося замедления и времени его нарастания, а также параметрические уравнения зависимостей замедления от коэффициента сцепления дорожного покрытия для транспортных средств категорий M2, N2, N3 в границах модельно-ориентированной реконструкции дорожно-транспортных происшествий.

3. Усовершенствованный метод реконструкции ДТП с участием ТС категорий M2, N2, N3 путем повышения точности оценки параметров движения транспортных средств при их торможении и качества заключений ДТЭ.

4. Модель и алгоритм метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием ТС категорий М2, N2, N3 и способ их реализации, создание предложений по повышению качества производства дорожно-транспортных экспертиз.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается использованием сертифицированного оборудования и строгим соблюдением методик проведения измерений. Апробация проведена в рамках автотехнических экспертиз, где созданный метод успешно использовался для оценки совершенных ДТП.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях:

– Международный форум "Инновационные технологии и интеллектуальные транспортные системы в дорожном строительстве" (г. Сочи, 2021 г.).

– II-III Международная конференция "Транспортная доступность Арктики: сети и системы". ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (г. Санкт-Петербург, 2023-2024 гг.).

– X Международная научно-практическая конференция "Информационные технологии и инновации на транспорте". Секция "Безопасность дорожного движения". ФГБОУ ВО "Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева" (г. Орёл, 2024 г.).

– 15-16-я Международная конференция «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (г. Санкт-Петербург, 2022, 2024 г.).

– 11-я Международная научно-практическая конференция «Реконструкция и анализ ДТП» ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (г. Санкт-Петербург, 2024 г.).

Реализация результатов исследований.

Полученные результаты диссертации используются в работе компании ООО ДСК «Зеленый Град», ООО «ПИТЕРДОРНИИ». Основные результаты исследования внедрены в экспертную деятельность институтов безопасности дорожного движения и судебных экспертиз СПбГАСУ, ОГИБДД УМВД России по Кировскому району г. Санкт-Петербурга. Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе АДФ СПбГАСУ при подготовке студентов по направлению подготовки «Наземные транспортно-технологические средства» (23.05.01), аспирантов научной специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта» (2.9.5).

Публикации. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 10 научных работах общим объемом 23,76 п.л. (авторских – 14,32 п.л.), в том числе 7 в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК, 2 монографии, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 102 наименований. Текст диссертации изложен на 203 страницах, включает 22 таблицы, 89 иллюстраций, 7 приложений.

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

В первой главе проведен анализ статистики дорожно-транспортных происшествий с участием транспортных средств категории М2, N2, N3, так же показана динамика автомобилизации населения Российской Федерации. Рассмотрена международная статистика в сфере безопасности дорожного движения, состояние темы в научных изданиях. В рамках анализа аварийности показаны результаты вычислительной программы для оценки массивов данных по дорожно-транспортным происшествиям. Впервые приведен пример использования локального проекта интеллектуальной транспортной системы в задачах автотехнической экспертизы с целью сбора и анализа исходных данных по ДТП.

Во второй главе представлены современные методы сбора исходных данных на месте ДТП, описаны основные методы алгоритмов «искусственного интеллекта» в задачах классификации по созданной программе для анализа статистических данных по ДТП. Рассмотрены классические методы расчетов параметров перемещения транспортных средств категорий М2, N2, N3. Созданы уточненные формулы по экспертизе дорожно-транспортных происшествий. В разделе «Постановка физической задачи и ее математического решения по определению остановочного пути транспортного средства при реконструкции ДТП» показаны математические преобразования и интегрирование кривой замедления с целью получения новых расчетных формул.

В третьей главе описаны средства выполнения эксперимента, условия и порядок проведения. Получены актуальные значения установившегося замедления и его времени нарастания.

В четвертой главе показан прикладной характер созданного программного обеспечения для аналитики больших массивов эксплуатационных данных автомобильных дорог и статистики дорожно-транспортных происшествий. Приведены примеры расчета по существующему в экспертной практике методу и новому созданному методу, показаны различия между ними и достоинства предлагаемого нового метода.

Автором был разработан алгоритм программы для ЭВМ, позволяющий решать различные статистические задачи совместно с использованием современных алгоритмов «ИИ» (Рисунок 1). Представлены модули: факторного анализа (выявление относительного влияния каждого параметра на событие ДТП), кластерного анализа (формальная классификация ДТП на близкие по причинам группы) и классификации (определение категории ДТП, например тяжесть, по набору признаков). В первую очередь она агрегирует параметры, в рамках которых было реализовано событие ДТП. На рисунках 2-3 представлено распределение ДТП за период нескольких лет («0 км» – г. Москва, «700 км» – км а/д в пригороде г. Санкт-Петербург а/д М-11, М-1 (г. Москва - г. Смоленск), а/д КАД вокруг г. Санкт-Петербург). Созданное ПО для ЭВМ позволяет объединять для исследования массивы данных по ДТП и массивы данных со значениями коэффициента сцепления шин с дорогой. Разработанный алгоритм программы для ЭВМ распределяет объединенные массивы данных на подмножества, выявляя зависимости и статистическую вероятность этих событий.

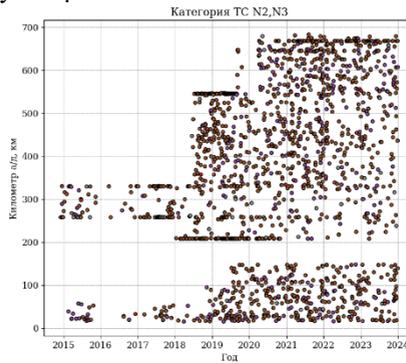


Рисунок 2 – Данные по ДТП и км, году происшествия для ТС на а/д М-11

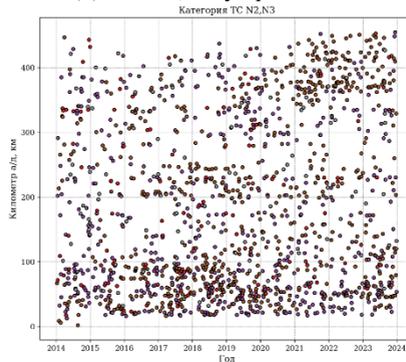


Рисунок 3 – Данные по ДТП и км, году происшествия для ТС на а/д М-1

Федерально-целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2013 – 2020 гг.», национальный проект (НЦП) «Безопасные качественные автомобильные дороги» 2018–2024 гг., создание новых НЦП «Инфраструктура для жизни» с 2024–2030 гг. значительно повлияли на изменение ДТС за последние 25 лет (целевой показатель количество погибших в результате ДТП) в сторону улучшения, но при этом количество ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3 остается достаточно на высоком уровне. На рисунках 2–3 на определенных километрах автодороги постоянно создаются конфликтные точки, которые впоследствии преобразуются в ДТП. В развитии авто-дорожной отрасли в рамках федерально-целевой программы (2013–2020 гг.), национального проекта «Безопасные качественные автомобильные дороги» 2018–2024 гг. и национального проекта «Инфраструктура для жизни» на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года, коэффициент сцепления с дорогой в периоде с 2018 по 2024 гг. увеличился за счет применения новых технологий строительства и современных материалов, но вместе с тем и расчет число ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3. Впервые на примере данных по а/д М-1 и КАД г. СПб был применен алгоритм кластеризации параметров ДТП. Актуальность расширения базы данных параметров торможения для ТС категорий М2, N2, N3 обусловлена высоким процентом участия данных ТС в ДТП к общему числу всех ДТП на автодорогах – для КАД (в процентах: N3 – 13.01%, N2 – 1.40%, M2 – 0.77%) в сравнении с этим М-1 (34% – N2, N3, 2,3% – M2) и М-11 (32,3% – N2, N3, 1% – M2). На основе кластеризации можно обнаружить характерные подмножества в наборе данных и формализовать процесс их нахождения и проверки.

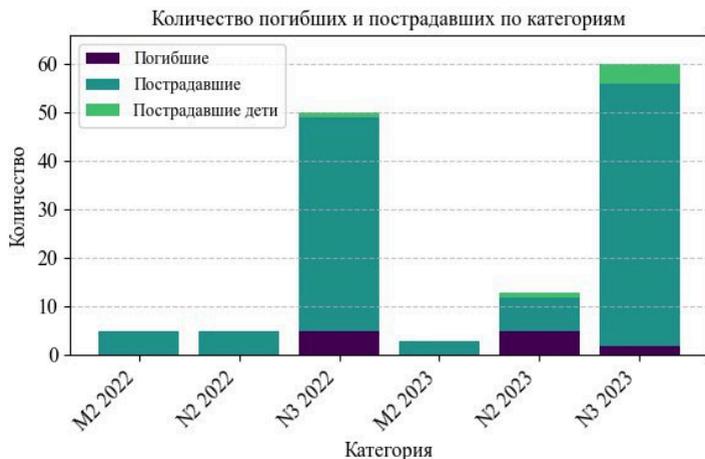


Рисунок 4 – Данные по погибшим и раненым на а/д КАД вокруг г. Санкт-Петербург

Добавление сопутствующих параметров в базу данных, таких, как погодные условия (сила ветра, осадки, туман, температура и т.п.), могли выявить закономерности не с отдельными параметрами, а совместным вкладом, который и оценивался факторным анализом. Найденный вклад группой параметров представлен в виде нового базиса в пространстве параметров на примере автодороги М-1.

Таблица 1 – Значимые группы параметров набора данных по а/д М-1

Признак для групп (а/д М-1)	Влияние фактора на коэффициент сцепления	Влияние фактора на освещенность	Влияние фактора на температуру	Влияние фактора на осадки	Влияние фактора на ветер	Влияние фактора на километр	Влияние фактора на тип аварии
Группа № 1	-0,03	0,08	-0,70	0,49	-0,05	0,04	-0,003
Группа № 2	-0,46	-0,68	0,08	0,05	0,05	-0,23	-0,03
Группа № 3	-0,14	0,004	-0,01	-0,03	-0,27	-0,22	-0,48

В данной работе впервые использованы программные алгоритмы «ИИ» для решения задачи классификации на базе реальных данных по КАД вокруг г. Санкт-Петербург. Алгоритм по набору параметров ДТП позволяет определить вероятность и объем ущерба здоровью пострадавшему, объем разрушенной дорожной инфраструктуры на месте ДТП. Знак определяет прямую или обратную корреляцию. Сила корреляции определяется значением модуля от 0 до 1: ближе к 0 – слабая связь, ближе к 1 – сильная связь. В таблице 1 представлен результат факторного анализа для конкретного массива статистики ДТП: в группе факторов 1 – влияет температура и осадки совместно, в группе факторов 2 – сцепление и освещенность совместно с привязкой к километру дороги, в группе факторов 3 – влияет только тип аварии, ветер и километр автотрассы.

Данный алгоритм является частью усовершенствованного метода автотехнических экспертиз ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3.

2. Эмпирические модели и коэффициенты, корректирующие значения установившегося замедления и времени его нарастания, а также параметрические уравнения зависимостей замедления от коэффициента сцепления дорожного покрытия для транспортных средств категорий М2, N2, N3 в границах модельно-ориентированной реконструкции дорожно-транспортных происшествий.

Основная цель научной работы заключалась в уточнении значений установившегося замедления транспортных средств категорий М2, N2, N3, совместно с этим достигалась практическая задача диссертационного исследования по формированию современной базы данных для выполнения автотехнических экспертиз.

Экспериментальные исследования производились с транспортными средствами категорий М2, N2, N3 на сухом асфальтобетонном покрытии, на мокром и на сухой грунтовой дороге. В данном исследовании полученный набор экспериментальных данных позволил получить зависимости между установившимся замедлением, времени нарастания замедления от типа и состояния покрытия проезжей части (таблица 2,3).

Таблица 2 – Уточненные значения установившегося замедления ТС категории N3

Марка а/м FAW															
№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
J_н, м/с²	7,72	7,87	8,02	7,74	8,06	8,30	6,61	7,34	8,00	6,66	6,87	7,35	5,16	5,43	5,46

Таблица 3 – Среднее время нарастания замедления ТС категорий М2, N2, N3

№	Марки а/м Категория N3	Тип покрытия
		Сухой асфальтобетон
		Время нарастания замедления, ТЗ, с
1	FAW J6 (8×4)	0,31
2	FAW J6 (8×4) с 100% загрузкой	0,35
3	КАМАЗ-65115	0,28

Зависимости установившегося замедления и времени нарастания замедления от типа и состояния поверхности представлены ниже. В качестве иллюстрации приведен пример типового линейного графика (Рисунок 5).

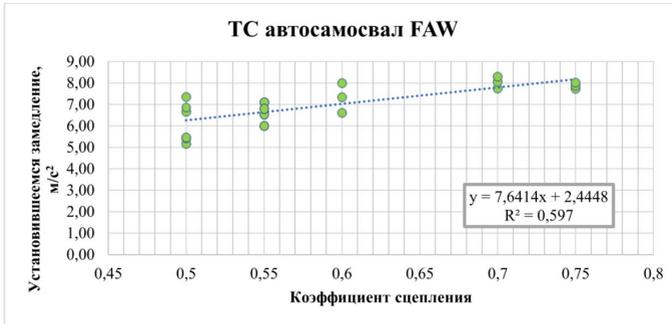


Рисунок 5 – Зависимость установившегося замедления от типа покрытия категории ТС N3

По результатам исследования получены следующие функции полинома первой степени:

– ТС марки «MAXUS V90»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 10,749 \varphi g,$ (1)

– ТС марки «IVECO DAILY 50C15V»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 11,129 \varphi g,$ (2)

– ТС марки «ГАЗ NEXT A65R52-080»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 10,212 \varphi g,$ (3)

– ТС марки «КАМАЗ-4308»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 10,19 \varphi g,$ (4)

– ТС марки «КАМАЗ-65115»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 9,8208 \varphi g,$ (5)

– ТС марки «КАМАЗ УРД-2Н»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 10,597 \varphi g,$ (6)

– ТС марки «HONGYAN GENLVON 390»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 9,3721 \varphi g,$ (7)

– ТС марки «Грузовое бортовое 67066С шасси КАМАЗ-65115-50»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 10,149 \varphi g,$ (8)

– ТС марки «Автоцистерна вакуумная 4671М3-40»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 10,844 \varphi g,$ (9)

– ТС марки «FAW»

зависимость $J_0(\varphi, K_j): J_0 = 11,54 \varphi g.$ (10)

Физическая модель замедления с учетом уточняющего технического коэффициента записывается в следующем виде:

$$J_0 = \frac{\varphi g}{K_j}, \quad (11)$$

где φ – коэффициент сцепления двигателя с опорной поверхностью, g – ускорение свободного падения, K_j – коэффициент, корректирующий установившееся замедление транспортного средства.

При наличии экспериментальных значений установившегося замедления при различных значениях коэффициента сцепления с дорогой есть возможность оценить значение уточняющего коэффициента.

После построения линейной регрессии экспериментальных данных, коэффициент, корректирующий величину замедления для этих категорий транспортных средств, равен следующим значениям. В формуле 12 представлено линейное параметрическое уравнение.

$$J_0(\varphi, K_j) = g \frac{\varphi}{K_j}, \quad (12)$$

где $K_j = 0.92$ для М2; $K_j = 0.96$ для N2; $K_j = 0.98$ для N3.

Уточненные значения установившегося замедления J_0 и времени нарастания замедления T_3 для ТС категорий М2, N2, N3 составляют актуализированную базу данных для автотехнических экспертов, а также являющуюся структурной частью разработанного усовершенствованного метода проведения автотехнических экспертиз (АТЭ).

3. Усовершенствованный метод реконструкции ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3 путем повышения точности оценки параметров движения транспортных средств при их торможении и качества заключений ДТЭ.

Коммерческие транспортные средства, имеющие широкий спектр применения в народном хозяйстве, оставались без должного исследования. Экспериментальные исследования с современными транспортными средствами категорий М2, N2, N3 в снаряженном состоянии, с 50 % нагрузкой, с полной массой недостаточно изучены до настоящего времени. Для получения более достоверных расчетных значений необходимо было введение поправочных коэффициентов для уточнения установившегося замедления.

В исследованиях представлен вывод формулы (21) в рамках решения математической и физической задачи по определению остановочного пути транспортного средства при реконструкции ДТП.

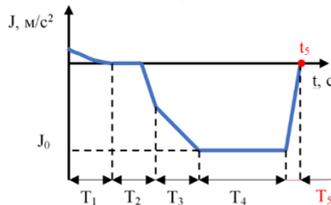


Рисунок 6 – График замедления $J(t)$, предложенный в исследовании. Характерные временные этапы: задержка действий водителя, активация работы тормозной системы, рост замедления, торможение с постоянным замедлением, сброс замедления (период от момента, в который замедление перестает быть постоянным, до конца торможения)

Механическую модель для процесса замедления можно представить как одномерное движение материальной точки. Если обозначить как $s(t)$, $v(t)$ и $J(t)$ – зависимости тормозного пути, скорости и замедления от времени, то их взаимосвязь может быть описана уравнениями (16) – (17).

$$\frac{d^2s}{dt^2}(t) = \frac{dv}{dt}(t) = J(t), \quad (16)$$

$$s(t) = \int_0^t v(t) dt, \quad (17)$$

$$J_0 = g \left(\frac{(\varphi a + K_{J_0} b f) \cos \alpha}{K_{J_0} L + h - K_{J_0} f} \pm \sin \alpha \right), \quad (18)$$

где φ – коэффициент сцепления, f – коэффициент сопротивления качению, a , b и h – расстояние от центра масс до передней, задней оси и земли, L – колесная база, g – ускорение свободного падения, α – угол наклона дороги ($\alpha > 0$ для подъема и $\alpha < 0$ для спуска).

Две зависимости для поиска коэффициентов K_{J_0} , K_{T_3} можно взять в виде формул 19–20.

$$K_{J_0} = \frac{J_0}{J_{уст}}, \quad (19)$$

$$K_{T_3} = \frac{T_{0_3}}{T_3}, \quad (20)$$

где K_{J_0} – коэффициент J_0 , K_{T_3} – коэффициент для T_3 , $J_{уст}$ – известное значение замедления.

В итоге интегрирования профиля замедления впервые получена зависимость остановочного пути S_0 для транспортных средств категорий М2, N2, N3 (21):

$$S_0 = v_0 t_5 + K_{J_0} J_0 \times \left[\frac{(K_{T_3} T_3)^2}{6} + \left(-\frac{v_0}{K_{J_0} J_0} - \frac{K_{T_3} T_3}{2} \right) \left(\frac{K_{T_3} T_3}{2} \right) + \frac{\left(-\frac{v_0}{K_{J_0} J_0} - \frac{K_{T_3} T_3}{2} \right)^2}{2} \right]. \quad (21)$$

$$S_0 = (T_1 + T_2 + 0,5T_3) \frac{v_0}{3,6} + \frac{v_0^2}{25,92J_0}, \quad (22)$$

В результате преобразования кусочно-заданной функции получаем применительно в автотехнической экспертизе формулу (21). Формулой (21)

можно пользоваться в автотехнической экспертизе с учетом, того, что значения T_3 и J_0 уточняются для различных кегорий ТС с помощью коэффициентов $K_{T_3(M_2, N_2, N_3)}$ и $K_{J_0(M_2, N_2, N_3)}$.

Полученная зависимость отличается тем, что при выводе известной формулы (22), применяемой в экспертной практике для получения более простого и удобного вида выражения, были использованы допущения, касающиеся этапа нарастания замедления. Ранее в научной литературе при расчетах времени накопления тормозного пути не учитывалось время сброса замедления (период от момента, в который замедление перестает быть постоянным, до конца торможения). В новой формуле (21) учтена более сложная зависимость накопления тормозного пути, что может внести улучшение в точности оценки остановочного пути по начальной скорости ТС. За счет введения корректирующих коэффициентов и уточнения действующих значений установившегося замедления, времени нарастания замедления автором достигнуто повышение точности результатов расчетов, соответственно, и измененные выводы экспертов.

Рисунок 7 – Инструмент для расчета параметров движения ТС по новому методу (интерфейс программы для усовершенствованного метода)

4. Модель и алгоритм метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием ТС категорий М2, N2, N3 и способ их реализации, создание предложений по повышению качества производства дорожно-транспортных экспертиз.

Для наглядности усовершенствованный метод представляет собой целостную и единую информационную систему, представленную на рисунке 8. Далее в работе представлено описание структуры, функционала и описание метода автотехнической экспертизы.

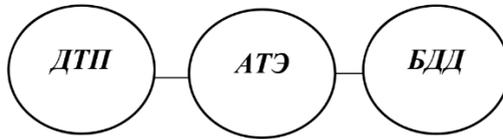


Рисунок 8 – Структура информационной системы ДТП – АТЭ – БДД с внешними воздействиями на систему, где ДТП – ДТП с участием ТС категорий М2, N2, N3

Суть функционального метода заключается в описании сложной многоуровневой системы, требующей последовательного и комплексного анализа. На данном этапе происходит описание структуры модели и её составляющих, в том числе и внешних воздействий через функциональные уравнения. Свойства подсистемы и её характеристики тесно зависят от внешних факторов, влияющих на них (рисунок 9). Функциональная модель (ФМ) существует в условиях неопределенности, требует постоянной обратной связи между функцией входа и выхода.

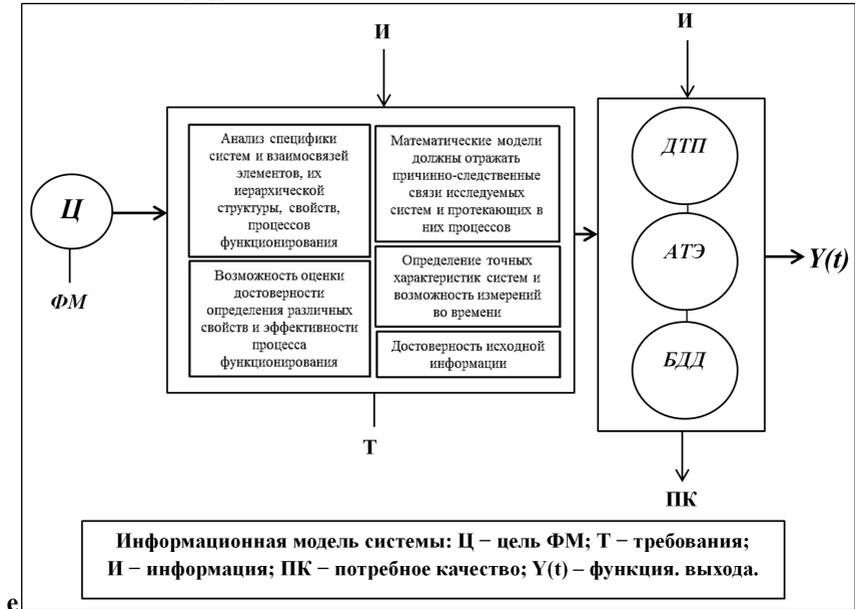


Рисунок 9 – Информационная модель с требуемыми функциями

На схеме (рис. 9) изображены функции постановки проблемы и её решения, а также внешних факторов, влияющих на систему извне. $Y(t)$ – функция выхода, соответствующая результату, направленному на достижение максимальной эффективности при проведении АТЭ. Для анализа (декомпозиции) сложной многоуровневой системы на подсистемы с исходными данными была создана схема на рисунке 10.

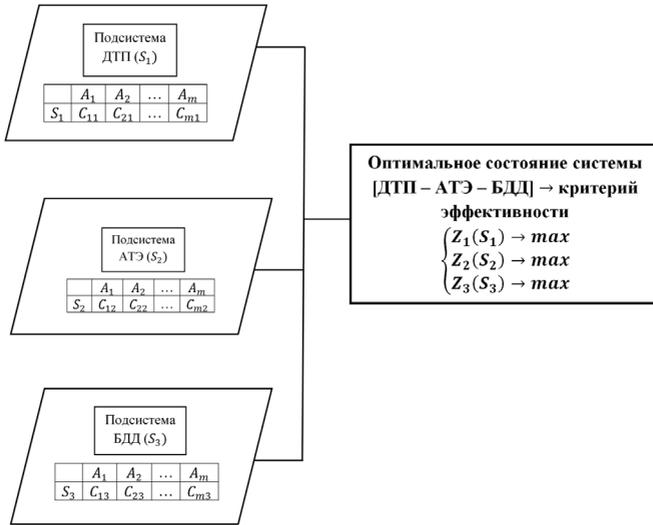


Рисунок 10 – Декомпозиция иерархии многоуровневой системной модели [ДТП – АТЭ – БДД] → «критерий качества производимых автотехнических экспертиз».

Таблица 4 – Формирование исходных данных. Оценка значимости данных

[ДТП – АТЭ – БДД]	Статистические данные, отражающие эффективность системы			
	Формализованные параметры [1..m]			
ДТП с категорией ТС М2, N2, N3 [1..n]	1	2	...	m
1	$\alpha_{11} \beta_{11}$	$\alpha_{12} \beta_{12}$...	$\alpha_{1m} \beta_{1m}$
2	$\alpha_{21} \beta_{21}$	$\alpha_{22} \beta_{22}$...	$\alpha_{2m} \beta_{2m}$
...
n	$\alpha_{n1} \beta_{n1}$	$\alpha_{n2} \beta_{n2}$...	$\alpha_{nm} \beta_{nm}$
Критерий эффективности	max	max	...	max

Матрица эффективности состояний по показателям качества (выбор наиболее лучшего варианта решения) для данной информационной системы примет вид:

$$\delta_{ij} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} \beta_{11} & \alpha_{12} \beta_{12} & \dots & \alpha_{1m} \beta_{1m} \\ \alpha_{21} \beta_{21} & \alpha_{22} \beta_{22} & \dots & \alpha_{2m} \beta_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} \beta_{n1} & \alpha_{n2} \beta_{n2} & \dots & \alpha_{nm} \beta_{nm} \end{pmatrix}, \quad (23)$$

Формулой 24 пользуются для i -задачи оптимизации для n -варианта случаев. Определяются возможные комбинации состояний системы ДТП-АТЭ-БДД. Задача решается путем проведения линейного программирования с определением эффективности каждого решения.

$$\begin{cases} D_i = \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \alpha_j \rightarrow \max, \\ \sum_{j=1}^n \alpha_j = 1; 0 \leq A_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, j = \overline{1, n-1} \end{cases}, \quad (24)$$

Вывод аналитического решения, где k -случай для $\delta_{ij} = \max_j \delta_{ij}$ при :

$$\alpha_j = \begin{cases} \frac{1}{k}, & \text{если } j \leq k, \\ 0, & \text{если } j > k \end{cases}, \quad (25)$$

Далее проводится синтез (агрегирование данных) подсистем для получения объединенных элементов с эмерджентными (новыми) свойствами (рисунки 11–12).

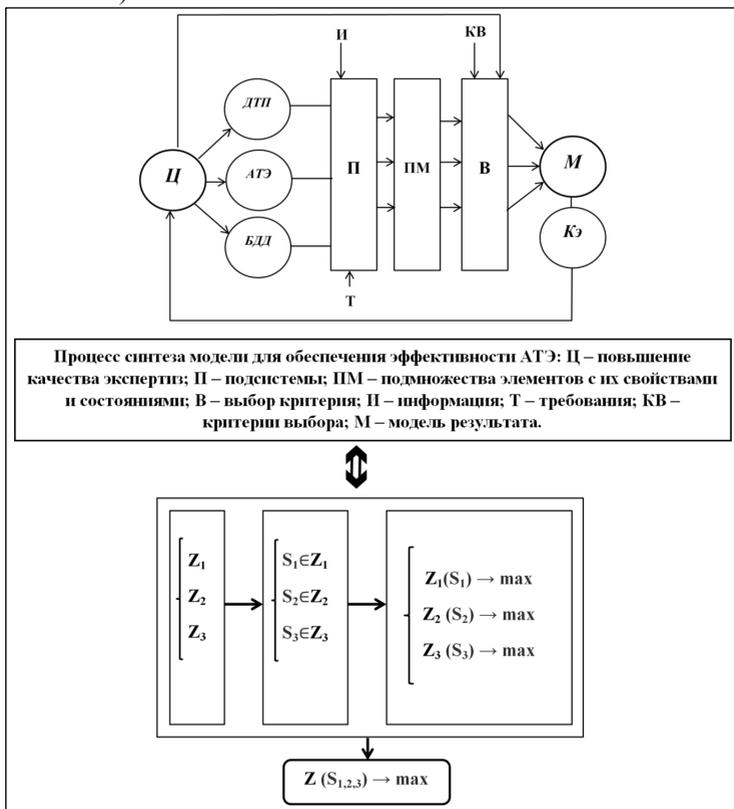


Рисунок 11 – Синтез моделей информационной системы (ИС)

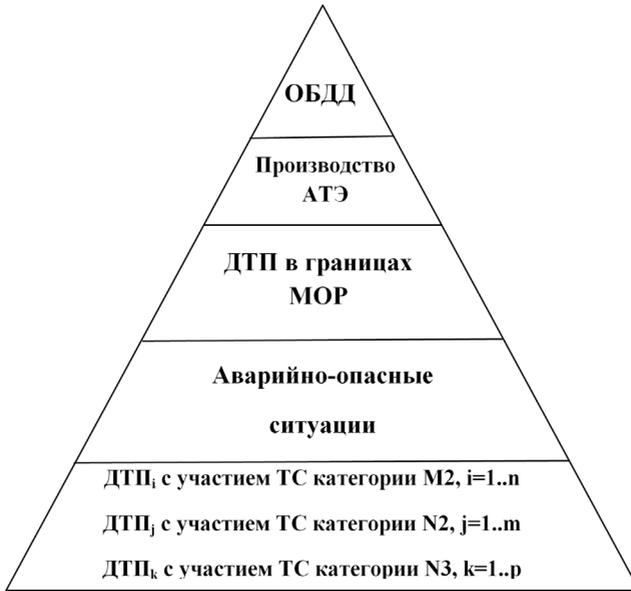


Рисунок 12 – ИС [ДТП-АТЭ-БДД]

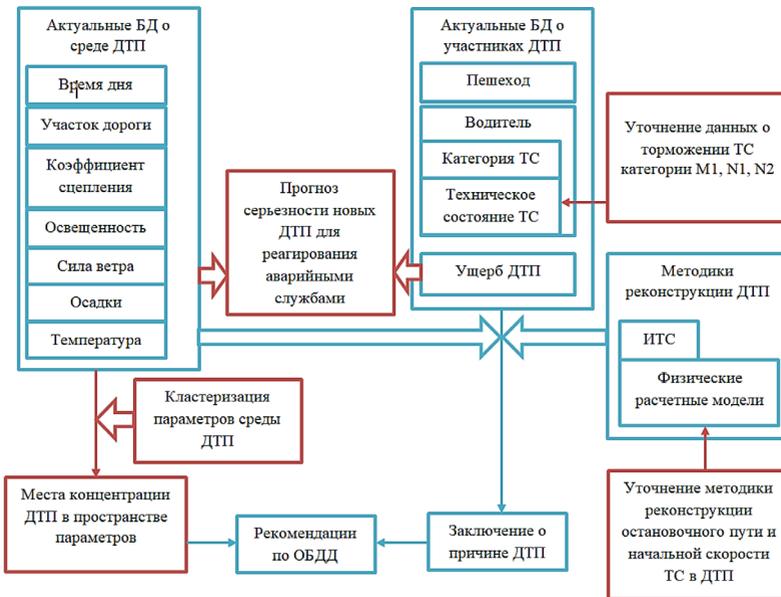
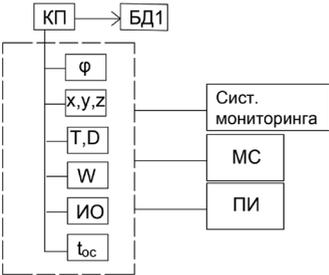
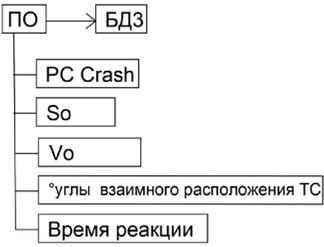
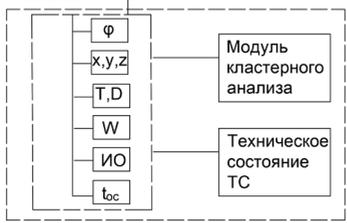
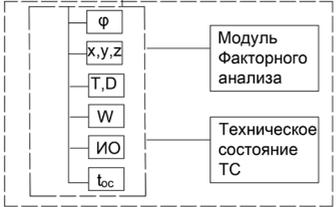


Рисунок 13 – Схема метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием ТС категории М2, N2, N3

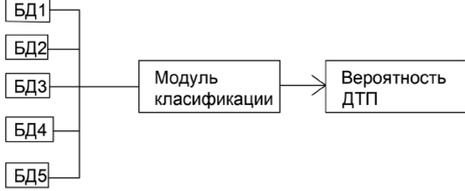
Таблица 5 – Описание расчетно-аналитических операций метода АТЭ

№ Этапа	Наименование процесса	Описание аналитического процесса
1	Анализ последовательности действия расчетно-аналитического алгоритма метода	<p>1.1. Определение ограничений в информационной системе БДД.</p> <p>1.2. Утверждение метода управляющих действий для созданных этапов.</p> <p>1.3. Постановке концептуальных целей для получения результата.</p>
2	<p>Актуализация базы данных о дорожной инфраструктуре.</p>  <pre> graph LR KP[KП] --> BD1[БД1] subgraph Parameters [] Phi[Ф] xyz[x,y,z] TD[T,D] W[W] IO[ИО] t_osc[t_ос] end Parameters --- MS[Сист. мониторинга] Parameters --- PI[ПИ] Parameters --- MS2[МС] </pre>	<p>На данном этапе проводится сбор и обновление данных о параметрах дорожной инфраструктуры и условий эксплуатации.</p>
3	<p>Актуализация базы данных о ДТП.</p>  <pre> graph LR DTP[ДТП] --> BD2[БД2] DTP --- V[Вид ДТП] DTP --- UDD[УДД] DTP --- KAT[Кат. ТС] DTP --- Np[Nп] DTP --- Nr[Nр] DTP --- P[Причина] </pre> <p>База данных пополняется сведениями о месте и времени каждого ДТП.</p>	<p>На данном этапе осуществляется сбор, систематизация и обновление информации о дорожно-транспортных происшествиях.</p>

Продолжение таблицы 5

№ Этапа	Наименование процесса	Описание аналитического процесса
4	 <p>Важным элементом экспертизы является анализ следов торможения, углов столкновения, скорости транспортных средств перед ДТП и времени реакции водителей.</p>	<p>На данном этапе проводится детальная реконструкция отдельных дорожно-транспортных происшествий для установления их причин и обстоятельств.</p>
5	 <p>Позволяет определить основные проблемные точки для достижения эффективности АТЭ и улучшения БДД.</p>	<p>На данном этапе выполняется кластерный анализ массива данных о ДТП.</p>
6	 <p>Суть этого этапа заключается в выявлении скрытых факторов, которые существенно влияют на вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий.</p>	<p>На этапе факторного анализа проводится исследование взаимосвязей между различными переменными, влияющими на безопасность дорожного движения.</p>

Окончание таблицы 5

№ Этапа	Наименование процесса	Описание аналитического процесса
7	 <pre> graph LR B1[БД1] --> M[Модуль классификации] B2[БД2] --> M B3[БД3] --> M B4[БД4] --> M B5[БД5] --> M M --> V[Вероятность ДТП] </pre> <p>Задача классификации заключается в обучении модели на основе уже имеющихся данных о произошедших в прошлом ДТП.</p>	<p>На данном этапе используется метод машинного обучения для прогнозирования возможного ущерба от дорожно-транспортных происшествий в зависимости от места их возникновения.</p>
8	<p>Разработка рекомендаций по улучшению ИС [ДТП-АТЭ-БДД]</p>	<p>На данном этапе разрабатываются рекомендации по улучшению эффективности АТЭ и общей безопасности дорожного движения.</p>

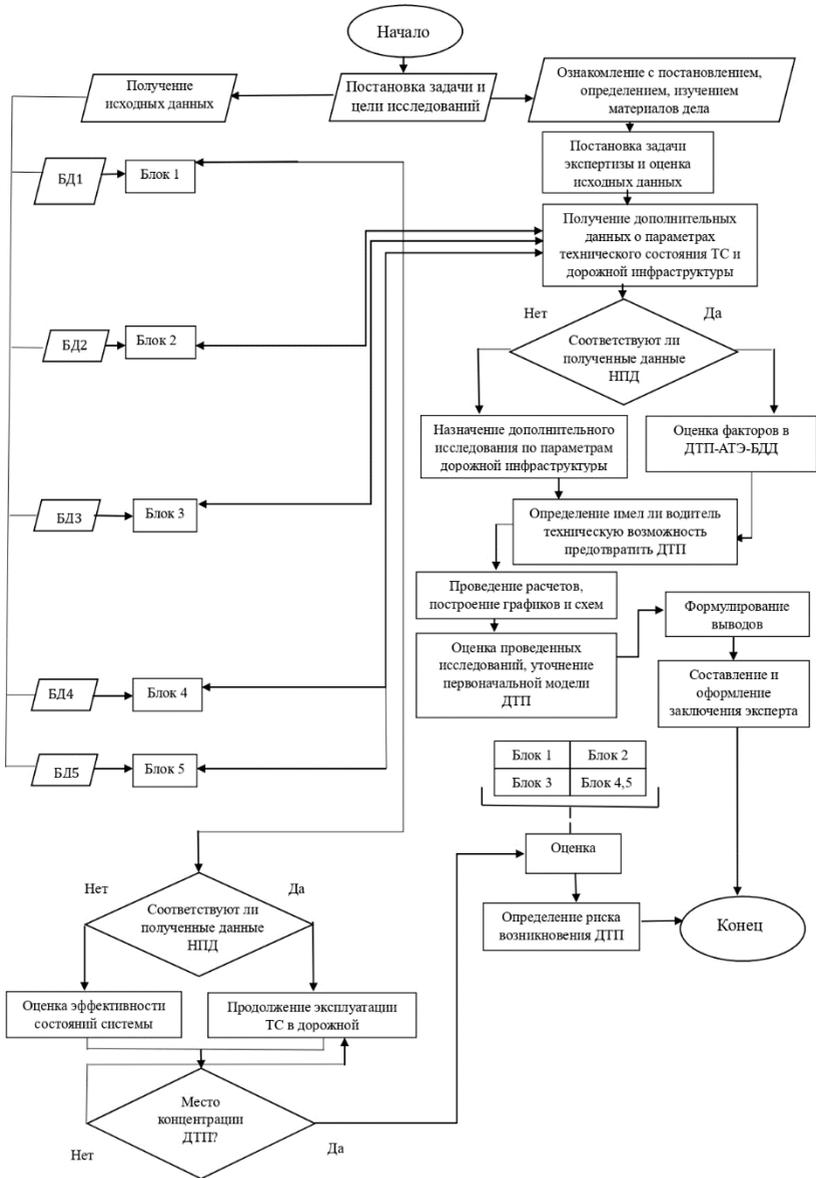


Рисунок 14 – Алгоритм реализации процесса исследования и оценки эффективности АТЭ в системе БДД

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение необходимо отметить, что проведенное в диссертационной работе исследование имеет следующие выводы и результаты:

1. Рассмотренные закономерности развития дорожно-транспортной ситуации с участием ТС категорий М2, N2, N3 показывают стабильно высокий уровень ДТП. Использование разработанного алгоритма аналитического комплекса позволяет повысить производительность труда за счет снижения временных затрат на 24% и 19% при использовании. Программное обеспечение для ЭВМ позволяет автоматически производить анализ ДТП, формируя тенденции развития ДТС с участием ТС категорий М2, N2, N3.

2. Полученные результаты экспериментальных исследований влияния сцепления на характеристики торможения транспортных средств категорий М2, N2, N3 позволяют повысить точность расчетов в экспертных заключениях на 12%. Созданные математические модели, а также полученная в результате диссертационного исследования актуализированная база данных значений установившегося замедления, времени нарастания замедления для ТС категорий М2, N2, N3 и коэффициента сцепления дорожного покрытия играют одну из ключевых ролей в реконструкции ДТП и повышают качество производства экспертиз на 16%.

3. Усовершенствованный метод реконструкции ДТП с участием транспортных средств категорий М2, N2, N3 за счет введения корректирующих коэффициентов для уточнения действующих значений установившегося замедления и времени нарастания замедления, а также определения по-новому времени накопления тормозного пути (учета времени сброса замедления), улучшает существующие методы анализа ДТП, адаптируя их к реальным условиям. Количество выполненных экспертиз и категоричности выводов по ним по определению технической возможности водителя транспортного средства избежать ДТП, а также проведения расчетов по определению скорости движения транспортных средств качественно повышены за счет изменения результатов экспертных заключений на 8%.

4. Произведен анализ сложной информационной системы (ДТП-АТЭ-БДД). Разработанный алгоритм метода автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий с участием ТС категорий М2, N2, N3 является рабочим инструментом в деятельности эксперта по анализу ДТП. Созданный метод позволяет сформулировать предложения по обеспечению эффективности АТЭ и системы БДД в решении задач по критерию качества экспертиз, распределения ресурсов в сложных открытых системах.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ:

1. Лукашов, Б. В. Исследование подсистемы выявления инцидентов интеллектуальной транспортной системы / С. А. Евтюков, Б. В. Лукашов // Вестник гражданских инженеров. – 2022. – № 1(90). – С. 136–142.
2. Лукашов, Б. В. Метод оценки наличия технической возможности у водителя транспортного средства избежать ДТП с применением современных информационных и телематических технологий / С. А. Евтюков, Б. В. Лукашов // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – № 2(77). – С. 54–60.
3. Лукашов, Б. В. Метод оценки эффективности состояний в дорожно-транспортной среде по критерию "нулевой смертности" / Е. В. Куракина, П. А. Кравченко, Б. В. Лукашов // Грузовик. – 2023. – № 11. – С. 37–42.
4. Лукашов, Б. В. Экспертиза ДТП с использованием БПЛА, комплексов выявления инцидентов и систем лазерного сканирования / С. А. Евтюков, Е. В. Куракина, Б. В. Лукашов // Грузовик. – 2024. – № 1. – С. 30–33.
5. Лукашов, Б. В. Исследования параметров торможения коммерческих транспортных средств / Б. В. Лукашов // Грузовик. – 2024. – № 2. – С. 43–44.
6. Лукашов, Б. В. Экспериментальные исследования параметров торможения транспортных средств категории М2, N2, N3 / Б. В. Лукашов // Грузовик. – 2024. – № 6. – С. 23–25.
7. Лукашов, Б. В. Статистический анализ данных ДТП в прикладных задачах / Б. В. Лукашов, С. А. Евтюков, Р. В. Лукашов, С. А. Павлов // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 2-2(85). – С. 42–51.

Патенты и программы для ЭВМ, имеющие госрегистрацию

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024681334 Российская Федерация. Аналитический комплекс для статистического анализа, визуализации и кластеризации дорожно-транспортных происшествий : № 2024669662 : заявл. 21.08.2024 : опубл. 09.09.2024 / Б. В. Лукашов.

Монографии

9. Лукашов, Б. В. Современные особенности производственной и технической эксплуатации транспортных средств : монография / Б. В. Лукашов ; ред. С. А. Евтюков. – Санкт-Петербург : Петрополис, 2022. – 174 с.
10. Лукашов, Б. В. Актуальные тенденции судебной автотехнической экспертизы интеллектуальных транспортных систем, высокоавтоматизированных транспортных средств : монография / С. А. Евтюков, Б. В. Лукашов. – Санкт-Петербург : Петрополис, 2022. – 152 с.

Компьютерная верстка В. С. Весниной

Подписано к печати 10.04.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,6. Тираж 120 экз. Заказ 45.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А