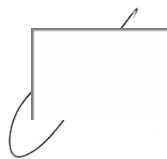


На правах рукописи



Васильев Ярослав Владимирович

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ И ЭКСПЕРТНОЙ
ПРОФИЛАКТИКИ ДТП С УЧАСТИЕМ ПЕШЕХОДОВ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург
2025

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

Научный
консультант:

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;

Клявин Владимир Эрнстович
доктор технических наук, доцент,
Научно-исследовательский институт Липецкого
государственного технического университета,
главный научный сотрудник;

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

Ведущая организация:

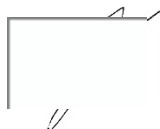
**ФГБОУ ВО «Сибирский государственный
автомобильно-дорожный университет
(СибАДИ)».**

Защита состоится «28» октября 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). 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/specialty/personal/vasilev-yaroslav-vladimirovich>

Автореферат разослан «01» сентября 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., доцент



С. М. Грушецкий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Исследования в области безопасности дорожного движения (БДД), равно как и исследования в пространстве, образуемом между теоретическими, методическими и технологическими основами производства дорожно-транспортной экспертизы (ДТЭ) и экспертной профилактикой (ЭП) ДТП с участием пешеходов, как правило, занимают особую нишу в научных изысканиях, но при этом в ракурсе на ДТЭ рассматривается преимущественно как обособленный инструмент обеспечения контроля за исполнением участниками дорожного движения предъявляемых к ним норм регулирования, а именно требований ПДД Российской Федерации. На настоящий момент сложилась ситуация, в которой ЭП ДТП с участием пешеходов, основанной именно на результатах производства ДТЭ, не отведено места в разработке мероприятий по повышению пассивной безопасности как конструкций транспортных средств (ТС), так и технических средств обеспечения БДД (ОБДД), направленных в первую очередь на снижение травмирования пешехода. Это вызвано разобщенностью между результатами ДТЭ и исследованиями в области указанных конструкций, так как сформировался устойчивый стереотип о минимальной достаточности весьма общего объема требований, предъявляемых к конструкции ТС и технических средств ОБДД. Поэтому на настоящий момент в РФ профилактику ДТП с участием пешеходов в целом следует отнести к практике сугубо фискального характера, а само понятие ЭП ДТП сильно оторвалось от реальной практики ДТЭ, связанной именно с реконструкцией механизма ДТП.

В этой связи, следует отметить, что система ВАДС, или ВАДС – Пешеход (ВАДСП) на настоящий момент весьма хорошо описана и изучена, имеется существенное количество работ посвященных ей. В большинстве своем, система ВАДС и ее производные вариации, рассматривается сугубо как фундаментальная основа, не трансформирующаяся в своей сущности, однако следует признать что формально она устарела еще 10–15 лет назад, так как слои вышележащих систем на этом фундаменте сильно изменились, приобретая новые черты, ранее им не свойственные, в частности при появлении прецедентов цифровизации процессов как внутри, так и снаружи ВАДС.

Это порождает назревающую необходимость перехода от композиции систем, основанных на системе ВАДС к новым решениям теоретического описания взаимодействия процессов в ОБДД, для чего требуется не только сформировать новый понятийный аппарат, но и перейти к новому подходу, сменив парадигму и ракурс взгляда на исследуемые процессы, в рамках

которой при полной цифровой трансформации отрасли и переходе к ВАТС уровня 5 система ВАДС должна эволюционировать в систему Объект – Пространство – Условие – Событие (ОПУС).

Цели и задачи, установленные Указом Президента Российской Федерации от 21.07.2020 №474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» непосредственно затрагивают необходимость совершенствования ОБДД, которое, среди прочих мер, должно осуществляться путем повышения эффективности ДТЭ и ЭП по ДТП с участием пешеходов, а также путем повышения эффективности мер, направленных как на пассивную безопасность (ПБ) ТС и элементов дорожного обустройства (ЭДО), так и на ОБДД в целом. При этом переход требует разработки нового аппарата оценки состояний, сформированный для системы ОПУС, теоретические и методологические средства которой будут направлены как на цифровизацию процессов взаимодействия подсистем в ОБДД с оценкой самоподобия пространств ее состояний, так и в целом на снижение травмирования пешеходов в ДТП. Последнее, имеет весьма важное значение для социально-экономического уровня в РФ в целом, так как по данным ГИБДД РФ ежегодно на дорогах РФ гибнет в среднем более 3,5 тыс. пешеходов – граждан нашей страны и более 33,8 тыс. пешеходов получают травмы, различной степени тяжести, резко снижающие их трудовую и жизненную активность.

Таким образом, актуальность обозначенного направления и тематики исследований крайне высока, так как их проблемная область, охватывая национальный уровень, требует выработки новых научно-обоснованных, комплексных методических решений народно-хозяйственной проблемы, проявляющейся в стабильно высоком уровне травмирования пешеходов в ДТП, что оказывает существенное влияние на состояние системы ОБДД и ее развитие в дальнейшем.

Степень разработанности проблемы. В исследование системы ВАДС и спектра проблем ОБДД, а также в исследование методов производства ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов существенный вклад внесли следующие отечественные ученые Б.Е. Боровский, В.Н. Добромиров, Э.Р. Домке, С.В. Дорохин, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, С.В. Жанказиев, П.А. Кравченко, Н.М. Кристи, В.Э. Клявин, С.В. Куценко, В.Н. Ложкин, О.В. Лукошавичене, А.И. Петров, И.Г. Малыгин, А.Н. Новиков, И.А. Новиков, А.М. Плотников, В.В. Сильянов, Ю.Б. Суворов, А.В. Терентьев и другие. Среди зарубежных исследований в области эффективности ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов следует отметить работы таких ученых, как: М. Батиста, Д. Сирл, Б. Рэнделл, А. Мозер, Д. Вуд, Ч. Симс, А. Реза,

С. Платини. Однако, указанный выше разрыв между ЭП ДТП и ДТЭ, этими работами не устраняется, при этом в этих работах не рассматривается назревающая необходимость перехода от ВАДС в пространство состояний для системы ОПУС.

Цель исследования: разработка научных основ обеспечения эффективности дорожно-транспортной экспертизы, экспертной профилактики ДТП с участием пешеходов и повышения пассивной безопасности ТС на основе цифровизации процессов взаимодействия данных подсистем в ОБДД, с учетом пространства состояний системы ОПУС.

Задачи исследования:

1. Разработать систему ОПУС, дать ее описание и выполнить сравнение с системой ВАДС, определить ее границы внутри факторного пространства и связей слоев ДТЭ – ЭП ДТП – ПБ ТС и ЭДО – ОБДД;
2. Разработать теоретический и понятийный аппарат оценки состояний системы ОПУС в условиях ее возникновения при эволюционном переходе от системы ВАДС в обеспечении дорожного движения и определить понятийный аппарат оценки эффективности ДТЭ и ЭП ДТП в онтологии предметной области исследования;
3. Разработать основные принципы информационного взаимодействия подсистем ДТЭ, ЭП ДТП с участием пешеходов и повышения ПБ ТС и ЭДО в ОБДД;
4. Выявить взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам ДТЭ, объемом исходной пространственно-следовой информации (ПСИ) и эффективностью применения методик ДТЭ, в условиях перехода к модельно-ориентированной реконструкции (МОР) при ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов;
5. Определить зависимости изменения базовых индексов травмирования пешеходов при первичном и вторичном контактно-следовых взаимодействиях (КСВ), изменения риска травмирования, изменения коэффициентов жесткости фронтальной части транспортных средств, а также выявить классификационные правила при типизации антропоморфных данных в гибридной модели антропоморфного манекена (ГМАМ) и при параметризации геометрии фронтальной части кузова, для формирования суррогатных конечно-элементных моделей (КЭМ);
6. Разработать математический аппарат, определяющий изменение критериев эффективности ДТЭ в условиях развития субпроцедур МОР и формирования универсального полимодельного комплекса (УПМК) для виртуального полигона (ВП), реализующего усовершенствованный комплекс методик производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов;

7. Разработать комплекс методов обеспечения эффективности ЭП ДТП и повышения ПБ транспортных средств в полисистеме ОПУС, включающий: метод оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых транспортных средств на базе генетического алгоритма; метод расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию для пешеходов); метод определения уровней безопасности участка дороги по оценке прогнозируемого времени выхода (ПВВ) пешехода из опасной зоны.

Объект исследования: состояние подсистем ДТЭ, ЭП ДТП и ПБ ТС и ЭДО в ОБДД, основанной на системе ОПУС в процессе формирования цифровой платформы обеспечения безопасности дорожного движения на автомобильном транспорте.

Предмет исследования: процессы цифровизации информационной сущности причинно-следственных связей между механизмом стадий сближение – контактно-следовое взаимодействие – отброс в ДТП, сопряженных с травмированием пешехода на этих стадиях, методами их реконструкции в ДТЭ, методами их профилактики и методами определения требований к ПБ ТС и ОТИ, с учетом пространства состояний системы ОПУС и эффективностью экспертной профилактики ДТП с участием пешеходов.

Рабочая гипотеза: реализация механизмов обеспечения эффективности подсистем ДТЭ, ЭП ДТП и ПБ ТС и ЭДО в цифровой платформе обеспечения БДД на автомобильном транспорте РФ, основанной на системе ОПУС, является комплексным средством повышения уровня БДД, пассивной безопасности ТС и ЭДО, а также снижения травмирования пешеходов при ДТП с их участием.

Научная новизна:

1. Впервые разработана система ОПУС, дано ее описание и сравнение с системой ВАДС, определены ее границы внутри факторного пространства и связей слоев ДТЭ – ЭП ДТП – ПБ ТС и ЭДО – ОБДД.

2. Впервые разработан теоретический и понятийный аппарат оценки состояний системы ОПУС в условиях ее возникновения при эволюционном переходе от системы ВАДС в обеспечении дорожного движения и определен понятийный аппарат оценки эффективности ДТЭ и ЭП ДТП в онтологии предметной области исследования.

3. Разработаны основные принципы информационного взаимодействия подсистем ДТЭ, ЭП ДТП с участием пешеходов и повышения ПБ ТС и ЭДО в ОБДД.

4. Выявлены взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам ДТЭ, объемом исходной ПСИ и эффективностью

применения методик ДТЭ, в условиях перехода к МОР при ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов;

5. Впервые определены зависимости изменения базовых индексов травмирования пешеходов при первичном и вторичном КСВ, изменения риска травмирования, изменения коэффициентов жесткости фронтальной части транспортных средств, а также выявлены классификационные правила при типизации антропоморфных данных в ГМАМ и при параметризации геометрии фронтальной части кузова, для формирования суррогатных КЭМ.

6. Впервые разработан математический аппарат, определяющий изменение критериев эффективности ДТЭ в условиях развития субпроцедур МОР и формирования УПМК для ВП, реализующего усовершенствованный комплекс методик производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов.

7. Впервые разработан комплекс методов обеспечения эффективности ЭП ДТП и повышения ПБ транспортных средств в полисистеме ОПУС, включающий: метод оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых транспортных средств на базе генетического алгоритма; метод расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию для пешеходов); метод определения уровней безопасности участка дороги по оценке ПВВ пешехода из опасной зоны.

Теоретическая значимость работы содержится в разработанных научных основах обеспечения эффективности дорожно-транспортной экспертизы и экспертной профилактики ДТП с участием пешеходов, с учетом прогнозирования развития системы ВАДС в пространства состояний системы ОПУС, путем формирования комплексного решения, включающего методы и методики, использующие новые и усовершенствованные инструментари, новый понятийный аппарат, реализация которых при переходе от МОР через ВП к цифровым платформам, путем применения универсального полимодельного комплекса, а также теоретического описания пространств состояний и новых принципов информационного взаимодействия исследуемых подсистем, опирается на не применявшиеся ранее к поставленным задачам методические и информационные подходы, такие как теория пространств состояний, суррогатные конечные элементы, нейронные сети в машинном обучении и методы ранжирования.

Практическая значимость работы заключается в разработке комплексного методического аппарата, направленного на повышение эффективности ДТЭ и используемого при оценке эффективности мероприятий ЭП ДТП с участием пешеходов, а также реализованного в УПМК на

виртуальном полигоне (ВП), которые могут быть применены как при оценке уровня пассивной безопасности ТС и ЭДО, так и при совершенствовании ОБДД, в частности при разработке и внедрении локальных и комплексных мероприятий по ОБДД и профилактике ДТП с участием пешеходов как государственными, так и частными организационными структурами.

Методология и методы исследования основана на данных натурных краш-тестов и численных экспериментов по наездам на пешеходов (на манекены, тела пешехода и на кадавров), а также опирается на анализ результатов, представленных в научно-практических публикациях и исследованиях, выполненных ранее отечественными и иностранными учеными в сфере реконструкции, анализа и профилактики ДТП с участием пешеходов, а также в области оценки эффективности мероприятий по ОБДД, используя методы статистического анализа фактических данных о состоянии подсистем ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов, а также используя методы системного анализа, сложных систем, пространств состояний, математического моделирования, нейронных сетей, кластерного и регрессионного анализов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Система ОПУС, ее описание и границы, прогноз ее возникновения в эволюции от системы ВАДС, внутри факторного пространства и связей слоев ДТЭ – ЭП ДТП – ПБ ТС и ЭДО – ОБДД.

2. Теоретический и понятийный аппарат оценки состояний системы ОПУС в условиях ее возникновения при эволюционном переходе от системы ВАДС в обеспечении дорожного движения и понятийный аппарат оценки эффективности ДТЭ и ЭП ДТП в онтологии предметной области исследования;

3. Основные принципы информационного взаимодействия подсистем ДТЭ, ЭП ДТП с участием пешеходов и повышения ПБ ТС и ЭДО в ОБДД;

4. Взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам ДТЭ, объемом исходной ПСИ и эффективностью применения методик ДТЭ, в условиях перехода к МОР при ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов;

5. Зависимости изменения базовых индексов травмирования пешеходов при первичном и вторичном КСВ, изменения риска травмирования, изменения коэффициентов жесткости фронтальной части транспортных средств, а также классификационные правила при типизации

антропоморфных данных в ГМАМ и при параметризации геометрии фронтальной части кузова, для формирования суррогатных КЭМ;

6. Математический аппарат, определяющий изменение критериев эффективности ДТЭ в условиях развития субпроцедур МОР и формирования УПМК для ВП, реализующего усовершенствованный комплекс методик производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов, включающий: методику расчета затрат скорости на КСВ на базе суррогатных КЭМ; методику расчета риска травмирования; методику оптимизации цифровой модели механизма ДТП выполненной при МОР генетическим алгоритмом;

7. Комплекс методов обеспечения эффективности ЭП ДТП и повышения ПБ транспортных средств в полисистеме ОПУС, включающий: метод оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых транспортных средств на базе генетического алгоритма; метод расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию для пешеходов); метод определения уровней безопасности участка дороги по оценке ПВВ пешехода из опасной зоны.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования определены реализованными целью и задачами в выделенной онтологии предметной области исследования и обеспечиваются полученными практическими результатами исследований, реализующими заложенные в работу теоретические основы, на основе применения методов статистического, кластерного и регрессионного анализов, моделирования сложных систем, пространств состояний, системного анализа, нейронных сетей и машинного обучения, а также результатами выполненных процедур верификации и валидации УПМК и его отдельных компонентов, отсутствием противоречий с ранее опубликованными исследованиями в области ДТЭ и ЭП ДТП, что также подтверждено публикациями в изданиях ВАК РФ и Scopus (WoS), демонстрацией и обсуждением результатов на отечественных и международных научно-практических конференциях.

Апробация работы: основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на 8–16-й Международных конференциях – «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (СПбГАСУ, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024); 6–11-й Международной научно-практической конференции «Реконструкция и экспертиза ДТП», ИБДД (СПбГАСУ, 2014, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024); 69-й международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторов «Актуальные проблемы БДД» (СПбГАСУ, 2016); межведомственной научно-практической конференции «Актуальные проблемы управления деятельностью по обеспечению

безопасности дорожного движения (состояние, проблемы, пути совершенствования)», Санкт-Петербургский университет МВД России (2018, 2019); 78-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, посвященной 90-летию юбилею университета, 27-31 января 2020, (Москва); Межведомственной научно-практической конференции «Общественная безопасность в сфере дорожного движения: профессиональная подготовка и организационно-правовые инструментари», 26–27 февраля 2020, (Санкт-Петербургский университет МВД России, 2020); межведомственном круглом столе «Исследование возможностей применения беспилотных летательных аппаратов для получения первичной информации о ДТП», 19 марта 2020, (Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова); 8-й и 10-й Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», Орловский государственный университет им. И.С.Тургенева (2022, 2024).

Реализация результатов исследований: подтверждается актами внедрения в процессы выполнения ДТЭ и ЭП ДТП в деятельности организаций: МИП «СПбГАСУ-Дорсервис», ГАИ УМВД РФ по Кировскому району СПб, ООО «Северо-западный региональный центр экспертиз», ООО Ростовский экспертно-правовой центр «ДОН», ООО «Департамент Экспертизы и оценки», СПАО «Ресо-Гарантия», САО «ВСК», АО «Совкомбанк Страхование», АО «АльфаСтрахование». А также результаты диссертационной работы внедрены в образовательный процесс при обучении студентов и аспирантов в: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», о чем также свидетельствуют соответствующие Акты внедрения.

За время подготовки диссертации в учебный процесс также были внедрены результаты работы, вошедшие в комплекс учебно-методических изданий, по которым были получены Премии:

- премия Правительства Санкт-Петербурга в области образования за 2019 год;

- премия Правительства РФ в области образования за 2023 год.

Результаты работы использованы в разработке (под руководством автора) и внедрении следующих национальных стандартов и ОДМ:

- ГОСТ Р 59292-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню летнего содержания. Критерии оценки и методы контроля.

– ГОСТ Р 59401-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Ограничивающие пешеходные и защитные ограждения. Общие технические условия.

– ГОСТ Р 59610-2021 Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы в разных уровнях. Общие требования. Правила размещения.

– ГОСТ Р 71410-2024 Дороги автомобильные общего пользования. Опоры дорожных информационных знаков и стационарного электрического освещения. Общие технические условия.

– ОДМ 218.4.033-2017 Методические рекомендации по созданию системы опытно-экспериментальных полигонов на действующей сети автомобильных дорог федерального значения для внедрения новых технологий и материалов в дорожном хозяйстве в различных природно-климатических зонах Российской Федерации.

Информационная база исследования: опирается на действующую на момент написания работы нормативно-правовую и методическую базу, а также на статистические материалы, результаты натурных краш-тестов с манекенами тела человека и кадаврами, результаты численных экспериментов, данные по фактическим ДТП с участием пешеходов, использовавшиеся при выполнении ДТЭ в охватываемый исследованием период, а также на публикации отечественных и зарубежных ученых в области ОБДД, ДТЭ, ЭП ДТП и ПБ ТС и ЭДО.

Личный вклад автора обусловлен формированием онтологии предметной области исследований в границах поставленной цели и задач исследований, в рамках которых предложенные комплексные решения обеспечивают эффективность ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов, а также заключается в теоретическом обосновании возникновения условий для перехода от МОР к ВП и далее к цифровым платформам, а также заключается в разработке и реализации комплекса методик ДТЭ, комплекса методов ЭП ДТП, в формировании теоретических основ оценки пространства состояний в системе ОПУС и цифровизации процессов взаимодействия исследуемых подсистем в ОБДД, в разработке УПМК для нужд ЭП ДТП с участием пешеходов.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.9.5 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: п.1 Место и роль автомобильного транспорта в транспортной системе страны, взаимодействие с природой, обществом, прогнозы и пути развития автотранспортного комплекса страны; п.6 Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов

автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков; п.9 Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей, качеств водителей; проведение дорожно-транспортной экспертизы, разработка мероприятий по снижению аварийности.

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 67 работах общим объемом 484,4 п.л. (авторских – 176,1 п.л.), в том числе 20 – в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 2 – в Международных индексируемых базах Scopus и Web of Science. Издано 17 монографий, 7 учебных пособий; получено 3 свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 169 наименований. Содержит 412 страниц, 59 иллюстраций, 56 таблиц и 130 страниц приложений.

Во **введении** представлена актуальность исследования проблем ДТЭ с учетом латентности существующей проблематики слабой связанности результатов ДТЭ с практикой ЭП ДТП и разработки мер по ПБ ТС и ЭДО, а также ОБДД в целом, дано описание народно-хозяйственной проблемы вникающей на острие вовлеченности пешеходов в процессы БДД и высоким уровнем их травмирования в ДТП. Приведены цели и задачи исследования, изложены типовые структурные элементы по ГОСТ 7.0.11.

В **первой главе** представлен теоретический аппарат оценки пространства состояний системы ОПУС, с отображением условий перехода к ОПУС в эволюции от ВАДС в задачах ОБДД, описана онтология предметной области исследования и определены границы исследования. Показано факторное пространство связей между слоями ДТЭ – ЭП ДТП – ПБ ТС и ЭДО – ОБДД. Изложены принципы цифровизации процессов взаимодействия подсистем дорожно-транспортной экспертизы, экспертной профилактики ДТП с участием пешеходов и повышения пассивной безопасности ТС в ОБДД, с учетом пространства состояний системы ОПУС.

Во **второй главе** отражены результаты обработки данных по фактическим ДТЭ с участием пешеходов, выполненных за период с 2010 по 2024, позволившие выявить взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам ДТЭ, объемом исходной пространственно-следовой информации (ПСИ) и эффективностью применения методик ДТЭ, в условиях перехода к МОР при производстве ДТЭ и разработке мероприятий по ЭП ДТП с участием пешеходов. Показаны общие теоретические положения по реконструкции механизма ДТП с участием пешеходов.

В *третьей главе* выполнено формирование имитационной гибридной модели тела человека для анализа травмирования, определены сценарии сближения на базе анализа фактических ДТЭ. Представлены результаты по численным экспериментам по комплексному набору сценариев сближения пешехода и ТС и определены зависимости изменения базовых индексов травмирования (ASI, AIS, NIC) пешеходов при первичном и вторичном травмировании. Показаны результаты натурных экспериментов по определению времени реакции пешеходов, приведены уточненные зависимости изменения темпа движения в различных ДТС.

В *четвертой главе* изложен комплекс из 3 методик производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов, показан аппарат комплекса, его практические приложения и результаты применения методик в сравнении с действующими (общепринятыми) в производстве ДТЭ.

В *пятой главе* представлен комплекс из 3 методов обеспечения эффективности ЭП ДТП и ПБ ТС и ЭДО в ОПУС, обоснована эффективность его применения ЭП ДТП с участием пешеходов.

В *шестой главе* обосновано создание универсального полимодельного комплекса (УПМК) для виртуального полигона для оценки ПБ ТС, в роли инструмента решения задач ДТЭ, ЭП ДТП и ОБДД, представлены этапы и мероприятия перехода от УПМК к цифровой платформе ОБДД в рамках эволюции от ВАДС к ОПУС, определены роль и место анализа самоподобных состояний в эволюции от УПМК до цифровой платформы ОБДД.

В *заключении* представлены основные научно-практические результаты выполненных исследований, отражающие результаты практического применения комплекса из 3 методов и комплекса из 3 методик, применения УПМК на ВП, а также даны общие рекомендации к применению и дальнейшему развитию нового направления научных исследований по оценке состояний на принципах редукции самоподобия и анизотропности/изотропности пространств полисистемы ОПУС в контексте как разработанных научных основ обеспечения эффективности ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов, так и методов управления БДД.

В *приложениях* приведен разработанный терминологический аппарат исследования по Главе 1, показаны результаты дешифрации каналов записи натурных тестов по Главе 3, приведены результаты верификации ГМAM и виртуальных тестов по Главе 3, отражены блок-схемы моделей Matlab/Simulink, а также коды комплекса программ на языке Python по Главам 1,3,4 и 5, а также показаны копии Актов внедрения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Система ОПУС, ее описание и границы, прогноз ее возникновения в эволюции от системы ВАДС, внутри факторного пространства и связей слоев ДТЭ – ЭП ДТП – ПБ ТС и ЭДО – ОБДД. Рассматривая настоящее время как отправную точку для эволюции от ТС к ВАТС, дадим определение системе ВАДС в текущем состоянии. Система ВАДС на текущем этапе эволюции это неразрывно связанная система образуемая подсистемами: Водитель, Автомобиль, Дорога и Среда, взаимодействие между которыми определяет состояние безопасности дорожного движения.

Рассматривая МОР как фундаментальный принцип реализации механизма обеспечения эффективности ДТЭ и ЭП ДТП по мере интеграции информационного пространства и перехода от киберфизических интерфейсов (КФИ) к киберфизическим системам (КФС), изложим концепцию эволюции систем с целью формирования теории оценки состояний, пригодного на настоящем этапе эволюции для обеспечения условий дальнейшего перехода по оси развития и для решения цели настоящего диссертационного исследования (обеспечение эффективности). Для этого определим, что **система ОПУС (полисистема ОПУС)** это неразрывно связанная система образуемая подсистемами: Объект, Пространство, Условие и Событие, взаимодействие между которыми определяет состояние **функциональной, пользовательской и киберфизической безопасности дорожного движения**. В которой, при эксплуатации автомобильного транспорта, контроль за процессами управления имеет антропоцентрическую и информационную сущности, с сетевой масштабируемой иерархией, осуществляется без участия человека и направлен на исключение травмирования пассажира или пешехода.

При описании с позиции оценки и управления рисками, определим: **Функциональная безопасность дорожного движения:** состояние, характеризующее отсутствием недопустимых уровней риска, связанного с отказами, вызванными некорректным функциональным поведением компонентов системы ОПУС; **Пользовательская безопасность дорожного движения:** состояние, характеризующее отсутствием недопустимых уровней риска, связанного с отказами, непосредственно влияющими на возникновение индекса травмирования из-за отказа в подсистемах системы ОПУС; **Киберфизическая безопасность дорожного движения:** состояние, характеризующее отсутствием недопустимых уровней риска, связанного с отказами, вызванными нарушениями информационного пространства системы ОПУС.

Таблица 1 – Пространства состояний в рассматриваемой эволюции

№ п/п	Этап	Пространство состояний	Доминирующее свойство
1	Развитие УПМК	$S_1 = \{\text{объекты}\}$	Пространство образовано изолированными объек- тами. Локальность: анализ отдельных ДТП без учета сетевых эффектов.
2	Создание Виртуального полигона (ВП)	$S_2 =$ $= S_1 \times \{\text{пространство,}$ условия}	Образует связанную систему. Мезомасштаб: учет регио- нальных зависимостей, но без обратной связи.
3	Внедрение Цифрового двойника (ЦД) событий	$S_3 = S_2 \times \{\text{события}\}$	Образуется адаптивная система. Глобальность: динамиче- ское обновление моделей на основе Интернета вещей.
4	Формирова- ние Цифро- вой плат- формы ОБДД	$S_4 = S_3 \times$ $\times \{\text{социальные факторы,}$ политика БДД}	Образует полное фазовое пространство. Глобальный охват: самооптимизирую- щаяся система с обратной связью.

Описанные концептуальные решения представлены на рис.1 в виде схематичного отображения эволюции от ВАДС к ОПУС с переходом от МОР через виртуальные полигоны (ВП) к цифровой платформе ОБДД. Многомасштабность сети и моделей на оси развития эволюции достигается только за счет перехода в ЦП через УПМК на ВП.

Изложенный в работе теоретический и понятийный аппарат является базовым фундаментом описания эволюции систем, формирующих состояния в обеспечении БДД. При этом под состоянием следует понимать: конечное множество значений показателей компонентов системы формирующих область в n -мерном пространстве и отображающих ее в любой момент времени. Соответственно самоподобное состояние это состояние полисистемы в котором внутренний состав систем и подсистем, взаимодействия между ними и уровни функциональной, пользовательской и киберфизической БДД демонстрируют одинаковые статистические свойства при любом масштабе времени, т.е. обладают масштабной инвариантностью.

В таблице 1 представлена эволюция как переход пространства состояний БДД от локальных решений к глобальному охвату. Прогнозируемая эволюция описывается расширением фазового пространства (множества всех состояний системы) от локальных параметров ДТП до многомерного пространства данных, управляемого предиктивными моделями на принципах оптимального управления.

2. Теоретический и понятийный аппарат оценки состояний системы ОПУС в условиях ее возникновения при эволюционном переходе от системы ВАДС в обеспечении дорожного движения и понятийный аппарат оценки эффективности ДТЭ и ЭП ДТП в онтологии предметной области исследования. С учетом вышеизложенного, в данной работе вводятся понятия:

Эффективность ДТЭ (при МОР): мера оценки результата применения методов ДТЭ, при котором совокупность свойств ДТЭ, измеряемых комплексом показателей, приводит к достижению целей ДТЭ, содержит в себе объем данных достаточный для применения в ЭП ДТП и дальнейший поиск значений этих показателей приводит к снижению полноты и категоричности выводов в ДТЭ; **Эффективность ЭП (при МОР):** мера оценки результата применения методов ЭП ДТП, при котором совокупность свойств ЭП, измеряемых комплексом показателей, приводит к достижению целей ЭП, содержит в себе объем данных достаточный для применения в ОБДД и дальнейший поиск значений этих показателей с учетом цели ЭП не приводит к улучшению одного или нескольких показателей комплекса, без ухудшения других. В работе были введены также определения следующим терминам: адекватность модели (в ДТЭ, ЭП ДТП и в ОБДД), достоверность результатов ДТЭ; категоричность (в ДТЭ); полнота (в ДТЭ); сходимости (в ДТЭ). Всего введено 39 новых терминов с определением и 5 определений к действующим терминам из практики ДТЭ и ЭП ДТП были переформулированы.

Обобщая введенный понятийный аппарат исследования, следует указать, что механизмом обеспечения эффективности ДТЭ и ЭП ДТП должна являться совокупность примененных процессов производства ДТЭ в МОР, а именно методология ДТЭ и ЭП ДТП, при практическом применении приводящая к максимальным значениям по показателям достоверности, категоричности, полноты и сходимости, при котором скорость выполнения процедур ДТЭ или ЭП ДТП, а также затраты на их выполнение являются минимальными.

Опишем математическую модель динамики пространств эксплуатационных состояний (на векторах: эксплуатация БАТС, эксплуатация дорог, инфраструктурная услуга, транспортная услуга) для системы управления БАТС на условии обеспечения устойчивости состояния безопасности (по видам) процесса дорожного движения в полисистеме ОПУС.

Определение пространств состояний системы управления БАТС: эксплуатация БАТС - состояние описывается вектором $x_1(t)$, включающим параметры работы транспортного средства; эксплуатация дорог - вектор $x_2(t)$ характеризует состояние дорожной инфраструктуры; инфраструктурная услуга - вектор $x_3(t)$ отражает доступность сервисов; транспортная услуга - вектор $x_4(t)$ описывает качество услуги.

Тогда динамика системы управления БАТС описывается как:

$$\frac{dX(t)}{dt} = f(X(t), U(t), D(t)) \quad (1)$$

где $X(t)=[x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t)]$ – объединённый вектор состояний; $U(t)$ – управляющие воздействия; $D(t)$ – внешние возмущения.

Соответственно введем условия устойчивости: для каждого вида безопасности в терминах настоящей работы вводится функция Ляпунова: $V_1 - (X)$ функциональная безопасность, $V_2(X)$ – пользовательская безопасность и $V_3(X)$ – киберфизическая безопасность.

Откуда условие устойчивости системы управления БАТС:

$$\frac{dV_i(X)}{dt} \leq 0 \forall i, \quad (2)$$

При этом классификация состояний предполагает, что самоподобное состояние: $X(t)$ обладает статистической инвариантностью, т.е. $X(t) \sim X(kt)$ для любого масштаба k и обособленное состояние: $X(t)$ не инвариантно, что требует коррекции управления $U(t)$.

Формирование ОПУС в представленной эволюции определяются развитием от КФИ к КФС, интегрированных в цифровую платформу ОБДД, представляющую собой полисистему средств, поддерживающих

использование цифровых процессов, ресурсов и сервисов условно неограниченным количеством объектов полисистемы ОПУС и обеспечивающая возможность управления состоянием процессов дорожного движения в любой своей части, в которой имеются наблюдаемые поливалентные связи взаимодействия, обладающая сниженными издержками транзакций при передаче информации.

Исследуемое факторное пространство связей между слоями было разделено на 12 целевых групп, с учетом информационной связанности процедур, всего было выделено 110 факторов, из них: 95 независимых и 10 смежных в группах (см. табл. 2). Микро- и макро- совокупности в системе ОПУС формируют пространства состояний пересекающихся с другими по своим компонентам в n -мерном окружении, что позволяет определить в онтологии предметной области настоящего исследования группы критериев эффективности для рассматриваемых слоев, индексы критериев и приоритетов которых показаны в таблице 3.

Таблица 2 – Табличное представление целевых групп факторного пространства исследуемых связей

№ п/п	Индекс	Наименование группы факторов	Число факторов в группе	Ключевой слой
1	A	Группа факторов геометрии ТС	12	ДТЭ / ЭП ДТП / ПБ ТС и ЭДО
2	B	Группа факторов антропометрических данных	5	ДТЭ / ЭП ДТП / ПБ ТС и ЭДО
3	C	Группа факторов стадий КСВ – отброс - КП	17	ДТЭ / ПБ ТС и ЭДО
4	D	Группа факторов места начала КСВ	6	ДТЭ / ЭП ДТП
5	E	Группа факторов травмирования	10	ДТЭ / ЭП ДТП / ПБ ТС и ЭДО
6	F	Группа факторов расчета ТВ	9	ДТЭ / ПБ ТС и ЭДО
7	G	Группа факторов ДТП (ДТС)	9	ЭП ДТП / ОБДД
8	H	Группа факторов активности пешехода в ДД	11	ЭП ДТП / ОБДД
9	I	Группа факторов активности водителя в ДД	9	ЭП ДТП / ОБДД

Окончание табл. 2

№ п/п	Индекс	Наименование группы факторов	Число факторов в группе	Ключевой слой
10	J	Группа факторов организации ДД в месте ДТП	11	ЭП ДТП / ОБДД
11	K	Группа факторов выбора мероприятий	5	ЭП ДТП / ОБДД
12	L	Группа факторов ПБ ТС	6	ЭП ДТП / ОБДД

Таблица 3 – Критерии эффективности в онтологии предметной области исследования

№ п/п	Наименование критерия	Индекс функции критерия	Индекс функции внутренних требований	Индекс приоритета	Индекс приоритета внутренних требований
Критерии эффективности ДТЭ ДТП с участием пешеходов					
1	Категоричность	F _{д1}	F _{д9}	ад ₁	ад ₉
2	Затраты времени на производство ДТЭ	F _{д2}		ад ₂	
3	Количество ошибок расчетов	F _{д3}		ад ₂	
4	Величина погрешности расчетов	F _{д4}		ад ₃	
5	Пригодность для экспертного причинного анализа	F _{д5}		ад ₃	
6	Значения индексов травмирования	F _{д6}		ад ₄	
7	Погрешность смещения в наложении МОР на видеозапись	F _{д7}		ад ₄	
8	Плотность области оптимизации	F _{д8}		ад ₅	
9	Прогнозируемые значения индексов травмирования	F _{эп1}	F _{эп5}	аэп ₁	аэп ₅
10	Количество ДТП	F _{эп2}		аэп ₂	

Окончание табл. 3

№ п/ п	Наименование критерия	Индекс функ- ции крите- рия	Индекс функции внутрен- них тре- бований	Индекс приори- тета	Индекс приори- тета внутрен- них тре- бований
Критерии эффективности ЭП ДТП с участием пешеходов					
11	Стоимость мероприятий к изменению числа ДТП	F _{Эп3}	F _{Эп5}	а _{Эп3}	а _{Эп5}
12	Количество ошибок прогнозирования	F _{Эп4}		а _{Эп4}	
Критерии эффективности ПБ ТС и ПБ ОТИ					
13	Изменение индексов травмирования	F _{П1}	F _{П6}	а _{П1}	а _{П6}
14	Количество не результа- тивных срабатываний систем ADAS	F _{П2}		а _{П2}	
15	Количество не результа- тивных распознаний пешехода	F _{П3}		а _{П3}	
16	Стоимость решений ПБ к изменению числа ДТП	F _{П4}		а _{П4}	
17	Стоимость решений ПБ к изменению индексов травмирования	F _{П5}		а _{П5}	
Критерии эффективности ОБДД					
18	Изменение коэффициента тяжести ДТП	F _{О1}	F _{О4}	а _{О1}	а _{О4}
19	Изменение коэффициента плотности ДТП	F _{О2}		а _{О2}	
20	Интегральная оценка ка- чества вовлеченности в БДД (удобство + сниже- ние конфликтности)	F _{О3}		а _{О3}	

3. Основные принципы информационного взаимодействия подсистем ДТЭ, ЭП ДТП с участием пешеходов и повышения ПБ ТС и ЭДО в ОБДД. В развитие сформированной теории и рабочей гипотезы настоящей работы, с учетом таблицы 3, в автореферате в качестве примера,

иллюстрирующего данный подход, показано разложение в квазилинейной постановке для слоя ОБДД, расположенного в пространстве состояний над слоями ДТЭ, ЭП ДТП и ПБ ТС и ЭДО. Индексация функций F_{Oi} и приоритетов a_i согласно таблицы 3.

Относительно вышеизложенных критериев эффективности, для каждого слоя (группы критериев эффективности) были описаны условия существования стационарных точек целевой функции и точек локальных экстремумов ненулевых непрерывных функций типа F_{Oi} , а также достигнута максимизация целевой функции, т.е. максимизация эффективности в слое по выбранным критериям.

Целевая функция регулятора для слоя ОБДД будет иметь вид:

$$F_O = F_{O1}^{a_1} F_{O2}^{a_2} F_{O3}^{a_3} F_{O4}^{1-(a_1+a_2+a_3)} \quad (3)$$

Показатели, которой удовлетворяют условиям: $a_1+a_2+a_3+a_4=1$ и $a_i > 0$.

Учитывая предлагаемое введение редукции самоподобных состояний в полисистеме ОПУС в рассмотрении остаются ситуации или состояния, когда существуют точки локальных и глобальных максимумов функции F_O , что позволяет считать что F_{Oi} могут быть представлены функциями следующего вида:

$$F_{Oi}(x) = \left(\sum_{k=1}^n a_k^i x_k + b_i \right) I_{\left\{ \sum_{k=1}^n a_k^i x_k + b_i > 0 \right\}}, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

где I – индикатор множества состояний.

При нахождении частных производных функций и использовании дополнений (s, t, u) для сокращения записи получим:

$$F(s, t, u) = (s + b_1)^{a_1} \cdot (t + b_2)^{a_2} \cdot (u + b_3)^{a_3} \times \left(\frac{a_1 c_1}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} s + \frac{a_2 c_2}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} t + \frac{a_2 c_2}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} u \right)^{(1-(a_1+a_2+a_3))} \quad (5)$$

Откуда, необходимое условие экстремума функции $F(s, t, u)$ в стационарной точке $x \in \bigcap_{i=1}^4 B$, с учетом условий (4), будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(a_1 \frac{a_1 c_1}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} - a_1 c_1 \right) s + \left(a_1 \frac{a_2 c_2}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} \right) t + \\ \quad + \left(a_1 \frac{a_3 c_3}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} \right) u = a_1 c_1 b_1 - a_1 b_4 \\ \left(a_2 \frac{a_1 c_1}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} \right) s + \left(a_2 \frac{a_2 c_2}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} - a_2 c_2 \right) t + \\ \quad + \left(a_2 \frac{a_3 c_3}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} \right) u = a_2 c_2 b_2 - a_2 b_4 \\ \left(a_3 \frac{a_1 c_1}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} \right) s + \left(a_3 \frac{a_2 c_2}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} \right) t + \\ \quad + \left(a_3 \frac{a_3 c_3}{((a_1 + a_2 + a_3) - 1)} - a_3 c_3 \right) u = a_3 c_3 b_3 - a_3 b_4 \end{array} \right. \quad (6)$$

Данный подход, показывает, что рассматриваемые в работе слои могут находиться в состоянии рациональной эффективности по заданным критериям, если управление слоем осуществляется за счет жесткой регуляции приоритетов, основываясь на потоковой обработке больших объемов данных.

Изложенное также позволяет определить расширение принципа цифровизации в следующей формулировке: использование квазилинейной постановки перехода от УПМК на ВП к совокупности ЦД определяет допустимость решений в пространстве состояний ОПУС для всех слоев исследования, при этом квазилинейность модели указывает на квазистационарность системы в целом, что при цифровизации делает состояние ОПУС пригодным для блокчейна, что приводит к новым возможностям по цифровой трансформации, с учетом того, что линейная зависимость системы векторов приоритетов (вне зависимости от их числа) позволяет квантовать поверхности состояний, тем самым определяя уровни БДД.

С целью иллюстрации вывода были сформированы 10 сценариев, которые показаны в работе и была оценена их целевая функция. Их анализ показал, что система способна эффективно перераспределять приоритеты в зависимости от поставленных задач. В частности, продемонстрирована устойчивая работа в условиях взаимозависимости слоев.

4. Взаимосвязи между категоричностью полученных выводов по результатам ДТЭ, объемом исходной ПСИ и эффективностью применения методик ДТЭ, в условиях перехода к МОР при ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов. С целью поиска взаимосвязи была исследована выборка в 6987 ДТЭ (за период с 2010 по 2024 годы), выполнявшихся в рамках гражданского, административного и уголовного производства в государственных экспертных организациях Северо-западного федерального округа РФ. В результате анализа получены: оценка примененных методов производства ДТЭ, их эффективности, категоричности выводов, объема и широты использования МОР, причин отказа экспертов от решения различных групп вопросов; оценки времени вовлеченности пешеходов, распределения частоты видов активности пешеходов и однородных видов действий пешеходов, предшествовавших наезду на них ТС; оценка общих черт психофизиологического состояния пешеходов по видам их активности до ДТП; оценка темпов движения, фактических скоростей пешеходов к моменту КСВ относительно видов активности; распределение количества ДТП с наездом на пешехода по месяцам года, по часам суток и распределение частоты случаев различных видов действий пешеходов до ДТП; зависимости количества ДТП (средневзвешено) с различными видами AIS от скорости ТС в момент наезда (см. рис. 2).

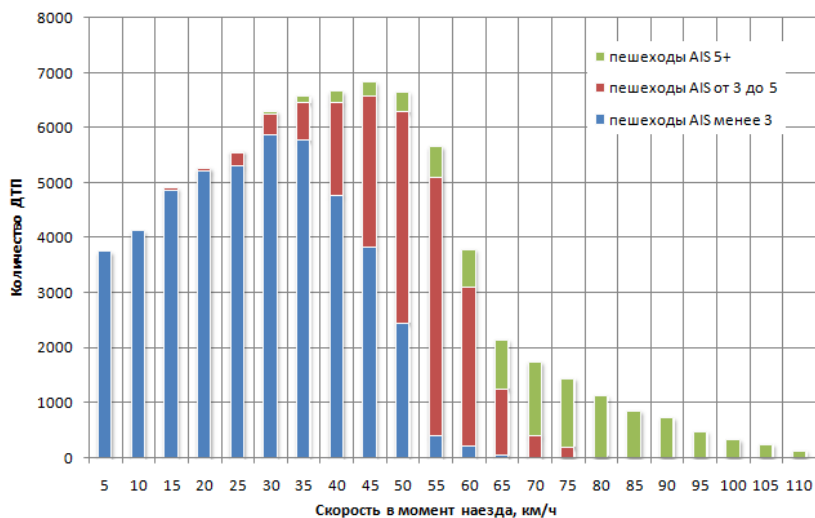


Рисунок 2 – Зависимость количества ДТП (средневзвешено) с различными видами AIS от скорости в момент наезда для пешеходов

С учетом вышеуказанной выборки, была проанализирована категоричность выводов ДТЭ и среди основных (типовых) задач реконструкции механизма наезда на пешехода, были выделены формулировки типовых задач ДТЭ, связанным с поиском причинно-следственной связи между превышением скорости движения ТС (его фактической скоростью в момент ДТП) и полученной степенью тяжести ТП пешеходом, которые показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Типовые задачи, выбранные из общей выборки

№ п/п	Индекс типовой задачи ДТЭ	Искомая причинно-следственная связь	Вид случаев	Число ДТЭ в выборке, где ставилась данная задача
1	A1	Связь между тяжестью ТП при первичном травмировании и фактической скоростью ТС в момент наезда	Наезд и наезд с повторным наездом при падении/отбросе тела	375
2	A2	Связь между тяжестью ТП при первичном травмировании и фактической скоростью ТС до столкновения	Столкновение с последующим наездом на пешехода (-ов) одним из ТС, участвовавших в столкновении	128
3	Б	Связь между тяжестью ТП при вторичном травмировании и фактической скоростью ТС в момент наезда	Наезд	134
4	В	Связь между тяжестью ТП при вторичном травмировании и фактической скоростью ТС в момент наезда на ТС	Наезд с повторным наездом при падении/отбросе тела	186
5	Г	Связь между тяжестью ТП, нестандартными действиями пешехода (подпрыгивание, приседание и т.п.) и фактической скоростью ТС в момент наезда	Наезд и наезд с повторным наездом при падении/отбросе тела	94

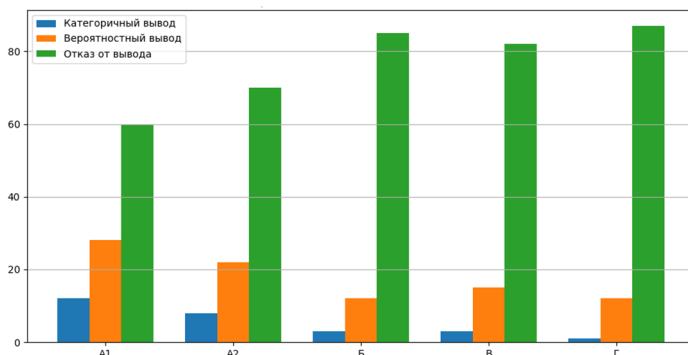


Рисунок 3 – Распределение категоричности выводов по типовым задачам (в %)

На рисунке 3 показано распределение категоричности выводов по типовым задачам (в %). Анализ данных выявил системные проблемы в проведении ДТЭ при наездах на пешеходов. В 60-87% случаев эксперты отказывались от категоричных выводов, причем в задачах, связанных с вторичным травмированием (Б, В) и нестандартными действиями пешеходов (Г), доля отказов достигала 82-87%. Основными препятствиями стали отсутствие методик (для Б из Г) и недостаточность исходных данных (для A1 и A2). В задачах, требующих анализа скорости ТС в момент первичного контакта (A1, A2), доля категоричных выводов составила 8-12%, что выше, чем в других категориях.

Также в работе были выделены 23 типовых сценария стадии сближения в механизме ДТП с участием пешеходов, при этом получена оценка степени тяжести политравмы пешехода (индекс AIS) относительно данных сценариев, получено распределение локализации ТП пешехода по сценариям в оценке AIS. В выполненном широком спектре аналитических исследований, также следует обобщить следующую выявленную взаимосвязь: эффективность ДТЭ и ЭП ДТП с участием пешеходов непосредственно зависит от содержательности исходной ПСИ, качества и количества данных об ОИ и состоянии подсистем ВАДС (УДДАДС), а также от степени внедрения процедур МОР в процессы данных слоев.

5. Зависимости изменения базовых индексов травмирования пешеходов при первичном и вторичном КСВ, изменения риска травмирования, изменения коэффициентов жесткости фронтальной части транспортных средств, а также классификационные правила при типизации антропоморфных данных в ГМАМ и при параметризации геометрии фронтальной части кузова, для формирования суррогатных КЭМ. С целью формирования факторной группы В (см. табл.2) была

разработана гибридная модель антропоморфного манекена (ГМАМ), которая совмещает в себе «скелетный» многозвенный каркас многомассовой системы, использующий принципы моделей типа MADYMO с оболочкой из КЭ разной плотности и заданных свойств КЭ, реализованный как связанная полимодель: Matlab/Simulink/Simscape – Autodesk Fusion с экспортом в Ansys. Типизация антропоморфных данных производится путем смены параметров модели (геометрия модели параметризирована) на перестройке модели по указанной связке.

По сравнению с полными антропоморфными моделями типа THUMS, особенностью является возможность отражать локализации телесных повреждений (ЛТП) на модели, чего нет для моделей MADYMO, существенно сокращается время расчета МКЭ, сопоставление ошибки перемещений не превышает 5%, для задач (в том числе индексированных) ДТЭ (ГМАМ к THUMS и к тестам NHTSA). Выполнялось сравнение величин достигаемых значений сил (в Н) на центре тяжести (ЦТ) головы, шеи, груди, таза, бедра, колена и голени ГМАМ относительно тестовых значений, ранее применявшимися для верификации моделей THUMS 4 (тесты с кадаврами).

На рис.4 показан пример сравнения тестовых значений силы (приведенных от 3-х осей) на ЦТ головы. Верификация ГМАМ показала высокую сходимость по траекториям ЦТ указанных частям геометрии ГМАМ (см. рис. 5).

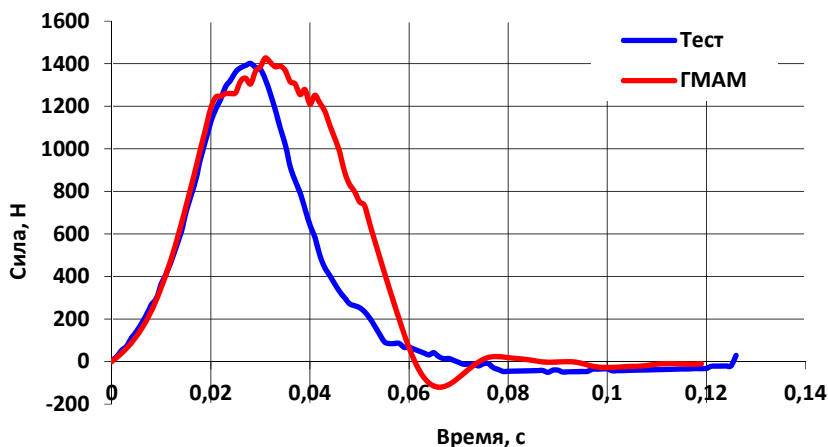


Рисунок 4 – Результаты верификации ГМАМ. Сравнение силы на ЦТ головы ГМАМ с данным теста с кадавром

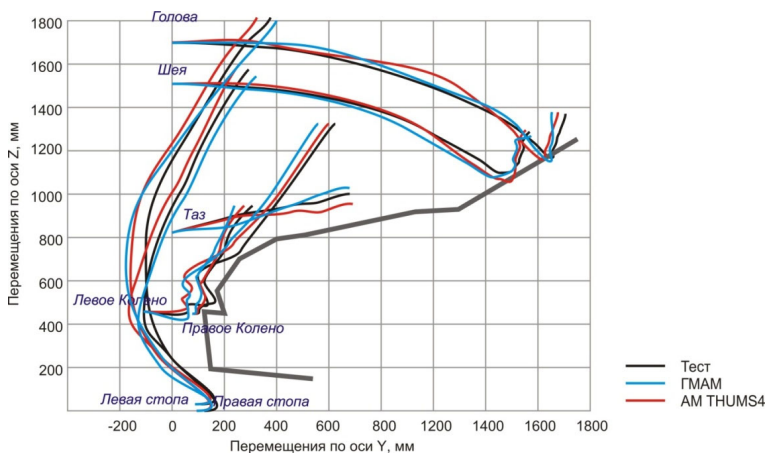


Рисунок 5 – Результаты верификации ГМАМ.
Сравнение траекторий перемещений ЦТ

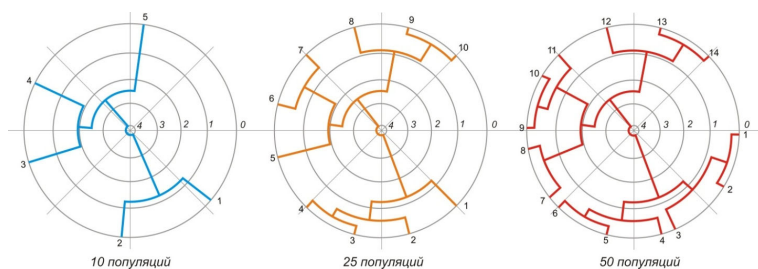
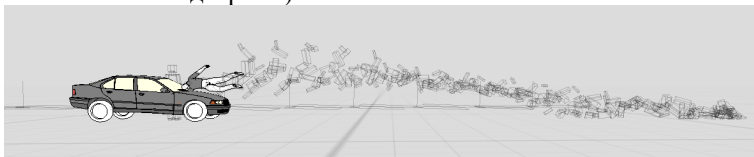


Рисунок 6 – Дендрограммы иерархического кластерного многообразия
в зависимости от числа поколений (10; 25; 50)

Методика параметризации геометрии факторной группы А (см. табл. 2) для реализации МОР в ДТЭ для формирования суррогатов моделей была реализована на базе датасета в 27858 ТС, путем обработки *xlsx* таблиц *xlsx* таблицы массы/геометрии с применением иерархической кластеризации по методу Уорда. На рис.6 показан пример кластеризации в зависимости от числа поколений (популяций).

Для снижения объема дальнейших вычислений, в работе принято кластерное деление на 5 кластеров, в частности в Главах 4 и 5 при использовании конечно-элементного моделирования (суррогатных КЭМ). Особенности принятой кластеризации для разных антропометрических типов отразились в нахождении критических параметров влияния на

травмирование пешехода. В качестве базы сравнительного анализа результатов численного моделирования использовались в экспериментальной базе: результаты натурных тестов NHTSA (выборка из 10 тестов с АМ типа Ploar-2 и 2 теста с кадаврами).



0.524 сек с момента начала КСВ – первичный удар головой



1.641 сек с момента начала КСВ – вторичный удар головой

Рисунок 7 – Пример отображения перемещений при первичном и вторичном травмировании

Численные эксперименты при анализе особенностей первичного и вторичного травмирования проводились на базе АМ типа MADYMO в программах PC-Crash 8, VirtualCrash 5 (для 5 кластеров, с вариацией по скорости движения ТС (от 20 до 120 км/ч), скорости движения пешехода (от 0 (стоящий пешеход) до 16 км/ч), фазы шага в момент начала первичного КСВ, угла входа к продольной оси ТС, контактной зоны на ТС (25%, 50% и 75% от габаритной ширины), фазы торможения ТС (наезд без торможения, наезд в момент начала срабатывания тормозного привода, наезд после достижения установившегося замедления). Пример отображения перемещений при первичном и вторичном травмировании в ходе МОР показан на рисунке 7.

По каждому эксперименту в серии строились графики изменения скорости центров тяжести головы (ЦТ) и шеи, а также замедлений/ускорений на данных ЦТ относительно времени события (всего: более 3000 тестов). Накапливались также сопутствующие данные: время первичного КСВ, дальность перемещений в стадиях: КСВ – оброс – конечное положение. При выполнении анализа полученных моделей перемещений по численным экспериментам учитывался показатель высотного соотношения передней кромки капота к высоте ЦТ бедра – R_H , в м. Показатель R_H использовался при получении зависимостей изменения AIS и NIC.

6. Математический аппарат, определяющий изменение критериев эффективности ДТЭ в условиях развития субпроцедур МОР

и формирования УПМК для ВП, реализующего усовершенствованный комплекс методик производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов, включающий: методику расчета затрат скорости на КСВ на базе суррогатных КЭМ; методику расчета риска травмирования; методику оптимизации цифровой модели механизма ДТП выполненной при МОР генетическим алгоритмом. Методика расчета затрат скорости на КСВ на базе суррогатных конечно-элементных моделей (СКЭМ). Учитывая предложенную методику параметризации геометрии факторной группы А (см. табл. 3) для задач ДТЭ ДТП с участием пешеходов методику формирования СКЭМ можно представить в виде последовательности операций (субпроцедур) показанных на рис.8, где кластеризация по жесткости выполнялась также путем иерархической кластеризации генетическим алгоритмом инструментами субприложений Matlab для Statistics and Machine Learning Toolbox.

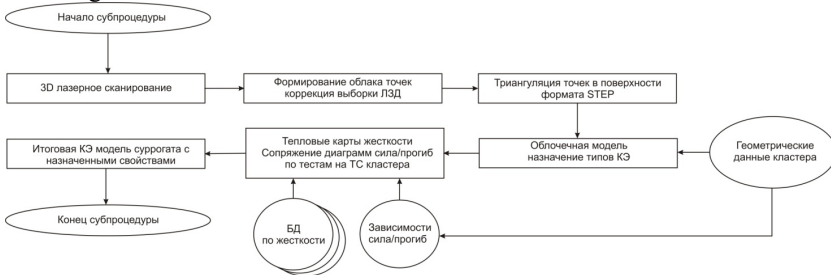


Рисунок 8 – Последовательность субпроцедур в ДТЭ при МОР по формированию суррогатной оболочечной КЭМ

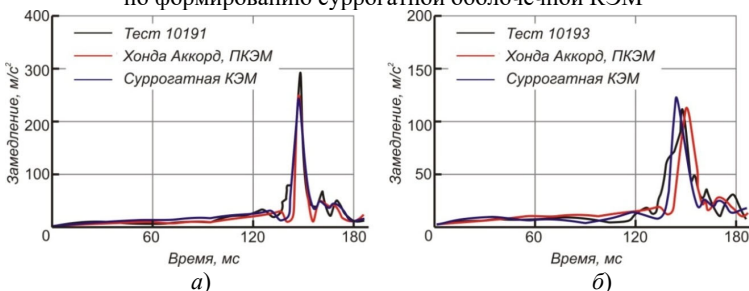


Рисунок 9 – Результаты сравнения ПКЭМ с суррогатной КЭМ: а – фронтальный удар; б – боковой удар

Сравнение результатов применения полных КЭМ для LS-Dyna и СКЭМ на базе оболочечной КЭМ приводилось к выбранным тестам NHTSA, на рис.9 показан пример сходимости расчетных и фактических значений суммарного замедления на ЦТ ТС относительно двух тестов.

Приложенная методика показала для задач ДТЭ погрешность расчета по скорости ТС на КСВ до ± 3 км/ч, при снижении времени расчета в среднем на 50%. Применение методики расчета затрат скорости на КСВ на базе суррогатных КЭМ при определении фактической скорости ТС в момент наезда на пешехода позволило получить сходимость конечной ЦМ ДТП в МОР с результатами расчета скорости по видеозаписям с ошибкой не более 5%, при этом имело место снижение затрат времени на производство ДТЭ в среднем до 18%.

Методика расчета риска травмирования. С учетом данных полученных в ходе численного моделирования с использованием ГМАМ были определены:

– зависимость изменения значения индекса AIS от скорости в момент наезда для пешеходов при первичном травмировании (коэффициент детерминации $R^2 = 0,921$)

$$AIS = 2,09651e^{0,0154V} \quad (7)$$

– зависимость изменения значения индекса AIS от скорости в момент наезда для пешеходов при вторичном травмировании (коэффициент детерминации $R^2 = 0,908$)

$$AIS = 1E-05V^3 - 0,0017V^2 + 0,0738V + 1,6297 \quad (8)$$

Для оценки травмирования при вторичном ударе (падении) при сравнении случаев движения с различными скоростями (например: с фактической и с максимально допустимой) по результатам моделирования были использованы следующие переменные: скорость движения ТС, скорость движения пешехода, масса пешехода и R_H .

В ходе статистического моделирования в программном обеспечении MatLab была получена следующая зависимость расчета вероятности получения тяжкого вреда или летального исхода:

$$p = -8,897 + 0,032V_A + 0,013V_{II} + 0,027m_{II} + 5,798R_H \quad (9)$$

где V_A – скорость движения ТС в момент наезда, км/ч; V_{II} – скорость движения пешехода, км/ч; m_{II} – масса пешехода в кг; R_H – высотное соотношение высоты передней кромки капота к высоте бедра в момент контакта, м. С целью проверки практического применения реализации методики были отобраны 25 примеров фактических ДТЭ, из базы ИБДД, выполненных в рамках уголовных дел с участием пешеходов. Из них, были отобраны на каждую типовую задачу (см. табл. 4) было выбрано по 5 ДТЭ. В результате применения методики расчета риска травмирования в практике производства ДТЭ, установлено что при решении типовых (индексированных) задач А1, А2, Б, В, Г объем вероятностных и условных выводов в ДТЭ снижется до нуля при применении метода в МОР.

Методика оптимизации цифровой модели механизма ДТП выполненной при МОР генетическим алгоритмом. Оптимизация выполнялась для факторных групп: С, D, E и F (см. таблицу 2). В качестве примеров были 12 фактических ДТЭ, где скорость ТС либо не определялась, либо рассчитывалась по отбросу тела. Сводные данные по выбранным примерам и по результатам оптимизации позы пешехода при поиске минимума ошибки между КПОИ фактическим и по ЦМ показаны в диссертации. При этом позиция тела к КП привязывалась по трем точкам туловища, в отличие от обычной проверки смещения КП модели от КП фактического только по центру масс.

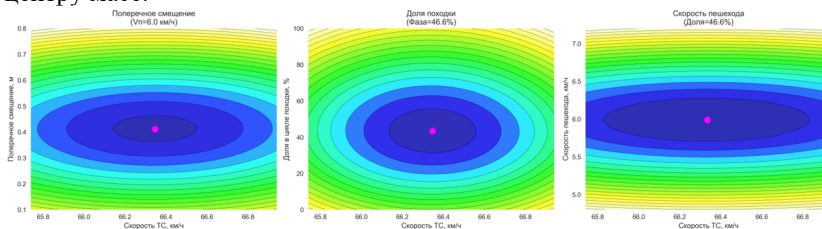


Рисунок 10 – Изолинии минимизации ошибки по КПОИ для примера №2

На рис.10 показаны изолинии минимизации ошибки для примера №2 из 12 выбранных по оптимизации позы пешехода в момент начала КСВ по набору факторов из групп С и E (см. табл. 2). С целью проверки эффективности методики, было выполнено сравнение методов оптимизации для ЦМ ДТП по: применимости для типовых задач по таблице 4; сходимости (уменьшение площади области фактического местоположения точки начала КСВ) и категоричности.

С целью проверки практического применения всего комплекса методик были отобраны 15 примеров фактических ДТЭ, из них, 10 примеров были отобраны из общей рассмотренной выборки экспертной практики, по тем ДТЭ, где уже было определено наличие превышения скорости или расчет показал близкое к максимально допустимому значение скорости (например, 63 ± 5 км/ч) и 5 примеров, где показатели оценки не определялись в исследовании вообще. Сравнительный анализ проводился по критериям таблицы 3, с учетом индексации сценариев сближения, оценивались: скорость ТС в момент КСВ, скорость пешехода в момент КСВ, доля в походе, угол сагиттальной плоскости в момент КСВ. На основе анализа 15 примеров доказано, что применение комплекса методик, позволило получить более точные значения скорости ТС в момент контакта с пешеходом, что в среднем увеличило расчётные показатели на 3–5 км/ч по сравнению с традиционными методами. В случаях, где вышеуказанные

показатели не рассчитывались, применение новых методик позволило существенно уточнить выводы.

7. Комплекс методов обеспечения эффективности ЭП ДТП и повышения ПБ транспортных средств в полисистеме ОПУС, включающий: метод оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых транспортных средств на базе генетического алгоритма; метод расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию для пешеходов); метод определения уровней безопасности участка дороги по оценке прогнозируемого времени выхода (ПВВ) пешехода из опасной зоны. Метод оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых ТС на базе генетического алгоритма. Использовались факторные группы А-Е по табл. 2. Оптимизация приводилась к ЦМ всего механизма ДТП, что позволило учесть особенности типовых ДТП по ранее выделенным сценариям. Для оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых ТС была применена комбинация генетического алгоритма и энергопоглощающих структур, вдохновленных оригами. Эти структуры образуют связанную сетку (аналогичную кольчуге), интегрированную (аддитивно изготовленную) в капот, бампер и верх крыльев ТС, что позволяет эффективно поглощать энергию удара при наезде на пешехода. Пример итоговых продольных сечений при делении на пять кластеров показаны на рис. 11.

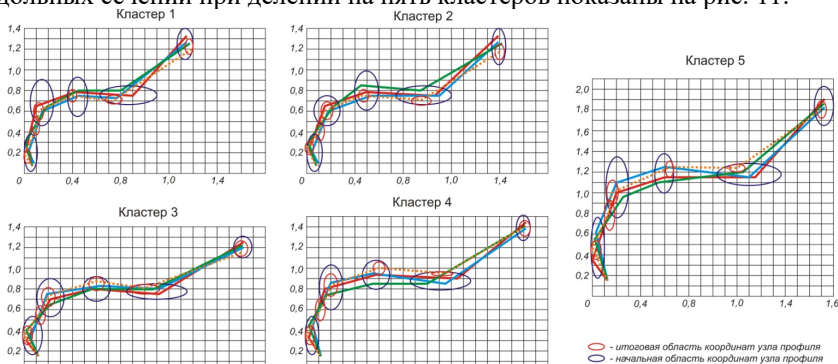


Рисунок 11 – Итоговые продольные сечения для деления на пять кластеров. Сплошные линии – первые поколения, пунктирные линии – конечный профиль сечения после оптимизации

При применении метода оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых ТС на базе

генетического алгоритма достигнуто снижение индексов травмирования пешехода в среднем до 23%. Кроме того, определено что внедрение предложенных структур на основе оригами позволило: снизить индексы травмирования: НИС на 15–20%, ASI на 10–15%, AIS на 5–10%.

Метод расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию в состояниях ОПУС) для пешеходов с вариацией факторов оценки. Всего применялся 51 фактор оценки в 6 группах (окружающей среды, социально-экономические, транспортные, транзита, землепользования, демографические) и факторы групп J и K (16 факторов – см. табл.2).

Пример получения оценки при оценке мер по выбору ширины пешеходной части:

$$K_y = -1,2276 \ln(W_{ol} + W_1 + f_P \times \%OSP + f_b \times W_b + f_{sw} \times W_s) + 0,0091 (V_{15}/L) + 0,0004 S_{PD}^2 + 6,0468 \quad (10)$$

где: $\ln$ – натуральный логарифм; W_{ol} – ширина внешней полосы движения (м); W_1 – ширина обочины (м); f_P – коэффициент влияния уличной парковки; $\%OSP$ – процент доли занятости уличной парковки; f_b – коэффициент занятости буферной зоны; W_b – ширина буфера (м); f_{sw} – коэффициент ширины тротуара к ширине проезжей части; W_s – ширина тротуара; V_{15} – количество ТС в пиковый 15-минутный период (в час); L – общее количество полос для движения ТС; S_{PD} – средняя скорость движения автотранспорта (км/ч).

Были рассмотрены возможные сочетания оцениваемых факторов с их оценкой влияния, для этого было сформировано 10 примеров сочетаний факторов оценки удобства обслуживания для пешеходов. При этом, каждый пример демонстрировал, как сочетание факторов из разных групп (землепользование, транспорт, демография и др.) влияет на удобство обслуживания пешеходов. При применении данного метода с вариацией факторов оценки получено прогнозируемое снижение индексов травмирования пешехода до 58% при соотношении стоимости решений (введения организационных мер) к сокращению числа наездов до 1:8.

Метод определения уровней безопасности участка дороги по оценке прогнозируемого времени выхода (ПВВ). Введем математический аппарат смещения области конфликтов с учетом пространств состояний. Пространство состояний транспортного средства (ТС) обозначим как $S_{ТС}$, где каждая точка $S_{ТС} \in S_{ТС}$ описывается параметрами: v – скорость ТС (км/ч), a – ускорение/замедление ТС (м/с²), d – расстояние до пешеходного перехода (м). Пространство состояний пешехода обозначим как $S_{пеш}$, где каждая точка $S_{пеш} \in S_{пеш}$ описывается параметрами: v_p – скорость пешехода (км/ч),

t_r – время реакции пешехода (с), p – позиция пешехода относительно перехода (м).

Тогда область конфликтов C определяется как пересечение подпространств S_{TC} и $S_{пеш}$, где прогнозируемое время выхода (ПВВ) пешехода и скорость ТС создают риск наезда:

$$C = \{(S_{TC}, S_{пеш}) \mid ПВВ(S_{TC}, S_{пеш}) \leq T \wedge v \geq V_{\min}\}, \quad (10)$$

где T – критическое время (1.5 с, 3 с, 5 с для высокого, среднего и низкого риска соответственно), $V_{\min}$ – минимальная скорость риска (16 км/ч, 32 км/ч, 48 км/ч).

По ПВВ и тяжести травм (к скорости транспортного средства) наезды на пешеходов были классифицированы по степени риска травмирования на три категории: низкая, средняя и высокая. На рис.12 показан пример смещения области конфликтов по данному методу при введении различных мероприятий по ОДД.

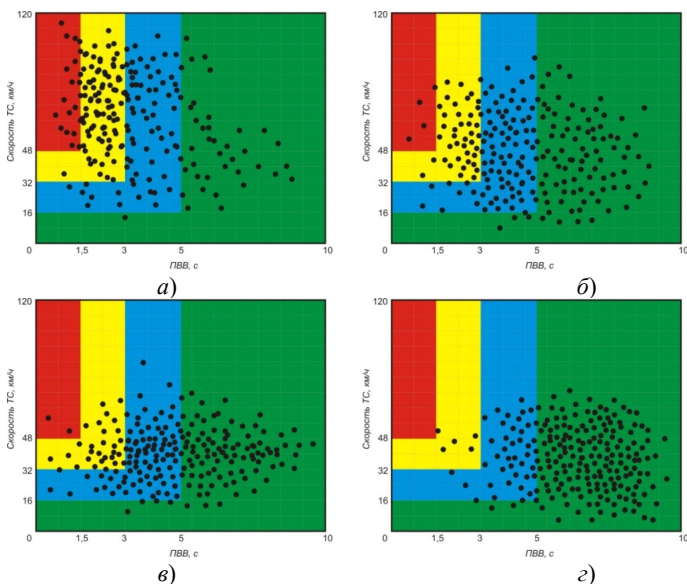


Рисунок 12 – Пример смещения области конфликтов при внедрении мероприятий по ОДД в районе пешеходного перехода: a – расположение конфликтных точек до внедрения мероприятий; b – установка пешеходных ограждений; v – установка искусственных неровностей перед переходом; z – установка камеры контроля скорости совместно с мероприятиями b и v .

В системе ОПУС, для определения уровня безопасности участка дороги предлагается интегральный показатель безопасности (S_{INT}), объединяющий: прогнозируемое время выхода (ПВВ), тяжесть потенциальных травм (AIS/HIC), динамические условия, который можно рассчитывать по формуле:

$$S_{INT} = \left(1 - \frac{|C|}{|S|}\right) \times \frac{1}{1 + \langle AIS \rangle} \times e^{\left(-\lambda \cdot \frac{N_{OP}}{N}\right)}, \quad (12)$$

где: $|C|$ – мощность области конфликтов; $|S|$ – общее число возможных состояний системы; $\langle AIS \rangle$ – средний балл тяжести травм для C ; λ – коэффициент чувствительности к условиям; N_{OP} – число опасных условий; N – нормирующий фактор (например, 10 для городских улиц).

Показанные в работе примеры, доказывают, что внедрение мер (неровности, ограждения, камеры) снижает долю высокорисковых конфликтов на 64–83%. При применении данного метода получено, что рациональное смещение области конфликтов в границы высоких и средних уровней ПБ может достигать до 37% при комплексном применении мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научно-практические результаты диссертационного исследования:

1. Сформированные теоретические основы, их понятийный аппарат в представленной концепции позволили определить условия и основные механизмы эволюционного перехода от ВАДС к ОПУС на оси цифровизации (цифровой трансформации) от МОР к ЦД на цифровой платформе ОБДД. При этом впервые сформировано факторное пространство связи ДТЭ – ЭП ДТЭ – ПБ ТС – ОБДД, включающее: 12 целевых групп, всего 110 факторов, из них: 95 независимых и 10 смежных в группах. Данное факторное пространство использовано внутри предметной области исследования при разработке, как теоретического аппарата, так и методических комплексов вышеуказанной связи слоев. Сформирован фундаментальный аппарат для смены парадигмы организации управления БДД с древовидной иерархии на сетевую, при этом математически доказана возможность нахождения областей оптимальных решений в каждом рассматриваемом слое связей при переходе к кавизилинейному представлению редукции пространств состояний через самоподобие.

При реализации механизма обеспечения эффективности ДТЭ и ЭП ДТЭ с участием пешеходов в поставленной формулировке, разрабатываемый аппарат ориентирован на обеспечение снижения индексов

травмирования, что формирует базис для ПБ ТС и разработки комплекса организационно-технических мер по формированию требований к объектам дорожного обустройства, включая технические средства ОБДД. В этом случае снижение смертности в дорожном движении в целом (включая смертность пешеходов) является следствием применения таких мер, а также целевым эффектом от их внедрения.

2. На основе анализа выборки ДТЭ по ДТП с участием пешеходов, выполнен широкий спектр аналитических исследований, охватывающий полностью механизм ДТП с участием пешеходов, а также включающий анализ примененных методов ДТЭ, их эффективности, категоричности выводов в них, использования МОР, применения данных БУРС, отдельных видов и методов исследования, причин отказа экспертов от решения различных групп вопросов (таких как определение места ДТП, скорости движения и т.д.).

3. Разработанная параметризованная гибридная модель антропоморфного манекена, с возможностью отражения локализаций телесных повреждений на модели (что отсутствует в моделях типа MADYMO), при применении в процедурах МОР в ДТЭ и ЭП ДТП (а также и при ПБ ТС и ЭДО) по сравнению с полными антропоморфными моделями типа THUMS, сокращает время расчета МКЭ на в среднем 23%. При этом, выполненное сравнение ГМAM к модели THUMS на тестовых данных NHTSA показало значения величин ошибки перемещений центров масс и ошибки расчета индексов травмирования не превышающими 5%.

4. При разработке механизма повышения эффективности ДТЭ на слое производства ДТЭ по ДТП с участием пешеходов, был разработан комплекс методик, включающий: методику расчета затрат скорости на КСВ на базе суррогатных КЭМ; методику расчета риска травмирования; методику оптимизации цифровой модели механизма ДТП выполненной при МОР генетическим алгоритмом.

Применение методики расчета затрат скорости на КСВ на базе суррогатных КЭМ при определении фактической скорости ТС в момент наезда на пешехода позволило получить сходимость конечной ЦМ ДТП в МОР с результатами расчета скорости по видеозаписям с ошибкой не более 5%, при этом имело место снижение затрат времени на производство ДТЭ в среднем до 18%.

В результате применения методики расчета риска травмирования в практике производства ДТЭ, установлено что при решении типовых (индексированных) задач А1, А2, Б, В, Г объем вероятностных и условных выводов в ДТЭ снижется до нуля при применении метода в МОР.

При применении в МОР методики оптимизации цифровой модели механизма ДТП на основе генетического алгоритма установлено, что площади областей вариативных значений ЦМ могут быть уменьшены на 87%, при сравнении с методами итерационной оптимизации и методом Монте-Карло.

Все разработанные методики в рамках данного комплекса показали высокую пригодность для переноса информационной сущности на выше-лежащий слой ЭП ДТП – ПБ ТС.

5. При разработке инструментов повешения эффективности в слое ЭП ДТП – ПБ ТС, был разработан и внедрен на практике комплекс методов обеспечения эффективности ЭП ДТП и ПБ ТС в ОПУС, включающий: метод оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых ТС на базе генетического алгоритма; метод расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию в состояниях ОПУС) для пешеходов с вариацией факторов оценки; метод определения уровней безопасности участка дороги по оценке прогнозируемого времени выхода (ПВВ).

При применении метода оптимизации геометрии продольных и поперечных сечений фронтальной части кузова легковых ТС на базе генетического алгоритма достигнуто снижение индексов травмирования пешехода в среднем до 23% (для группы из 5 кластеров геометрии фронтальной зоны ТС). При применении метода расчета оценки удобства обслуживания (безопасности доступа к обслуживанию в состояниях ОПУС) для пешеходов с вариацией факторов оценки получено прогнозируемое снижение индексов травмирования пешехода до 58% при соотношении стоимости решений (введения организационных мер) к сокращению числа наездов до 1:8. При применении метода определения уровней безопасности участка дороги по оценке прогнозируемого времени выхода (ПВВ) получено, что рациональное смещение области конфликтов в границы высоких и средних уровней ПБ может достигать до 37% при комплексном применении всех предложенных методов.

6. Комплексы методик слоев ДТЭ и ЭП ДТП включены в разработанный универсальный полимодельный комплекс виртуального полигона для оценки ПБ ТС, при этом сформированы и апробированы на практике процедуры оптимизации, машинного обучения для численного моделирования при оценке эффективности мероприятий ЭП ДТП и повышения пассивной безопасности ТС и элементов дорожного обустройства. В частности, применение связанных комплексов методик в УПМК на ВП использованы в расчете ширины пешеходных переходов при работе над ГОСТ Р 59610,

при обосновании к требованиям к пешеходным ограждениям при работе над ГОСТ Р 59401, при ранжировании уровней безопасности по ПВВ в ГОСТ Р 59610 к пешеходным переходам, при этом метод был также расширен на оценку уровней ПБ опор в ГОСТ Р 71410.

Композиционное решение по формированию ВП учитывалось при разработке требований к натурным полигонам ОДМ 218.4.033 с заложением возможностей симуляционного анализа МКЭ при разработке ЦМ ДТП при проведении расчетов по ГОСТ Р 59401 и ГОСТ Р 71410.

7. Предложенная концепция эволюции к полисистеме ОПУС на оси перехода от МОР в УПМК и далее в ЦД на цифровой платформе ОБДД, закладывает новые научные основы для научных исследований по оценке состояний на принципах редукции самоподобия и анизотропности/изотропности пространств в комплексных отображениях, формируя потенциально новые направления для дальнейших работ и прикладных решений.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ **Публикации в изданиях из перечня рецензируемых** **научных журналов ВАК РФ**

1. Васильев Я.В., Евтюков С.А. Анализ международной практики расчета скорости движения автомобиля в момент наезда на пешехода по расстоянию отброса тела // СПб. Вестник гражданских инженеров №3(20). – 2009 с.59-66.

2. Васильев Я.В., Евтюков С.А., Брылев И.С. Структура и требования к системе автоматического уведомления о ДТП для задач реконструкции механизма ДТП // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ – 2015. – №1 (48). – С.187-193

3. Васильев Я.В., Чудаков А. В. Совершенствование методики по определению скорости движения транспортного средства в момент фронтального наезда на пешехода // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 3(56). – С. 221-226. – EDN WHFEGF.

4. Васильев Я. В. Перспективы применения альтернативных источников энергии и тепла на сети автомобильных дорог / Я. В. Васильев, Е. Е. Медрес, Е. В. Голов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 3(57). – С. 45-49. – EDN YUNIOZ.

5. Медрес Е.Е., Доброборский Б.С., Васильев Я.В. Исследование проблемы технических требований и методов контроля ограничивающих пешеходных и защитных ограждений на автомобильных дорогах общего пользования // Транспортное дело России. – 2019. – № 5. – С. 103-106. – EDN RHPGCM.

6. Васильев Я.В., Воронин В.В. Методика расчета работы сил на непрерывное изменение угла разворота продольной оси ТС при производстве дорожно-транспортной экспертизы // Вестник гражданских инженеров. 2021. №3 (86). С. 134–138. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-134-138)

7. Васильев Я.В., Воронин В.В. Применение коэволюционных генетических алгоритмов в задачах установления места контакта объектов исследования в экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. №4 (87). С. 113–121. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-4-113-121)

8. Васильев Я.В., Воронин В.В. Методика расчета работы сил на опрокидывание ТС при реконструкции ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2021. №6 (89). С.158–164. (DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-6-158-164)

9. Васильев Я.В., Брылев И.С. Оценка риска травмирования пешеходов и велосипедистов на основе логистической регрессии в задачах дорожно-транспортной экспертизы // Грузовик. 2022. №12. С. 34–40. DOI: 10.36652/1684-1298-2022-12-34-40

10. Васильев Я.В. Анализ вторичного травмирования пешеходов в задачах дорожно-транспортной экспертизы // Грузовик. 2023. №1. С. 36–42. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-1-36-42

11. Васильев Я.В. Методика расчета риска получения травм при реконструкции дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 2 (97). С. 103–109. DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-2-103-109

12. Голов Е.В., Васильев Я.В., Евтюков С.А., Шпет В.Р. Формализация тепловой карты дифференцированной жесткости кузова автотранспортных средств по сеточному принципу // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 3 (98). С. 105–113. DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-3-105-113

13. Васильев Я.В., Подопригора Н.В. Модели управления эксплуатационной надежностью высокоавтоматизированных транспортных средств // Грузовик. 2023. №8. С. 20–24. DOI: 10.36652/1684-1298-2023-8-20-24

14. Васильев Я.В., Голов Е.В., Шпет В.Р. Дифференцирование жесткости кузова автомобиля для повышения точности расчетов скорости движения объектов исследования в дорожно-транспортных экспертизах // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-1(83). – С. 16–25. – DOI 10.33979/2073-7432-2023-4-1(83)-16-25. – EDN HVXMYL.

15. Васильев Я.В., Алексеев М.Д., Новиков А.Н., Михалева Д.С. Сравнительный анализ эффективности средств фиксации пространственно-следовой информации с места ДТП на примере наездов на

дорожные ограждения и элементы дорожного обустройства // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-2(84). – С. 81-90. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-2(84)-81-90

16. Васильев Я.В., Алексеев М.Д., Новиков А.Н., Михалева Д.С. Методика формирования границ уровней пассивной безопасности в задачах экспертной профилактики ДТП // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-3(84). – С. 49-57. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-49-57

17. Васильев Я.В., Михеев П.С., Демьянушко И.В., Медрес Е.Е. Применение цифровых технологий при исследовании дорожно-транспортных происшествий с наездами на элементы обустройства дорог // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2024. – № 2. – С. 7-11. – EDN DTVHKM.

18. Васильев Я. В., Михалева Д. С., Алексеев М. Д., Агапов И. А., Коломеец А. А. Методические основы применения индексов травмирования в дорожно-транспортной экспертизе // Грузовик. 2024. № 10. С. 39-43. DOI: 10.36652/1684-1298-2024-10-39-43.

19. Васильев Я.В., Брылев И.С., Евтюков С.А. Структурно-функциональное описание цифрового двойника ДМТС на примере мотоцикла / // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 3-2(86). – С. 113-118. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-3-2(86)-113-118. – EDN HNXBRT.

20. Васильев Я.В., Евтюков С.С., Голубев Д.С. Сравнительная оценка точности прогнозирования аварийности на сети городских пассажирских перевозок / // Грузовик. – 2025. – № 1. – С. 23-26. – DOI 10.36652/1684-1298-2025-1-23-26. – EDN KVVWQZ.

Публикации в изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Sciences

21. Yaroslav Vasiliev, Sergey Evtiukov, Valery Lukinskiy, Concept of Quantitative Assessment of Knowledge Uncertainty in Accident Reconstruction Tasks, Transportation Research Procedia, Volume 20, 2017, Pages 659-664, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.01.107>.

22. Stanislav Evtukov, Yaroslav Vasilev, Vseslav Voronin and Egor Golov Differentiating the stiffness of the side of the car // MATEC Web Conf., 341 (2021) 00035. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/202134100035>

Патенты и программы для ЭВМ, имеющие госрегистрацию

23. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016612345 Российская Федерация. Анализ напряженно-деформированного состояния многослойной конструкции методом конечных элементов: № 2015662797: заявл. 25.12.2015: опубл. 25.02.2016 / Я. В. Васильев, Е. Е. Медрес, С. С. Евтюков, М. А. Овчинников; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Федеральное дорожное агентство. – EDN CFSUFO.

24. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622677 Российская Федерация. База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М1 для проведения дорожно-транспортных экспертиз: № 2021622611: заявл. 18.11.2021: опубл. 29.11.2021 / Е. В. Голов, Я. В. Васильев, С. С. Евтюков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – EDN DDPCL0.

25. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2023623265 Российская Федерация. Банк значений коэффициентов локальной жесткости кузова легковых автомобилей для моделирования и реконструкции механизма ДТП: №2023623265: заявл. 14.09.2023: опубл. 28.09.2023 / Е.В. Голов, Я.В. Васильев, Шпет В.Р.: заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – EDN INTOIC.

Монографии

26. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2004.-288с.

27. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Справочник / СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2006. – 536 с.

28. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза / СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2008. – 392 с

29. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах / СПб.: Издательство «Петрополис», 2012. – 324 с.

30. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Экспертиза ДТП: Методы и технологии / СПб.: СПбГАСУ, 2013.- 310 с.

31. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Справочник по экспертизе ДТП / СПб: ИД «Петрополис», 2015 - 512 с.

32. Евтюков С.А., Васильев Я.В., Евтюков С.С., Голов Е.В. Прогнозирование изменения технико-эксплуатационных показателей подсистемы автомобильных дорог в системе ВАДС / СПб, ООО Издательский дом «Петрополис», 2017 – 232 с.

33. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Судебная автотехническая экспертиза. Теория и практика. Том 1 / СПб.: Издательский дом Петрополис, 2018 – 244 с.

34. Васильев Ю.Э., Васильев Я.В., Евтюков С.А., Лазарев Ю.Г., Карелина М.Ю., Котлярский Э.В., Орешкин А.С., Приходько В.М., Чигликов Р.Р. Диагностика состояния подсистемы «дорога в системе ВАДС. Том 1: Методики прогнозирования / СПб: ИД «Петрополис», 2018.-308с.

35. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Судебная автотехническая экспертиза. Примеры исследований. Справочные данные. Том 2 / СПб.: Издательский дом Петрополис, 2019. – 260с.

36. Васильев Я.В., Воронин В.В., Евтюков С.А. Теоретические и практические основы формирования критериев оценки уровней летнего содержания дорог при производстве дорожно-транспортной экспертизы / СПб.: Издательский дом Петрополис, 2019.- 176 стр.

37. Васильев Ю.Э., Васильев Я.В., Евтюков С.А., Лазарев Ю.Г., Карелина М.Ю., Котлярский Э.В., Орешкин А.С., Приходько В.М., Чигликов Р.Р. Диагностика состояния подсистемы «дорога в системе ВАДС. Том 2: Организация освоения инноваций / СПб: ИД «Петрополис», 2019. – 298 с.

38. Васильев Ю.Э., Васильев Я.В., Евтюков С.А., Лазарев Ю.Г., Карелина М.Ю., Котлярский Э.В., Орешкин А.С., Приходько В.М., Чигликов Р.Р. Диагностика состояния подсистемы «дорога в системе ВАДС. Том 3: Дорожная экспертиза / СПб: ИД «Петрополис», 2019. – 296 с.

39. Васильев Я.В., Головина С.Г., Евтюков С.А., Карелина М.Ю., Терентьев А.В. Цифровизация процессов управления дорожно-транспортной инфраструктурой и БДД. Том 1 / СПб: ИД «Петрополис», 2019. – 372 с.

40. Васильев Я.В., Головина С.Г., Евтюков С.А., Карелина М.Ю., Терентьев А.В. Цифровизация процессов управления дорожно-транспортной инфраструктурой и БДД. Том 2 / СПб: ИД «Петрополис», 2019. – 364 с.

41. Васильев Я.В., Воронин В.В. Концепция риск-ориентированного подхода к производству дорожно-транспортной экспертизы в границах имитационной системы зимнего содержания дорог / СПб: ИД «Петрополис», 2019.-124 с.

42. Васильев Я.В., Евтюков С.А. Справочник по экспертизе ДТП. Изд. 3-е переработ. и доп. / ИД «Петрополис», СПб, 2020 - 516 с.

Публикации в других изданиях, индексируемых в РИНЦ

43. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Методика определения скорости движения пешеходов при производстве автотехнической экспертизы // Докл. 5-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах/ СПбГАСУ. СПб., 2002. С.297-299.

44. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Модель механизма ДТП типа «Транспортное средство – пешеход» // Докл. 5-й международной

конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах/ СПбГАСУ. СПб., 2002. С.300-302.

45. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Программное обеспечение для производства автотехнических экспертиз // Докл. 6-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах/ СПбГАСУ. СПб., 2004. С.303-305.

46. Васильев, Я.В. Информационные технологии в расследовании и экспертизе ДТП / Я. В. Васильев // Доклады 7-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2006. – С. 349–355.

47. Васильев, Я. В. Некоторые аспекты методов трасологического исследования механизма столкновений грузового и легкового автомобилей / Я. В. Васильев // Доклады 7-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2006. – С. 355–357.

48. Евтюков С.А., Степина П.А., Васильев Я.В. Дорожная экспертиза // Сборник научно-практических трудов группы предприятий «Дорсервис».- СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2006. С.75-81

49. Васильев Я.В., Грушецкий С.М. Программное обеспечение для производства экспертиз дорожно-транспортных происшествий // Сборник научно-практических трудов группы предприятий «Дорсервис». – Санкт-Петербург: ООО «Издательство ДНК», 2006. – С. 135–139.

50. Васильев, Я. В. Современные информационные технологии в экспертизе ДТП / Я. В. Васильев // Доклады научно-практической конференции «Актуальные вопросы обеспечения безопасности дорожного движения». – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2008. – С. 137–147.

51. Васильев, Я. В. Методика расчёта скорости движения автомобиля в момент наезда на пешехода по расстоянию отброса тела (международная практика) / Я. В. Васильев // Доклады 8-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2008. – С. 326–336.

52. Евтюков С.А., Васильев Я.В., Грушецкий С.М. Использование в экспертизе ДТП данных о параметрах движения транспортного средства из модулей управления подушками безопасности с функцией записи (EDR) // Сборник докладов 9-й международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 23–24 сентября 2010 г.). – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2010. – С. 254–259.

53. Евтюков С.А., Васильев Я.В. Методика сбора, обработки и использования в задачах реконструкции ДТП информационных данных

модулей управления системами пассивной безопасности легковых автомобилей // Сборник докладов 11-й международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, 18–20 сентября 2014 г.). – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2014.

54. Евтюков С.А., Васильев Я.В., Rajczyk Pavel Концепция количественной оценки неопределенности знаний в задачах реконструкции ДТП / Сборник докладов 12-ой международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб 28-30 сентября 2016 г.

55. Васильев, Я. В. Методика расчета скорости движения автомобиля категории М1 при фронтальном наезде на пешехода / Я. В. Васильев, А. В. Чудаков // Инновации на транспорте и в машиностроении : сборник трудов IV международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28–29 апреля 2016 года / Отв. ред. Т.А. Менухова, А.В. Терентьев. Том I. – Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2016. – С. 32-35. – EDN XFGWIF.

56. Голов Е.В., Евтюков С.С., Васильев Я.В. Дифференцирование жесткости передней части автомобиля // Материалы VI Международной научно-практической конференции: Информационные технологии и инновации на транспорте. – ОГУ имени И.С. Тургенева, Орел. – 2020. С. 293–299.

57. Голов Е.В., Евтюков С.С., Васильев Я.В., Воронин В.В. Дифференциация жесткости боковой части автомобиля // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и управление транспортными системами». – ОГУ имени И.С. Тургенева, Орел. – 2021. С. 1–10.

58. Подопригора Н.В., Васильев Я.В. Аспекты информационного обеспечения системы «Участник Дорожного движения-Транспортное средство-Автомобильная дорога-Внешняя среда» // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: сборник статей международной научно-практической конференции, Липецк, 20–21 апреля 2022 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2022. – С. 93-97. – EDN TDKWCL.

59. Васильев Я.В., Подопригора Н.В., Абакаров А.А. Диагностические модели и алгоритмы диагностирования конструктивных систем высокоавтоматизированных транспортных средств // Реализация транспортной стратегии РФ до 2030 года в части развития автотранспортного комплекса : сборник научных трудов Международной научно-практической

конференции, Махачкала, 26–27 апреля 2023 года. – Москва: Издательство «Перо», 2023. – С. 52-55. – EDN CFZGXJ.

60. Васильев Я.В., Подопригора Н.В., Евтюков С.А. Адаптивное управление эксплуатационной надежностью конструктивных систем высокоавтоматизированных транспортных средств // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023): материалы мультиконференции. В 4 т., Волгоград, 11–15 сентября 2023 года. Том 4. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 77-80. – EDN YLLEHW.

Учебные пособия

61. Васильев Я.В., Головина С.Г., Евтюков С.А., Карелина М.Ю., Терентьев А.В. Грузовые перевозки в транспортных системах / Учебно-методический комплекс (информационные ресурсы дисциплины: учебное пособие). – Санкт-Петербург: Изд-во «Петрополис», 2015. – 288 с.

62. Васильев Я.В., Евтюков С.А., Терентьев А.В. Комплексный научно-методический подход к изучению транспортных систем / Под общ. ред. А.В. Терентьева: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: ИД«Петрополис», 2016. – 276 с.

63. Васильев Я.В., Евтюков С.А., Терентьев А.В. Основы судебной автотехнической экспертизы / Базовый курс. Том 1: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Петрополис», 2018. – 354 с.

64. Васильев Я.В., Евтюков С.А., Терентьев А.В. Основы судебной автотехнической экспертизы / Расширенный курс. Том 2: Учебное пособие. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Петрополис», 2018. – 340 с.

65. Васильев Я.В., Евтюков С.А., Терентьев А.В. Комплексный научно-методический подход к изучению сложных транспортных систем: Учебное пособие / Под общ. ред. А.В. Терентьева, 2-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: ИД«Петрополис», 2019. – 340 с.

66. Васильев Я.В., Евтюков С.А., Терентьев А.В. Организация грузовых перевозок в сложных транспортных системах: учебно-методический комплекс (информационные ресурсы дисциплины: учебное пособие) / под общей редакцией А.В.Терентьева. - Санкт-Петербург: Издательский дом «Петрополис», 2023. – 284 с.

67. Васильев Я.В., Гладушевский И.С., Куракина Е.В., Брылев И.С. Методы расчета и определения эксплуатационной усталости материалов транспортных средств: Учебное пособие для ВУЗов. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Петрополис», 2023. – 94 с.

Подписано к печати 26.06.2025. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,58. Тираж 150 экз. Заказ 75.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.