

На правах рукописи



Голов Егор Викторович

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СКОРОСТИ
ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ
ПО ИХ ДЕФОРМАЦИЯМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного
транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орёл – 2022

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Евтюков Станислав Сергеевич

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

Шевцова Анастасия Геннадьевна
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В. Г. Шухова»,
кафедра «Эксплуатация и организация движения
автотранспорта», доцент.

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт проблем транспорта
им. Н. С. Соломенко Российской академии наук.**

Защита состоится «16» июня 2022 г. в 11:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.032.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева» по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская, д. 77, ауд. 426.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И. С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орёл, пл. Каменская, д. 1.

Автореферат разослан «25» апреля 2022 г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И. С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (www.vak.minobrnauki.gov.ru).

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

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



В. В. Васильева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Автомобилизация населения как неотъемлемый фактор развития экономической стабильности общества является показателем финансового роста благосостояния граждан, но вместе с тем, стремительное увеличение количества автомобилей (а/м) на российских дорогах приводит к повышению аварийности и дорожно-транспортному травматизму (ДТТ), что в свою очередь наносит социальный и экономический ущерб.

В современной практике выделяют совокупность факторов, которые оказывают непосредственное влияние на безопасность дорожного движения (БДД). Наряду с этим существуют и косвенные обстоятельства, которые потенциально могут стать причиной дорожно-транспортных происшествий (ДТП) или же негативно повлиять на последствия уже возникшей аварийной ситуации. Зачастую на практике действие данных факторов неоднозначно или вовсе противоречиво, что существенным образом затрудняет экспертную деятельность в области дорожно-транспортной экспертизы (ДТЭ). В связи с чем особенно важным является рассмотрение фактора скорости в области обеспечения безопасности на автомобильных дорогах.

Установить причины ДТП, связанные с неправомерным выбором скорости движения установленным ограничениям, зачастую невозможно без проведения автотехнической экспертизы, вследствие чего, факт нарушения скоростного режима не всегда фигурирует в качестве одной из причин случившегося ДТП.

Объективность при установлении всех обстоятельств ДТП гарантируется высококачественно проведенной реконструкцией его механизма. Основой подобных исследований является получение фактических показателей и характеристик движения автомобилей на каждом из этапов развития ДТП.

За последние годы накоплен существенный опыт в области методического и методологического обеспечения проведения ДТЭ с воссозданием обстоятельств, предшествовавших аварийной ситуации. Однако частный вопрос, связанный с установлением фактической скорости движения автомобилей в момент перед столкновением, не во всех дорожно-транспортных ситуациях (ДТС) может быть решен. Это связано с большим количеством ограничений, с которыми сталкивается эксперт в ходе исследования и устранение которых невозможно без глубоких фундаментальных исследований.

Степень разработанности темы. В вопросе определения скорости движения при проведении ДТЭ в настоящий момент перспективным принято считать математическое моделирование процесса контактно-следовых взаимодействий (КСВ) на основе расчета затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций автомобилей-участников ДТП.

Снижению аварийности на дорогах, повышению БДД и разработке концептуальных основ реконструкции ДТП и роли ДТЭ в обеспечении контроля за исполнением участниками дорожного движения требований Правил дорожного движения (ПДД) Российской Федерации (РФ) посвящены исследования многих российских и зарубежных учёных: Е. В. Агеева, В. Ф. Бабкова, В. Н. Баскова, Я. В. Васильева, В. Н. Добромирова, Э. Р. Домке, С. В. Дорохина, С. А. Евтюкова, С. С. Евтюкова, С. В. Жанказиева, Н. С. Захарова, В. А. Иларионова, Д. В. Капского, В. Э. Клявина, П. А. Кравченко, Е. В. Куракиной, В. М. Курганова, Д.А. Лазарева, И. Г. Малыгина, А. Н. Новикова, И. А. Новикова, П. А. Пегина, А. М. Плотникова, И. Н. Пугачева, В. И. Россоха, А. И. Рябчинского, В. В. Сильянова, А. В. Терентьева, Ю. В. Трофименко, А. Г. Шевцовой, А. В. Шемякина, M. Batista, Ginzburg, Prz. Kubiak, R. R. McHenry, Dr. V. Mitunevicius, J. Wiercinskigo, Dr. J. Rajchyk и других исследователей.

В настоящий момент в экспертной практике при проведении расчетов автомобиль рассматривается как материальная точка с сосредоточенной массой, которая приравнивается к массе самого автомобиля, а не как анизотропное тело. При этом используются усредненные значения коэффициента механической жесткости и модуля упругости I рода, разработанные в 1996 году и актуализированные в 2010 году, которые классифицированы только по массе и габаритным размерам, что на современном этапе в экспертной деятельности является недостаточным и требует более фундаментального исследования.

Цель исследования – совершенствование методики оценки скорости движения автомобилей по их объемным деформациям при проведении дорожно-транспортных экспертиз.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи исследования:

1. Анализ действующих расчетно-аналитических методов оценки скорости автомобилей категорий M_1 на различных стадиях ДТП при производстве дорожно-транспортных экспертиз. Исследование влияния нарушения скоростного режима на аварийность и дорожно-транспортный травматизм. Разработка алгоритма расчета скорости автомобиля-участника ДТП.

2. Анализ методами математической статистики результатов испытаний автомобилей категории M_1 на фронтальный и боковой удары с деформируемым и недеформируемым препятствием. Уточнение математической модели расчета скорости движения автомобилей категорий M_1 на стадии кульминации КСВ в зависимости от объемных деформаций.

3. Формирование базы данных (БД) жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства дорожно-транспортных экспертиз.

4. Разработка методов учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных контактно-следовых

взаимодействий с неполным перекрытием и применения трехмерного моделирования деформаций автомобилей на основе полученных с использованием технологии Lidar данных при проведении ДТЭ.

5. Совершенствование методики оценки скорости движения автомобилей категорий M_1 по их деформациям при проведении дорожно-транспортных экспертиз.

Объект исследования – автотранспортные средства категории M_1 , являющиеся участниками ДТП.

Предмет исследования – процесс взаимодействия транспортных средств (ТС) при столкновении между собой и (или) с элементами дорожно-транспортной инфраструктуры.

Рабочая гипотеза – определение зависимостей изменения коэффициентов жесткости, а также учет вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных контактно-следовых взаимодействий с неполным перекрытием и применение трехмерного моделирования на основе полученных с использованием технологии Lidar данных позволит повысить точность определения фактических скоростей движения автомобилей в момент ДТП и качество проведения ДТЭ.

Научная новизна исследования:

1. Разработан алгоритм расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций.

2. Определены закономерности изменения коэффициентов жесткости в зависимости от класса автомобиля категории M_1 и года выпуска. Усовершенствована математическая модель расчета скорости движения автомобилей категории M_1 на стадии кульминации контактно-следовых взаимодействий в зависимости от объемных деформаций.

3. Сформирована база данных жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства дорожно-транспортных экспертиз.

4. Разработаны методы учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием и применения трехмерного моделирования деформаций автомобилей на основе полученных с использованием технологии Lidar данных при проведении ДТЭ.

5. Усовершенствована методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортных экспертиз.

Теоретическая значимость работы состоит в совершенствовании методов проведения дорожно-транспортных экспертиз, основываясь на расширении базы знаний научно-методического подхода к определению жесткости кузовов автомобилей различных классов, предполагающем учитывать экспериментально установленные значения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода (Юнга) в зависимости от года выпуска автомобиля,

вызванных развитием производства и использованием новейших материалов в современных автомобилях.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования разработанной методики оценки скорости движения автомобилей категории M_1 при ДТП, которая обеспечивает получение более точных результатов расчетов на основе анализа деформационных повреждений и разработанного программного обеспечения, основанного на теоретических и методических результатах диссертационного исследования, в практике автотехнических экспертов, повышение производительности их труда, совершенствовании доказательной базы при проведении дорожно-транспортных экспертиз с целью обеспечения контроля за исполнением участниками дорожного движения требований Правил дорожного движения Российской Федерации, а также использовании в учебном процессе при повышении качества подготовки автотехнических экспертов и специалистов в сфере реконструкции ДТП и дорожно-транспортных экспертиз.

Методология и методы исследования базируются на научном анализе методологии дорожно-транспортных экспертиз в России и за рубежом, методов оценки затрат кинетической энергии на развитие объёмных деформаций автомобилей категории M_1 , критическом изучении исследований, произведенных российскими и зарубежными специалистами, и включает в себя совокупность общенаучных методов исследований, таких как: математическая статистика и регрессионный анализ, теория вероятности, экспертное прогнозирование; математическое моделирование и программирование, экспериментальные исследования и системный анализ полученных результатов.

Область исследования – соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, п. 6. «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и 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».

На защиту выносятся:

1. Алгоритм расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций, основанный на теоретических и методических результатах диссертационного исследования.

2. Закономерности изменения коэффициентов жесткости автомобилей категории M_1 в зависимости от их класса и года выпуска. Усовершенствованная математическая модель расчета скорости движения автомобилей

категории M_1 на стадии кульминации контактно-следовых взаимодействий в зависимости от объемных деформаций.

3. Методы учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием и применения трехмерного моделирования деформаций автомобилей на основе полученных с использованием технологии Lidar данных в производстве ДТЭ.

4. База данных жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства дорожно-транспортных экспертиз.

5. Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортных экспертиз, позволяющая учитывать жесткостные характеристики автомобилей категории M_1 и вариативность измерений показателей их объема разрушений.

Степень достоверности и апробация результатов диссертационного исследования, выводов и рекомендаций обеспечивается корректной формулировкой ограничений и допущений при математическом моделировании физических процессов, применением современного математического аппарата и программного обеспечения исследований, необходимым объемом экспериментальных исследований, корреляционно-регрессионным анализом факторов и зависимостей, сходимостью результатов теоретического и вычислительного моделирования с результатами практических и экспериментальных исследований, отсутствием противоречий с ранее проведенными и известными исследованиями и рекомендациями результатов работы международным научным сообществом в сфере безопасности дорожного движения.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: VII Международный Сибирский транспортный форум «Siberian Transport Forum (TransSiberia)» (Новосибирск, 2018 г.), 13-я и 14-я международные конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (ФГБОУ ВО СПбГАСУ, Санкт-Петербург, 2018, 2020 гг.), 14-я международная научно-практическая конференция «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (ОГУ, Оренбург, 2019 г.), Международная конференция Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE) (МГОУ, Москва, 2019 г.), 73-74 научно-практические конференции аспирантов и молодых учёных СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2020-21), 6-я международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», Орел, 2020 г.).

Реализация результатов исследований. Разработанная методика расчета скорости движения автомобилей по их деформациям и комплекс методов расчета и моделирования ДТП приняты к использованию в практике Института безопасности дорожного движения ФГБОУ ВО СПбГАСУ,

ООО «Деловой Эксперт», САО «Ресо-Гарантия», МИП «СПбГАСУ-Дор-сервис», в учебной деятельности ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» при подготовке студентов по специальностям 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.02, 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 23.03.03, 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», аспирантов по направлению подготовки 23.06.01 «Техника и технология наземного транспорта» и при переподготовке и повышении квалификации специалистов по программе: «Судебная инженерно-техническая экспертиза» (специализация «Судебная автотехническая экспертиза»).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 26 печатных трудах, из них: 9 научных статей в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК РФ, в том числе 2 без соавторов, 5 научных статей в изданиях, включенных в международную базу научного цитирования Scopus, 4 монографии, 1 программа для ЭВМ и 1 база данных.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырёх глав с выводами по каждой из них, заключения. Содержит 202 страницы машинописного текста, 26 таблиц, 92 иллюстрации, 34 формулы, 4 приложения и список использованной литературы из 140 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначена проблема и обоснована актуальность проводимых исследований, сформулированы их цель и задачи, раскрыты научная новизна, практическая значимость.

В первой главе произведен анализ причин и последствий аварийности на автомобильном транспорте, в результате которого определено влияние нарушения скоростного режима на повышение вероятности возникновения ДТП, тяжести их последствий и снижение уровня БДД. В связи с чем, установлена необходимость повышения достоверности результатов дорожно-транспортных экспертиз как инструмента повышения эффективности процесса по управлению скоростью и контролю за соблюдением скоростного режима и произведен анализ методов определения скорости движения транспортных средств и пространственно-временных параметров дорожно-транспортных происшествий при проведении ДТЭ. По результатам анализа отечественного и зарубежного опыта в области обеспечения БДД и изучения научно-исследовательских трудов в области реконструкции ДТП обоснованы задачи исследования.

Во второй главе произведен анализ существующих методик и расчетно-методического аппарата реконструкции и экспертизы ДТП, и определены направления их совершенствования.

Установлено, что при использовании алгоритма определения затрат энергии на развитие деформаций ТС «Crash 3» в большинстве случаев КСВ с неполным перекрытием расчет скорости имеет значительную погрешность. Для решения данной проблемы предложено игнорировать отдельные измерения глубины внедрения в зависимости от вариации значений деформации.

Для оценки неоднородности значений деформаций, образовавшихся в результате КСВ, предложено использовать коэффициент вариации (относительное стандартное отклонение). Разработанный метод можно описать следующим образом: при расчете затрат кинетической энергии на объемную деформацию а/м, ставшего участником ДТП, необходимо произвести проверку коэффициента вариации (C_v) измерений глубины внедрения на выполнение условия:

$$C_v \leq 35 \%. \quad (1)$$

Если данное требование не выполняется, то следует исключать из расчета значения $C_1 - C_n$ до момента выполнения условия (1), так как невыполнение данного критерия влечет за собой существенные ошибки при производстве расчетов.

Коэффициент вариации рассчитывается по следующему алгоритму:

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}, \quad (2)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение; μ – среднее арифметическое

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(C_i - \mu)^2}{n-1}}. \quad (3)$$

Также в качестве инструмента снижения погрешности при определении затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций в результате КСВ с неполным перекрытием предложен метод неравного шага.

Исходя из изменения кривой, демонстрирующей профиль деформаций на разных уровнях, а также усредненный деформированный профиль и максимальные глубины внедрения, определяются характерные участки, значения на которых используются для установления границ участка измерения с неравным шагом (рисунок 1). Наряду с этим, при использовании неравного шага логично разделять зону непосредственного контакта на участки, жесткость внутри которых предполагается гомогенной (одинаковой).

Погрешность результатов расчета скорости движения а/м, участвовавших в ДТП с сконцентрированным деформирующим воздействием, с учетом коэффициента вариации или с применением метода неравного шага при измерении глубин внедрения не превышает 5 %, что подтверждает высокую эффективность использования разработанных методов.

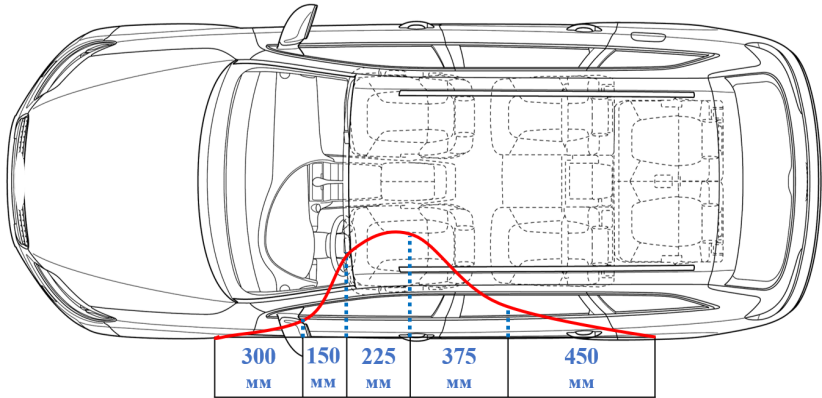
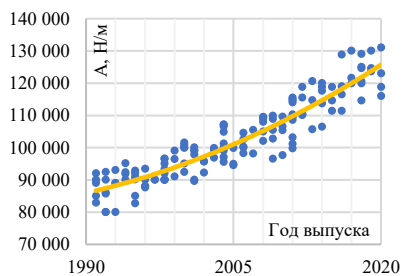


Рисунок 1 – Схема участков измерения глубин внедрения с неравным шагом

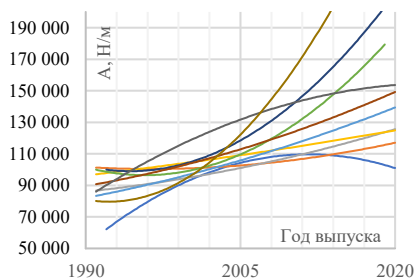
Справочные материалы, непосредственно используемые для производства расчетов скорости движения автомобилей в момент ДТП исходя из энергетических затрат на деформацию, были разработаны достаточно давно и не могут быть использованы в расследовании ДТП с участием современных автомобилей. Это определило необходимость разработки закономерностей изменения коэффициентов жесткости а/м категории M_1 в соответствии с наиболее часто используемой классификацией а/м Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme) и с учетом их года выпуска. В первую очередь это связано с развитием металлургии и использованием новейших металлических сплавов в процессе истории развития автомобилестроения.

Было исследовано поведение автомобилей в рамках 8000 краш-тестов а/м 1980–2020 гг. выпуска, проведенных Euro NCAP и National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), и определены значения коэффициентов Гука (A) и модуля упругости I рода (B) фронтальной и боковой частей а/м. Полученные множества точек в результате анализа и аппроксимации позволили построить линии тренда с высокой степенью точности. Пример результатов данной работы представлен на рисунке 2 в виде графиков.

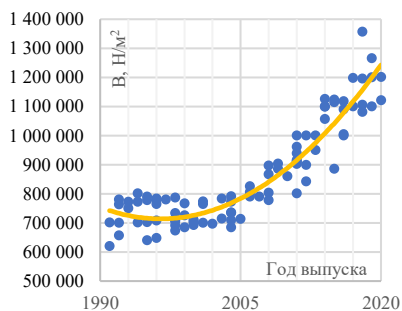
а) Значения коэффициента Гука фронтальной части кузова а/м класса Large family car



б) График изменения значений коэффициента Гука фронтальной части кузова а/м разных классов



в) Значения модуля упругости I рода фронтальной части кузова а/м класса Large family car



г) График изменения значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова а/м разных классов

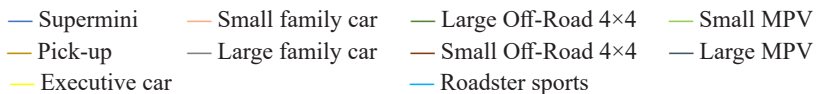
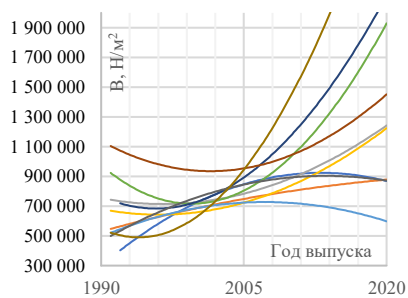


Рисунок 2 – Графики изменения характеристик жесткости автомобилей в зависимости от года выпуска

Таким образом, были разработаны зависимости, характеризующие изменение распределения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода (Юнга) в соответствии с классификацией Euro NCAP и с учетом года выпуска а/м, представленные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Уравнения определения коэффициента Гука и модуля упругости I рода (Юнга) фронтальной части автомобилей категории M₁ в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс а/м	Коэффициент Гука	Модуль упругости I рода
Supermini	$A = -123,74x^2 + 497\,850,60x - 500\,628\,893,06$	$B = -1\,168,66x^2 + 4\,705\,293,11x - 4\,735\,230\,868,61$
Small family car	$A = -25,73x^2 + 105\,367,11x - 107\,729\,446,73$	$B = -196,58x^2 + 799\,917,32x - 812\,817\,044,84$
Large family car	$A = 21,38x^2 - 84\,419,99x + 83\,404\,825,14$	$B = 954,21x^2 - 3\,810\,101,37x + 3\,804\,076\,677,34$
Executive car	$A = 6,40x^2 - 24\,718,30x + 23\,932\,245,72$	$B = 1\,015,68x^2 - 4\,054\,733,55x + 4\,047\,420\,768,29$
Roadster sports	$A = 21,71x^2 - 85\,161,54x + 83\,563\,993,59$	$B = -789,79x^2 + 3\,170\,535,53x - 3\,181\,213\,554,52$
Small MPV	$A = 152,18x^2 - 607\,426,72x + 606\,214\,097,84$	$B = 2\,881,55x^2 - 11\,523\,211,15x + 11\,520\,953\,997,00$
Large MPV	$A = 171,07x^2 - 682\,354,81x + 680\,519\,468,52$	$B = 2\,434,54x^2 - 9\,717\,498,59x + 9\,697\,556\,312,75$
Small Off-Road 4×4	$A = 29,10x^2 - 114\,690,41x + 113\,096\,496,51$	$B = 1\,515,69x^2 - 6\,067\,409,01x + 6\,073\,007\,364,79$
Large Off-Road 4×4	$A = -62,21x^2 + 251\,869,39x - 254\,767\,887,10$	$B = -793,41x^2 + 3\,195\,211,16x - 3\,216\,009\,344,17$
Pick-up	$A = 261,02x^2 - 1\,040\,012,49x + 1\,036\,054\,627,55$	$B = 3\,726,69x^2 - 14\,861\,656,44x + 14\,817\,170\,394,53$
где x – год выпуска автомобиля		

Таблица 2 – Уравнения определения коэффициента Гука и модуля упругости I рода (Юнга) боковой части автомобилей категории M₁ в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс а/м	Коэффициент Гука	Модуль упругости I рода
Supermini	$A = 69,65x^2 - 274\,003,84x + 269\,492\,604,57$	$B = 7\,845,15x^2 - 31\,296\,898,69x + 31\,214\,866\,190,63$
Small family car	$A = -21,31x^2 + 90\,341,27x - 95\,322\,754,80$	$B = 4\,380,84x^2 - 17\,436\,058,77x + 17\,351\,598\,589,77$
Large family car	$A = -28,17x^2 + 119\,911,94x - 126\,959\,964,18$	$B = -1\,525,46x^2 + 6\,334\,909,79x - 6\,565\,029\,378,50$

Окончание табл. 2

Класс а/м	Коэффициент Гука	Модуль упругости I рода
Executive car	$A = -150,40x^2 + 612\,619,58x - 623\,503\,268,47$	$B = 639,38x^2 - 2\,277\,983,60x + 2\,000\,697\,652,34$
Roadster sports	$A = 375,73x^2 - 1\,496\,244,97x + 1\,489\,760\,059,23$	$B = 10\,974,47x^2 - 43\,638\,850,78x + 43\,384\,174\,650,28$
Small MPV	$A = 239,23x^2 - 956\,330,16x + 955\,887\,387,48$	$B = 10\,807,01x^2 - 43\,139\,200,84x + 43\,053\,345\,132,82$
Large MPV	$A = -357,96x^2 + 1\,435\,428,41x - 1\,438\,873\,549,35$	$B = -4\,546,69x^2 + 18\,247\,176,29x - 18\,304\,628\,751,62$
Small Off-Road 4×4	$A = 436,08x^2 - 1\,740\,959,88x + 1\,737\,733\,197,73$	$B = 20\,475,24x^2 - 81\,778\,120,71x + 81\,657\,390\,094,59$
Large Off-Road 4×4	$A = -121,58x^2 + 494\,436,77x - 502\,325\,374,44$	$B = 8\,912,00x^2 - 35\,597\,655,69x + 35\,551\,869\,141,85$
Pick-up	$A = 118,42x^2 - 473\,594,90x + 473\,661\,704,52$	$B = 12\,615,56x^2 - 50\,731\,213,45x + 51\,004\,538\,677,04$
где x – год выпуска автомобиля		

Для подтверждения достоверности результатов исследования был произведен сравнительный анализ значений скорости, рассчитанной с учетом разработанных алгоритмов определения коэффициентов жесткости, со скоростью, зафиксированной лабораторным оборудованием, установленным на испытуемых автомобилях в рамках краш-тестов. Разница значений скорости не превышает 5%. Таким образом было установлено, что предлагаемая в рамках исследования математическая модель является эффективной и высокоточной.

С целью повышения качества ДТЭ и снижения временных затрат предложено производить сравнение (наложение) 3D-модели поврежденного автомобиля с его 3D-моделью недеформированного состояния, созданные с использованием технологии Lidar.

В третьей главе представлена разработанная (усовершенствованная) методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы, позволяющая учитывать жесткостные характеристики автомобилей категории M_1 и вариативность измерений показателей их объема разрушений.

Предлагаемая методика позволяет реализовать условие для повышения эффективности методов расчета в исследованиях и реконструкции ДТП. На рисунке 3 представлен алгоритм проведения ДТЭ по разработанной методике.

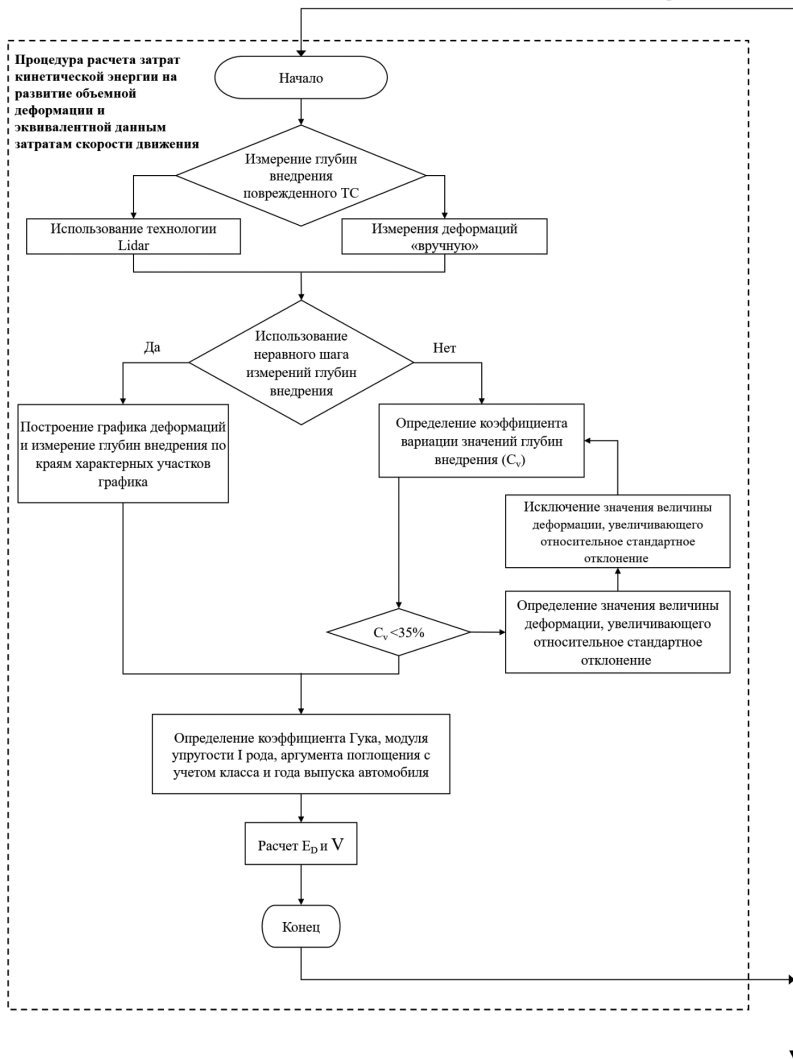


Рисунок 3 – Алгоритм проведения ДТЭ по разработанной методике оценки скорости движения автомобилей по их деформациям

Произведены экспериментальные исследования определения скорости движения по предлагаемой и применяемым на сегодняшний день в экспертной практике методикам и проанализированы их результаты.

Полученные расчетные данные, а именно эквивалентные скорости движения автомобилей, свидетельствовали о том, что расчет по предлагаемой методике является точным и эффективным и может быть использован для реконструкции механизма ДТП, в особенности при отсутствии возможности проведения комплексной трасолого-автотехнической и видеоэкспертизы.

Также экспериментально подтверждена достоверность измерения деформаций автомобилей с использованием предлагаемого алгоритма применения Lidar-технологии для создания 3D-моделей поврежденных ТС. Для измерения деформаций созданная 3D-модель поврежденного автомобиля должна быть соотнесена с 3D-моделью его исходного состояния (рисунок 4).

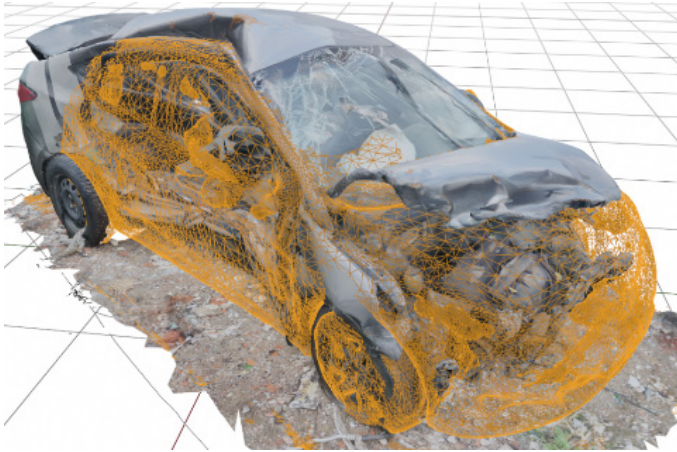


Рисунок 4 – Сопоставление 3D-моделей поврежденного и недеформированного состояний автомобиля Hyundai Solaris для производства измерений объемных деформаций

В четвёртой главе сформирована база данных значений коэффициента Гука, модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения автомобилей категорий М₁ для производства ДТЭ (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622677 от 29.11.2021), которая содержит сведения о жесткости кузовов 5 863 серийных легковых автомобилей, отличающихся между собой маркой, моделью, классом, поколением и годом выпуска. Для каждого рассматриваемого автомобиля в БД предусмотрено хранение следующей информации: идентификационный код; принадлежность к марке автомобиля, к модели автомобиля, к поколению автомобиля, к классу и год выпуска автомобиля (соответствующие им значения коэффициентов жесткости). Схема связей между указанными таблицами (схема данных) представлена на рисунке 5.

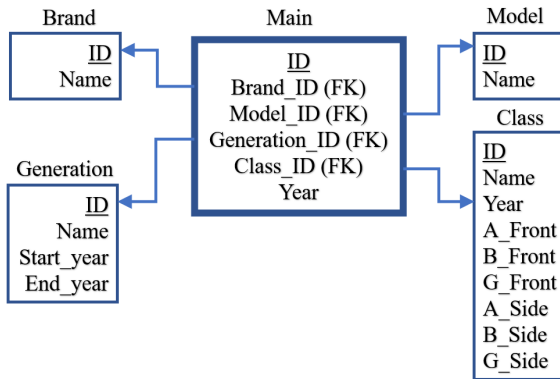


Рисунок 5 – Схема связей между таблицами БД (схема данных)

В рамках диссертационного исследования разработан алгоритм расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций, направленный на повышение производительности и качества работы автотехнических экспертов (рисунок 6).

С целью практической реализации результатов научных исследований диссертационной работы было создано новое программное обеспечение (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662158 от 23.07.2021), которое позволяет проводить анализ и моделирование ДТС – Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций (ПРСА). Эксперт при работе с ПРСА использует для ввода исходных данных разработанный интерфейс ПРСА, представленный на рисунке 7.

Для применения результатов лазерного сканирования поврежденного автомобиля требуется загрузить файл формата «.glb» в ПРСА и в трехмерном пространстве указать центры колес созданной 3D-модели поврежденного а/м. ПРСА в автоматическом режиме преобразовывает загруженную 3D-модель в облако точек и совмещает 3D-модели поврежденного и исходного состояния а/м, представленных также облаком точек в базе данных ПРСА (включающую более 1 000 3D-моделей а/м большинства эксплуатируемых марок, моделей и поколений).

В результате ПРСА определяет объем деформаций, коэффициент вариации значений глубин внедрения, затраты кинетической энергии на развитие остаточных деформаций и эквивалентную установленным энергетическим затратам скорость движения, используя общепринятые традиционные алгоритмы и результаты диссертационного исследования.

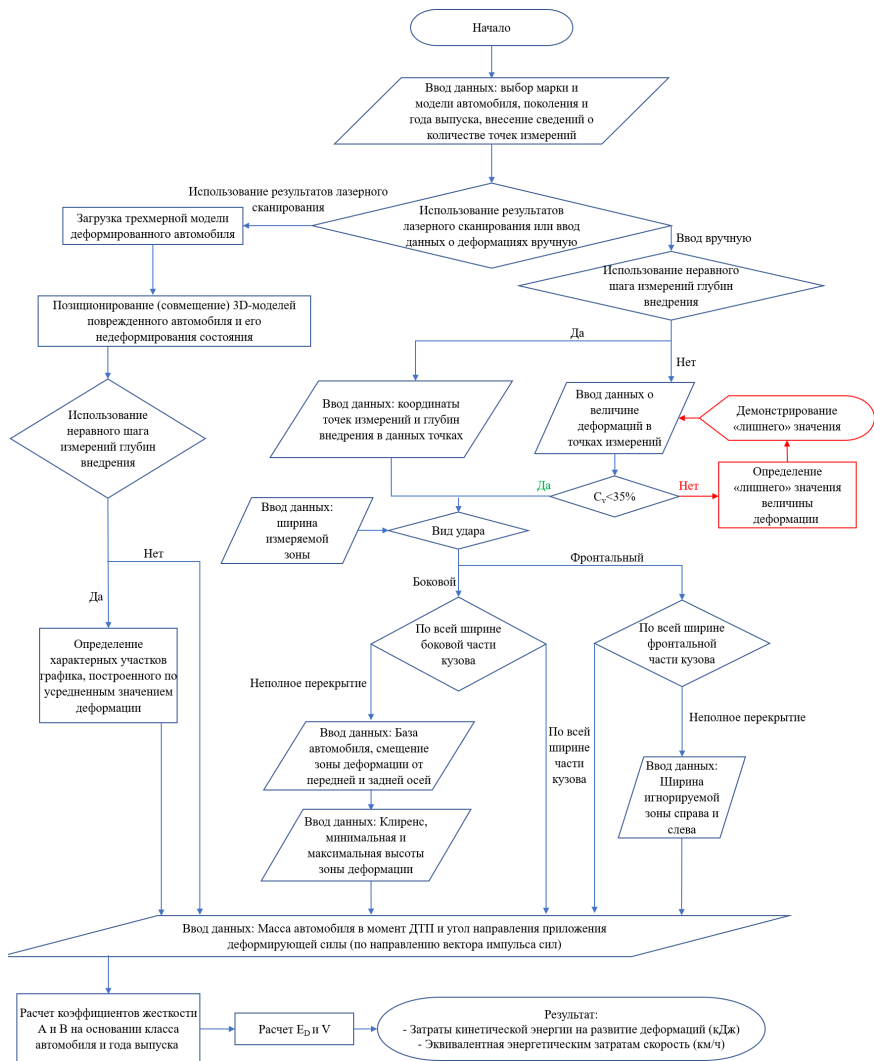


Рисунок 6 – Алгоритм расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций

Произведен сравнительный анализ результатов работы эксперта действующим общепринятым методом и по разработанной методике при расследовании обстоятельств ДТП по административным, гражданским и уголовным делам, по итогам которого разница в установлении скорости движения

составила от 9 до 22%. Данное обстоятельство является в ряде случаев принципиальным при оценке действий водителей и определении технической возможности предотвратить возникновение аварийно-опасной ситуации.

Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций

Количество точек: 7

Toyota
Avenis
2006-2009 II
2008

Коэффициент вариации значений величин деформаций:
Cv = 33,49%

Ввести вручную
 Использовать результаты лазерного сканирования

Выбрать файл
Имя сканирования/Toyota Avenis.fb
Установить центр колес
Произвести расчет деформаций

Величины деформаций:
 Неравный шаг

C1	0,136	м
C2	0,239	м
C3	0,324	м
C4	0,307	м
C5	0,291	м
C6	0,263	м
C7	0,124	м
C8		
C9		
C10		

Вид столкновения:
 фронтальный
 Боковой (Правая сторона)
 Боковой (Левая сторона)
Ширина измеренной зоны обочины деформации: 1,3 м

По всей ширине
 Пропорциональное расположение измеренной зоны

Колесная база: 2,7 м
Осещение от передней оси: 1,0 м
Осещение от задней оси: 0,4 м
Клиренс: 0,155 м
Минимальная высота внедрения: 0,155 м
Максимальная высота внедрения: 1,2 м
Масса авто: 1280 кг
Угол КСВ: 5 °
Энергия: 306093.59 Дж
Скорость: 78.73 км/ч

Очистить Расчет значений

Рисунок 7 – Интерфейс программного обеспечения (ПРСА)

Внедрение в экспертную деятельность предлагаемых методов и алгоритмов реконструкции ДТП направлено, прежде всего, на повышение качества и точности результатов проводимых ДТЭ. Но вместе с тем от их использования в практической деятельности организациями, выполняющими автотехнические экспертизы на коммерческой основе, возможно получение положительного экономического эффекта, благодаря росту производительности труда экспертов, что также целесообразно для государственных и других некоммерческих структур, деятельность которых непосредственно связана с выполнением ДТЭ. Оптимизация труда с применением предлагаемых методов и функционала позволит сократить временные затраты, связанные с проведением ДТЭ, на 23 %, что для коммерческих организаций позволит увеличить годовой объем полной суммы денежных средств, полученных от заказчиков экспертиз, на 30 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ аварийности на автомобильных дорогах РФ, а также состояния отечественного и зарубежного опыта в области обеспечения БДД позволил

определить пути развития расчетно-аналитического аппарата реконструкции ДТП. В результате была решена актуальная научная задача совершенствования методов оценки параметров скорости при проведении дорожно-транспортных экспертиз:

1. Разработан алгоритм и создана программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций, направленные на повышение производительности и качества работы автотехнических экспертов.

2. Определены закономерности изменения коэффициентов жесткости в зависимости от класса автомобиля категории M_1 и года выпуска. Усовершенствована математическая модель расчета скорости движения автомобилей категории M_1 на стадии кульминации КСВ в зависимости от объемных деформаций.

3. Разработаны методы учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием и применения трехмерного моделирования деформаций автомобилей на основе полученных с использованием технологии Lidar данных в производстве ДТЭ.

4. Сформирована база данных жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства дорожно-транспортных экспертиз.

5. Разработана (усовершенствована) методика оценки скорости движения автомобилей (на примере категории M_1) по их деформациям при проведении ДТЭ.

Практическое применение результатов исследовательской работы делает возможным совершенствование существующих методов по установлению фактической скорости движения автомобиля-участника ДТП в момент, предшествующий столкновению, что подтверждается увеличением точности полученного значения в среднем на 9...22 % и повышением производительности труда автотехнических экспертов на 23%.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**В изданиях, перечень которых размещен на официальном сайте
Высшей аттестационной комиссии и приравненные к ним**

1. Голов Е.В. Фактор скорости в системе безопасности дорожного движения / Е.В. Голов // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – №3(86). – С.139–148.

2. Голов Е.В. Повышение точности расчета скорости движения в момент ДТП при столкновениях с неполным перекрытием части кузова автомобиля / Е.В. Голов // Вестник СибАДИ. – 2021. – №3. – С.306–316.

3. Golov E. V. Innovative safety systems for modern vehicles / E. V. Golov, S. S. Evtukov, N. A. Ivanov // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – №6. – С.71–76.

4. Голов Е.В. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля / Е.В. Голов, С.С. Евтюков // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – №1(72). – С.152–157.

5. Голов Е.В. Роль человеческого фактора при возникновении дорожно-транспортного путешествия / Е.В. Голов, С.С. Евтюков, А.А. Коломеец // Транспортное дело России. – 2019. – №2(141). – С.196–199.

6. Голов Е.В. Современные технологии первичного осмотра места дорожно-транспортного происшествия / Е.В. Голов, С.С. Евтюков, В.Н. Добромиров // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №2(61) – С.232–239.

7. Голов Е.В. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения Ленинградской области / Е.В. Голов, С.С. Евтюков // Транспорт Урала. – 2017. – №2(53). – С.85–89.

8. Голов Е.В. Организация безопасного дорожного движения на пешеходных переходах / Е.В. Голов, С.С. Евтюков, В.Н. Добромиров // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – №6(65). – С.265–270.

9. Голов Е.В. Факторы, влияющие на равномерность движения автомобильного транспорта в условиях насыщенных транспортных потоков / Е.В. Голов, Е.Е. Медрес, Т.И. Бабенко // Транспортное дело России. – 2017. – №2(129). – С.89–90.

В изданиях, индексируемых в Scopus/Web of Science

10. Golov E.V. Adhesion of car tires to the road surface during reconstruction of road accidents / E.V. Golov, S.S. Evtukov, // E3S Web of Conferences 164, 03022 (2020). – P.03022

11. Golov E.V. Improving the accuracy of stiffness coefficient calculation when estimating the kinetic energy spent on vehicle deformation / E.V. Golov, S.S. Evtukov, J. Rajczyk // Architecture and Engineering. Volume 5, Issue 1. – 2020. – P. 45–50.

12. Golov E.V. Finite element method for reconstruction of road traffic accidents / E.V. Golov, S.A. Evtukov, G. Ginzburg // Transportation Research Procedia Volume 36. – 2018. P.157–165.

13. Golov E.V Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles / E.V. Golov, S.S. Evtukov, T. Sazonova // MATEC Web of Conferences Volume 239. – 2018. – P. 04018

14. Golov E.V Indicators of Road Safety as a Phenomenon of National Security of the State / E. Golov, A. Kvitchuk, M. Kvitchuk, S. Evtyukov // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 247. – P. 159–168.

Программы для ЭВМ и базы данных, имеющие государственную регистрацию

15. Голов Е.В. Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662158: дата гос. регистрации: 23.07.2021 / Голов Е.В.

16. Голов Е.В. База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М1 для проведения дорожно-транспортных экспертиз: свидетельство

о государственной регистрации базы данных № 2021622677: дата гос. регистрации: 29.11.2021 / Е. В. Голов, Я. В. Васильев, С. С. Евтюков.

Монографии

17. Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий / Е.В. Голов, Е.В. Куракина, С.С. Евтюков // СПб.:ИД «Петрополис», 2017. – 204 с. ISBN 978-5-9676-0874-2.

18. Голов Е.В. Прогнозирование изменения технико-эксплуатационных показателей подсистемы автомобильных дорог в системе ВАДС / Е.В. Голов, С.А. Евтюков, Я.В. Васильев, С.С. Евтюков // СПб.: ИД «Петрополис», 2017. – 232 с. ISBN 978-5-9676-0878-0.

19. Голов Е.В. Методы измерения и прогнозирования изменения температуры во времени и по глубине дорожной одежды (при оценке уровня безопасности дорожного движения) / Е.В. Голов, С.А. Евтюков, Я.В. Васильев, С.С. Евтюков // СПб.: ИД «Петрополис», 2017. – 208 с. (ISBN 978-5-9676-0877-3).

20. Голов Е.В. Технический мониторинг безопасности дорожного движения инженерных сооружений / Е.В. Голов, С.С. Евтюков, А.А. Коломеец // СПб.: ИД «Петрополис», 2019. – 131 с. ISBN 978-5-9676-1080-6.

Статьи в других изданиях

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

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

23. Голов Е.В. Направления определения затрат кинетической энергии на деформацию анизотропных тел / Е.В. Голов, С.С. Евтюков // В сборнике трудов: Прогрессивные технологии в транспортных системах. Материалы XIV-ой Международной научно-практической конференции. – Оренбургский государственный университет, Оренбург. – 2019. – С. 543–547.

24. Голов Е.В. Моделирование дорожно-транспортных происшествий при помощи метода конечных элементов / Е.В. Голов, А.С. Волков, Н.С. Маклаков // В сборнике научных трудов молодых ученых кафедры Наземных транспортно-технологических машин. – СПбГАСУ, СПб. – 2017. – С.34–41.

25. Голов Е.В. Современный метод учета ДТП как способ организации работы дорожных служб для повышения общего уровня БДД / Е.В. Голов, С.С. Евтюков // Материалы 1-й Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания». 27–28 октября 2016 г. – СПбГАСУ, СПб. –2017. – С. 257–261.

26. Голов Е.В. Эффективность автоматизированных систем проектирования в сфере планирования безопасной дорожной среды / Е.В. Голов, Е.В. Сорокина, А.П. Андреев // Материалы V Всероссийской межвузовской конференции: Магистратура автотранспортной отрасли, СПбГАСУ, СПб. –2021. – С. 58–62.

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 13.04.2022. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 34.

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

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