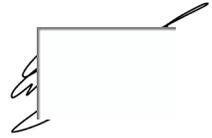


На правах рукописи



ГОЛОВ Егор Викторович

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

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

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

Клявин Владимир Эрнстович,
доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», кафедра управления автотранспортом, профессор.

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

Защита состоится «01» февраля 2022 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №220). Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/golov-egor-viktorovich>

Автореферат разослан «15» декабря 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,



Олещенко Елена Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Автомобилизация населения как неотъемлемый фактор экономического развития общества является показателем 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 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 взаи-

модействий (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: В. Ф. Бабкова, В. Н. Баскова, Б. Е. Боровского, И. М. Блянкинштейна, Я. В. Васильева, В. Н. Добромирова, Э. Р. Домке, С. А. Евтюкова, С. С. Евтюкова, С. В. Жанказиева, В. А. Иларионова, Д. В. Капского, В. Э. Клявина, П. А. Кравченко, Н. М. Кристи, Е. В. Куракиной, В. М. Курганова, В. Н. Ложкина, В. Н. Никонова, А. Н. Новикова, И. А. Новикова, П. А. Пегина, А. М. Плотникова, Н. В. Подопригоры, И. Н. Пугачева, ВА. И. Рябчинского, Р. Н. Сафиуллина, В. В. Сильянова, А. В. Терентьева, Ю. В. Трофименко, А. И. Федотова, А. В. Шемякина, среди зарубежных исследователей необходимо отметить работы М. Batista, G. Ginzburg, Prz. Kubiak, R. R. McHenry, Dr. V. Mitunevicius, J. Wiercinskigo, Dr. J. Rajchuk 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, актуализированные в 2010 году, которые классифицированы только по массе и габаритным размерам а/м, что на современном этапе в экспертной деятельности является недостаточным и требует более фундаментального исследования.

Цель и задачи исследования.

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

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 ДТГ и разработка программного обеспечения для 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 структуры и актуализация базы данных (БД) жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства дорожно-транспортных экспертиз.

4. Разработка метода учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных контактно-следовых взаимодействий с неполным перекрытием и метода применения трехмерного моделирования на основе полученных с использованием технологии Lidar данных при проведении ДТЭ с учетом приобретаемых в момент столкновения объемных деформаций автомобилей категории M_1 .

5. Разработка 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.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Программное обеспечение для расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций, основанное на полученных теоретических и методических результатах диссертационного исследования.

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

3. Методы учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных контактно-следовых взаимодействий с неполным перекрытием и применения применения трехмерного моделирования на основе полученных с использованием технологии Lidar данных в произ-

водстве ДТЭ с учетом приобретаемых в момент столкновения объемных деформаций автомобилей категорий M_1 .

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.

Научная новизна исследования:

1. Разработано программное обеспечение (ПО) для 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 КСВ в зависимости от объемных деформаций.

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

4. Разработаны метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных контактно-следовых взаимодействий с неполным перекрытием и метод применения трехмерного моделирования на основе полученных с применением технологии Lidar данных в производстве ДТЭ с учетом приобретаемых в момент столкновения объемных деформаций автомобилей категории M_1 .

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

Методологическая основа исследования базируется на научном анализе методологии дорожно-транспортных экспертиз в России и за рубежом, методов оценки затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций автомобилей категории M_1 , критическом изучении произведенных исследований 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 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, п.5 «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической

экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и п.7 «Исследования в области безопасности движения с учётом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

Теоретическая значимость исследования 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 М₁ при ДТП, которая обеспечивает получение более точных результатов расчетов на основе анализа деформационных повреждений в практике автотехнических экспертов, повышение производительности их труда, совершенствовании доказательной базы при проведении дорожно-транспортных экспертиз с целью обеспечении 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 и дорожно-транспортных экспертиз.

Степень достоверности 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.

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 СПбГАСУ, ООО «Деловой Эксперт», САО «Ресо-Гарантия», МИП «СПбГАСУ-Дорсервис», 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»).

Апробация работы. 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» (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.), 6-я международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (ОГУ им. И.С. Тургенева, Орел, 2020 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 24 печатных трудах, из них: 9 научных статей в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК РФ, в том числе 2 без соавторов, 4 научные статьи в изданиях, включенных в международную базу научного цитирования Scopus, 4 монографии и 1 программа для ЭВМ.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырёх глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы и приложений. Содержит 199 страниц текста, 26 таблиц, 92 иллюстрации, 34 формулы, 4 приложения и список использованной литературы из 138 источников.

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

В первой главе определено влияние нарушения скоростного режима на повышение вероятности возникновения ДТП, тяжести их последствий и снижение уровня БДД, установлена необходимость повышения достоверности результатов дорожно-транспортных экспертиз как инструмента повышения

эффективности процесса по управлению скоростью и контролю за соблюдением скоростного режима.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований по установлению скорости движения автомобилей до столкновения, базирующиеся на использовании законов затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций, а также усовершенствована математическая модель взаимодействия ТС в условиях внешних деформирующих сил, учитывающая изменение значений коэффициента Гука и модуля упругости I рода кузовов автомобилей, классифицированных в соответствии с правилами Euro NCAP, в зависимости от года выпуска. Разработаны метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций и метод создания 3D-моделей поврежденных автомобилей для производства измерений деформаций, полученных в результате ДТП.

В третьей главе предложена методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении ДТЭ, основанная на результатах исследования и общепринятых традиционных алгоритмах. Представлены результаты экспериментального подтверждения достоверности результатов исследования.

В четвертой главе разработаны база данных жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства ДТЭ и программное обеспечение для расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций. Проведен сравнительный анализ работы эксперта по разработанной методике при расследовании обстоятельств ДТП.

В заключении изложены основные результаты проведенного исследования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Программное обеспечение для расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций, основанное на полученных теоретических и методических результатах диссертационного исследования.

В рамках диссертационного исследования разработано новое программное обеспечение, которое позволяет проводить анализ и моделирование ДТС – Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций (ПРСА).

Особенностью данной программы является расчет скорости движения а/м в момент столкновения с учетом разработанных зависимостей определения характеристик жесткости кузовов а/м. Алгоритм работы ПРСА представлен на рисунке 1.

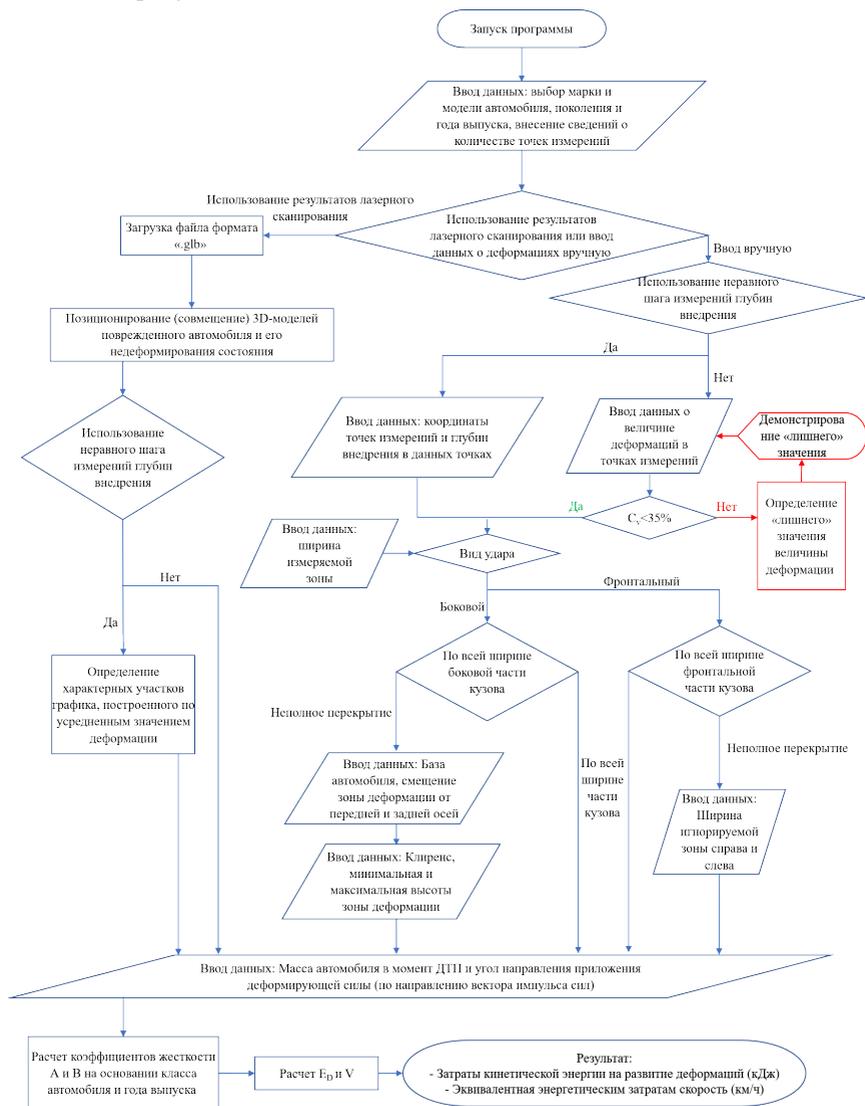


Рисунок 1 – Алгоритм работы ПРСА

Функционал разработанного ПО включает в себя базу данных автомобилей. Таким образом, эксперт имеет возможность задать в качестве входных параметров марку и модель а/м, поколение и год выпуска с использованием разработанного интерфейса ПРСА, представленного на рисунке 2.

В случае использования результатов лазерного сканирования поврежденного автомобиля пользователю необходимо загрузить полученный по результатам сканирования файл формата «.gib» 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 указанные экспертом координаты центра колес с центрами колес 3D-модели данного неповрежденного а/м, представленной также облаком точек в базе данных ПРСА (включающую более 1 000 3D-моделей а/м большинства эксплуатируемых марок, моделей и поколений). Это позволяет с достаточной точностью совместить 3D-модели поврежденного и исходного состояния автомобиля, в результате чего ПРСА в автоматизированном режиме определяет объем деформаций, а также коэффициент вариации значений глубин внедрения.

В результате ПРСА в автоматизированном режиме определяет затраты кинетической энергии на развитие остаточных деформаций и эквивалентную установленным энергетическим затратам скорость движения, используя общепринятые традиционные алгоритмы и результаты диссертационного исследования.

2. Закономерности изменения коэффициентов жесткости в зависимости от класса автомобилей категории M_1 и его года выпуска. Усовершенствованная математическая модель расчета скорости движения автомобилей категории M_1 на стадии кульминации КСВ в зависимости от объемных деформаций.

В мировом автомобильном сообществе существуют различные системы классификации автомобилей, в целом разделение связано с нормативными документами, действующими на территории того или иного государства. Наиболее часто используемая классификация а/м в мировом сообществе Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme) подразумевает разделение автомобилей на классы Supermini, Small family car, Large family car, Executive car, Roadster sports, Small MPV, Large MPV, Small Off-Road 4×4, Large Off-Road 4×4, Pick-up. Необходимо также учитывать, что жесткость а/м внутри класса также может отличаться, в первую очередь это связано с развитием металлургии и использованием новейших металлических сплавов в процессе истории развития автомобилестроения.

Исследовав поведение автомобилей в рамках 8000 краш-тестов а/м 1980-2020 гг. выпуска, проведенных Euro NCAP и National Highway Traffic Safety

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

Количество точек:

Toyota
Avensis
2006-2009 II
2008

Коэффициент вариации значений величин деформаций:
Cv = 33.49%

Ввести вручную
 Использовать результаты лазерного сканирования

Выборить файл
Установить центр колес
Провести расчет деформаций

Величины деформаций:
 Нравный 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		м
C9		м
C10		м

Вид столкновения:
 Фронтальный
 Боковой (Правая сторона)
 Боковой (Левая сторона)

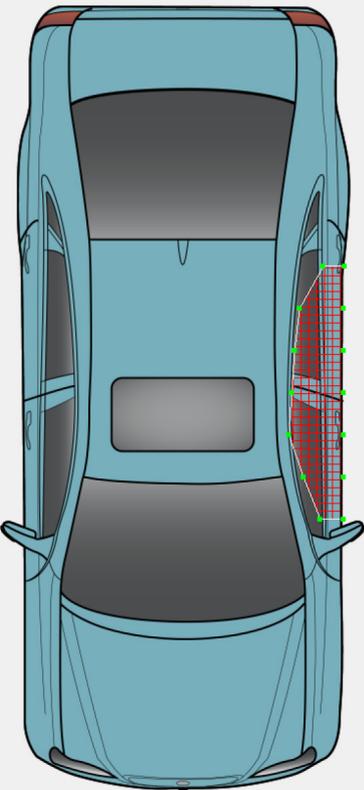
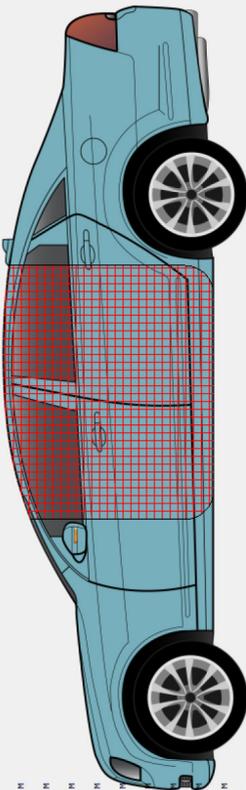
Ширина измеренной зоны обеченной деформации
 м

По всей ширине
 Произвольное расположение измеренной зоны

Колесная база:
 м
 Схождение от передней оси:
 м
 Схождение от задней оси:
 м
 Клиренс:
 м
 Минимальная высота внедрения:
 м
 Максимальная высота внедрения:
 м

Масса авто:
 кг
 Угол КСВ:
 °

Энергия: Дж
 Скорость: км/ч

Очистить

Расчет значений

Рисунок 2 – Интерфейс программного обеспечения (ПРСА)

Administration (NHTSA), были получены значения коэффициентов Гука (A) и модуля упругости I рода (B) фронтальной и боковой частей кузова 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 3 в виде графиков.

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



б) Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова а/м класса Large family car



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

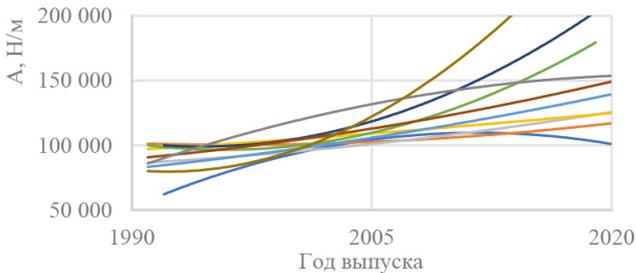


Рисунок 3. Начало – Графики изменения характеристик жесткости автомобилей в зависимости от года выпуска

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

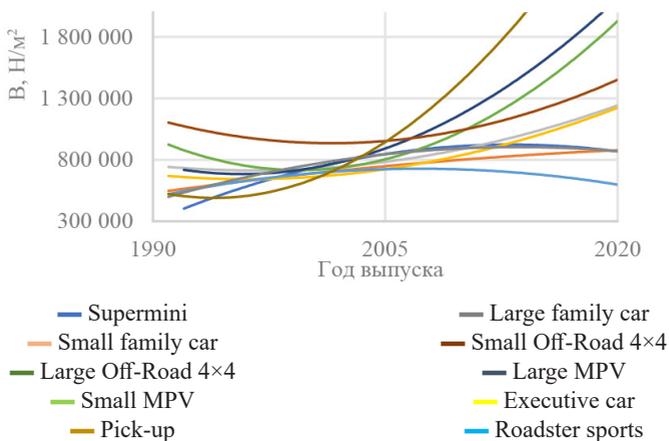


Рисунок 3. Окончание

Таким образом, были определены закономерности изменения коэффициентов жесткости различных классов а/м категории M_1 , а также 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 кузова автомобилей категории M_1 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	$A = 21,71x^2 - 85\,161,54x + 83\,563\,993,59$	$B = -789,79x^2 + 3\,170\,535,53x - 3\,181\,213\,554,52$

Окончание табл. 1

Класс а/м	Коэффициент Гука	Модуль упругости I рода
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 кузова 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	$A = -28,17x^2 + 119\,911,94x - 126\,959\,964,18$	$B = -1\,525,46x^2 + 6\,334\,909,79x - 6\,565\,029\,378,50$
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	$A = -357,96x^2 + 1\,435\,428,41x - 1\,438\,873\,549,35$	$B = -4\,546,69x^2 + 18\,247\,176,29x - 18\,304\,628\,751,62$

Окончание табл. 2

Класс а/м	Коэффициент Гука	Модуль упругости I рода
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		

3. Методы учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных контактно-следовых взаимодействий с неполным перекрытием и применения трехмерного моделирования на основе полученных с использованием технологии Lidar данных в производстве ДТЭ с учетом, приобретаемых в момент столкновения объемных деформаций автомобилей категорий М₁.

Коэффициент вариации исходных данных для верификации результатов расчета скорости столкновения транспортных средств по объемным деформациям.

При использовании алгоритма определения затрат энергии на развитие деформаций ТС «Crash 3» эксперт традиционно рассчитывает глубины внедрения (деформации) на 6 точках зоны повреждений. Данный алгоритм на протяжении долгих лет демонстрирует высокую точность результатов расчета, но в большинстве случаев КСВ с неполным перекрытием расчет скорости исходя из эквивалентных затрат энергии на развитие полученных деформаций 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), который рассчитывается как отношение стандартного отклонения к среднему арифметическому значению и характеризует степень изменчивости измерений глубины внедрения по отношению к средней величине деформации.

Согласно проведенным исследованиям, коэффициент вариации значений глубин внедрения оказывает значительное влияние на результат опре-

деления скорости движения – начиная с 30-35% «разброса» величин глубины внедрения погрешность в установлении скорости движения возрастает и превышает 5%.

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 исключить 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 – среднееквадратическое отклонение; μ – среднее арифметическое

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

Установление скорости движения автомобилей по объемным деформациям, полученным в результате КСВ с неполным перекрытием, с использованием в расчете значений глубин внедрения, коэффициент вариации которых не превышает 35%, позволяет снизить погрешность результата определения скорости движения до 5%.

Данный результат устанавливает необходимость применения коэффициента вариации глубин внедрения как инструмента подтверждения корректности исходных данных для расчета кинетической энергии, затрачиваемой на развитие объемных деформаций, и эквивалентной данным затратам скорости движения, и является высокоточным методом, который рекомендуем к использованию при реконструкции ДТП, и особенно актуален при исследовании КСВ с частичной деформацией какой-либо части кузова автомобиля.

Неравный шаг измерения деформаций вместо равных участков при изучении повреждений автомобилей, полученных в результате ДТП.

При классической, используемой на сегодняшний день в экспертной практике, методике участок измерений разбивается на более мелкие равные участки, по границам которых замеряются глубины внедрения для дальнейших расчетов, таким образом, что расстояние (w_i) между точками C_1 и C_2 равно так же как и между C_2 и C_3 и т.д., то есть $w_i = w_1 = w_2 \dots w_n$, используемое как единое для всех участков измерения. Погрешность определения скорости при концентрированных КСВ с равным значением w_i варьируется от 15% до 50%.

Разработанный метод предполагает использование неравномерного шага для производства измерений деформаций а/м после ДТП. На примере КСВ с участием автомобиля Audi Q7 шаг для измерения глубины внедрения рассчитывается согласно графику, представленному на рисунке 4, демонстрирующему профиль деформации на разных уровнях при концентрированном ударе, по схеме, представленной на рисунке 5. Также при использовании неравного шага логично разделять зону непосредственного контакта на участки, жесткость внутри которых предполагается гомогенной (одинаковой).

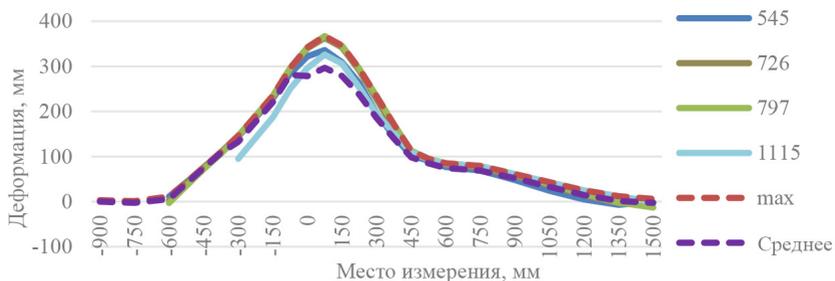


Рисунок 4 – График деформации автомобиля Audi Q7 при концентрированном ударе

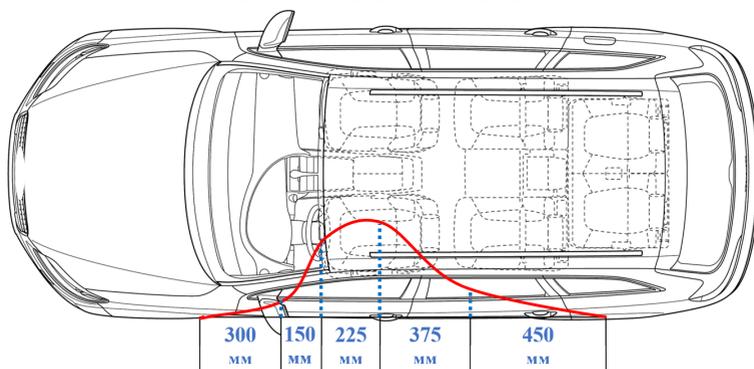


Рисунок 5 – Схема участков измерения глубин внедрения с неравным шагом

Исходя из изменения кривой, демонстрирующей профиль деформаций на 5 уровнях, а также усредненный деформированный профиль и максимальные глубины внедрения, определяются характерные участки, значения на которых используются для определения границ участка измерения с неравным шагом.

Погрешность результатов расчета скорости движения а/м, участвовавших в ДТП с сконцентрированным деформирующим воздействием, с приме-

нением метода неравного шага при измерении глубин внедрения доказали не превышает 5% относительно, что подтверждает высокую эффективность использования данного метода.

Метод применения трехмерного моделирования на основе полученных с использованием технологии Lidar данных в производстве ДТЭ с учетом приобретаемых в момент столкновения объемных деформаций автомобилей категорий М₁

В рамках диссертационного исследования предложено создавать 3D-модели а/м с использованием технологии Lidar и совершать измерения по полученным моделям без существенных временных и трудовых затрат путем сравнения (наложения) 3D-модели поврежденного автомобиля с его 3D-моделью недеформированного состояния (рисунок 6).

Измерения глубин внедрения, установленные при помощи устройства измерения деформаций, используемым экспертами при анализе повреждений а/м (рисунок 7), с точностью совпадают с полученными по результатам сопоставления 3D-моделей деформированного и недеформированного а/м, созданных при помощи технологии Lidar, представленного на рисунке 6.

Для использования данного метода созданная 3D-модель (рисунок 8) должна быть преобразована в полигональную сетку и облако точек (рисунки 9–10) и впоследствии соотнесена с 3D-моделью исходного состояния а/м.

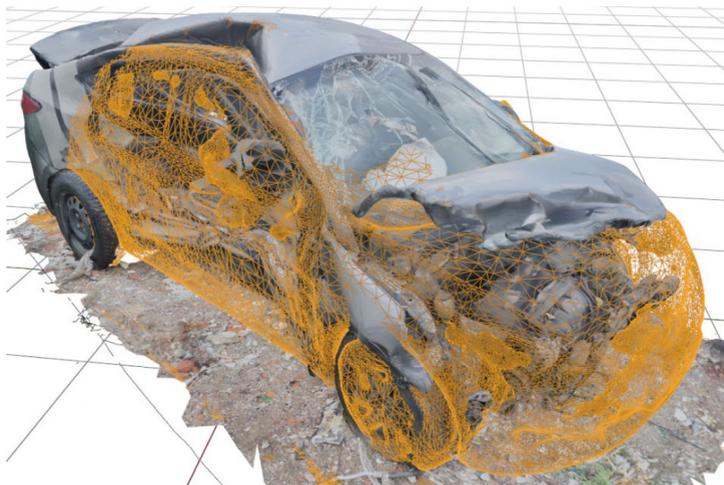


Рисунок 6 – Сопоставление 3D-моделей поврежденного и недеформированного состояний автомобиля Hyundai Solaris для производства измерений объемных деформаций



Рисунок 7 – Измерение глубины внедрения на высоте 500 мм от опорной поверхности

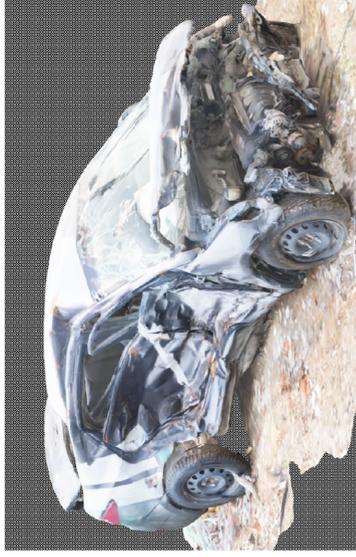


Рисунок 8 – 3D-модель деформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris

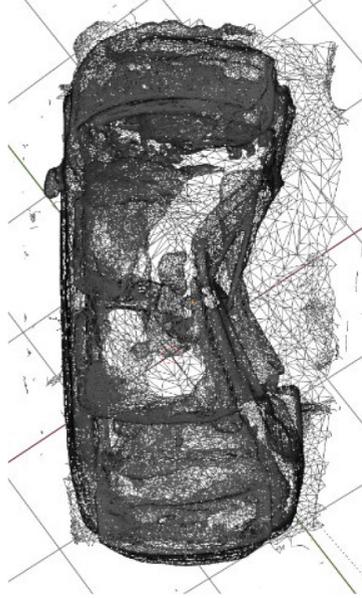


Рисунок 9 – Сетка 3D-модели деформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris

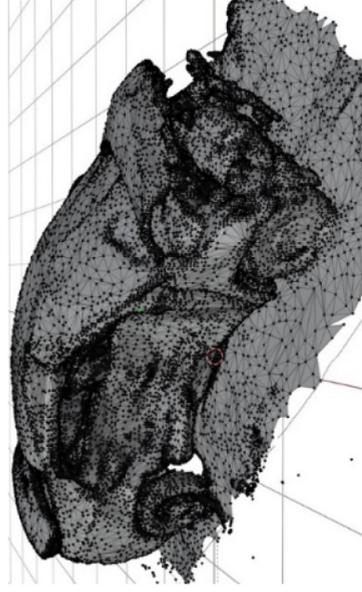


Рисунок 10 – 3D-модель деформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris, преобразованная в облако точек

4. База данных жесткостных характеристик автомобилей категорий М₁ для производства дорожно-транспортных экспертиз.

На основании произведенных исследований и систематизации значений коэффициента Гука (механическая жесткость), модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения (производный коэффициент жесткости) была разработана База данных (БД) жесткостных характеристик автомобилей категории М₁ для проведения ДТЭ, 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; принадлежность к модели автомобиля; принадлежность к поколению автомобиля; принадлежность к классу автомобиля; год выпуска автомобиля.

Таким образом, БД состоит из 6 связанных между собой таблиц: «Main» (содержит всю информацию а/м для дальнейшей работы), «Brand» (содержит возможные наименования марок а/м, к одной из которых может принадлежать а/м), «Model» (содержит возможные наименования моделей а/м, к одному из которых может принадлежать а/м), «Generation» (содержит возможные наименования поколений а/м, к одному из которых может принадлежать а/м, а также его года выпуска); «Class» (содержит возможные наименования классов, к которым может относиться а/м, а также год, к которому относятся значения коэффициентов жесткости).

Схема связей между указанными таблицами (схема данных) представлена на рисунке 11.

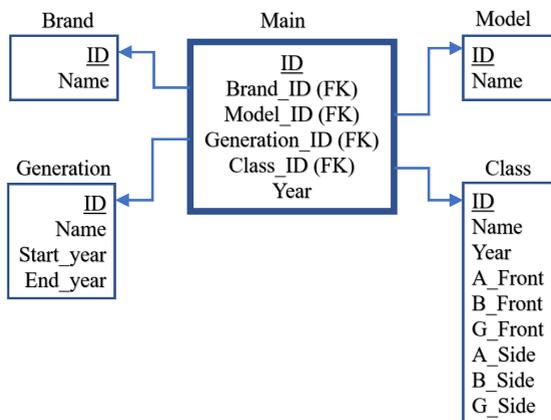


Рисунок 11 – Схема связей между таблицами БД (схема данных)

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

На основании полученных результатов исследования и общепринятых алгоритмов разработана методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы, отличающаяся от уже известных учетом индивидуальных характеристик жесткости кузовов автомобилей в зависимости от их класса и года выпуска.

Разработанная методика позволяет реализовать условие для повышения эффективности методов расчета в исследованиях и реконструкции ДТП. В отличие от существующего алгоритма, ориентированного не на расчетные методы в экспертных исследованиях, а на создание методических подходов к расчетам, позволяющим повысить производительность и качество проведения дорожно-транспортных экспертиз. На рисунке 12 представлен алгоритм проведения ДТЭ по разработанной методике.

Таким образом, при производстве экспертизы в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 12, установление скорости движения по разработанной методике целесообразно разделить на следующие этапы:

- измерение полученных транспортным средством деформаций в результате КСВ традиционным способом при помощи измерительных инструментов или с применением технологии Lidar для 3D-моделировании деформированного автомобиля;
- в случае исследования ДТП с нецентральной контактно-следовым взаимодействием и неполным перекрытием измерение деформаций производится с применением метода неравного шага;
- определение коэффициент вариации значений комплекса показателей объемной деформации, который должен составлять менее 35% для подтверждения корректности исходных данных; в случае невыполнения данного условия необходимо игнорировать значение глубины внедрения, увеличивающее относительное стандартное отклонение;
- определение коэффициентов жесткости исследуемого автомобиля в зависимости от его года выпуска и в соответствии с классификацией EuroNCAP;
- определение величины затрат кинетической энергии на развитие установленной деформации;
- определение эквивалентной скорости движения установленным затратам кинетической энергии.

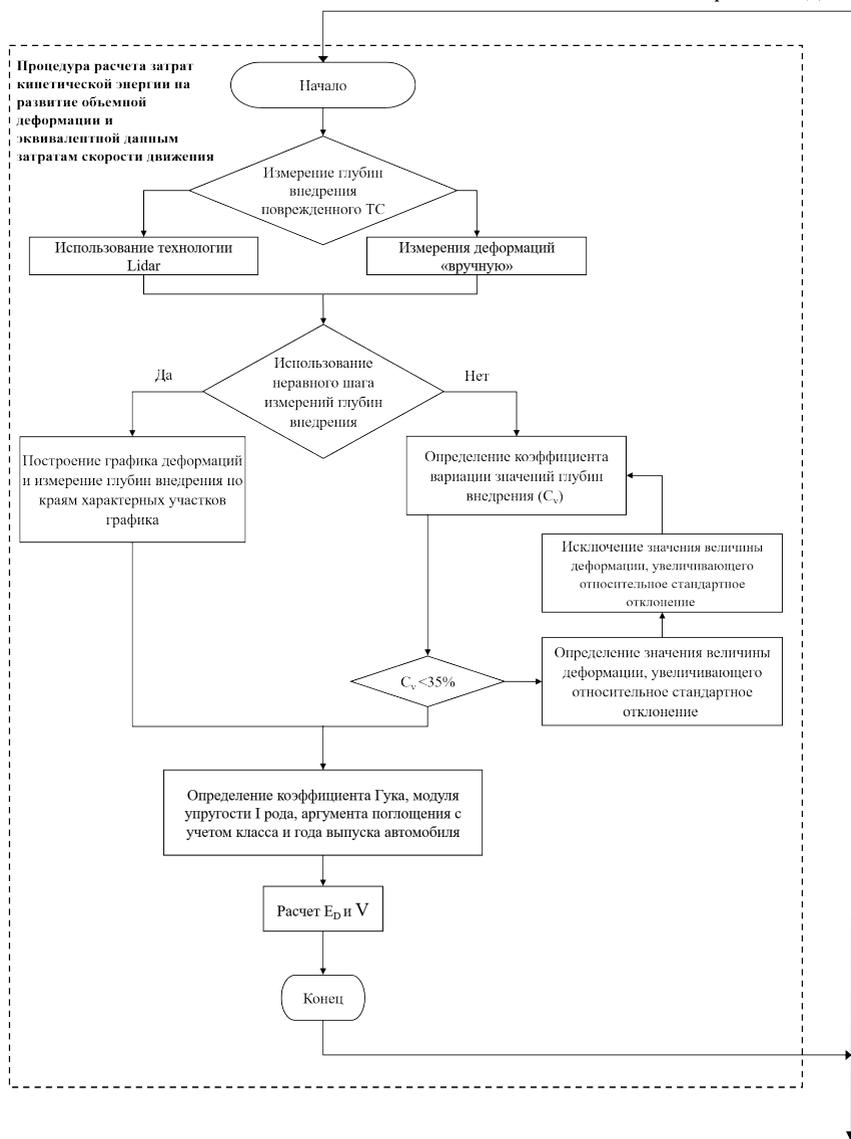


Рисунок 12 – Алгоритм проведения ДТЭ по разработанной методике оценки скорости движения автомобилей по их деформациям

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В результате исследования была решена актуальная научная задача, состоящая в совершенствовании методов оценки параметров скорости при проведении дорожно-транспортных экспертиз:

1. Разработаны метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием и метод использования трехмерного моделирования на основе полученных с применением технологии Lidar данных в производстве ДТЭ с учетом приобретаемых в момент столкновения объемных деформаций ТС.

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. Разработана методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении ДТЭ, основанная на полученных результатах исследования и общепринятых традиционных алгоритмах.

4. Разработаны база данных жесткостных характеристик автомобилей категорий M_1 для производства ДТЭ.

5. Разработана программа для ЭВМ, предназначенная для расчета скорости автомобиля в момент столкновения с учётом полученных деформаций и направленная на повышение производительности и качества работы экспертов.

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%.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОПУБЛИКОВАНЫ

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 (1,4 п.л.)

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 (1,4 п.л.)

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 (1,1 п.л./0,6 п.л.)

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 (0,6 п.л./0,2 п.л.)

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 (0,45 п.л./0,1 п.л.)

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. (0,8 п.л./0,3 п.л.)

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 (0,5 п.л./0,2 п.л.)

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 (0,6 п.л./0,2 п.л.)

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 (0,4 п.л./0,2 п.л.)

В изданиях, индексируемых в Scopus

1. 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 (0,8 п.л./0,6 п.л.)

2. 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 (0,6 п. л./0,2 п. л.)

3. 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 (1 п. л./0,6 п. л.)

4. 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 (0,5 п. л./0,2 п. л.)

Программы для ЭВМ, имеющие государственную регистрацию

1. 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.

Монографии

1. Голов Е. В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий / Е. В. Голов, Е. В. Куракина, С. С. Евтюков // СПб.:ИД «Петрополис», 2017. – 204 с. (12,75 п. л./4,0 п. л.) ISBN 978-5-9676-0874-2.

2. Голов Е. В. Прогнозирование изменения технико-эксплуатационных показателей подсистемы автомобильных дорог в системе ВАДС / Е. В. Голов, С. А. Евтюков, Я. В. Ва-

сильев, С. С. Евтюков // СПб.: ИД «Петрополис», 2017. – 232 с. (14,5 п. л./4,0 п. л.) ISBN 978-5-9676-0878-0

3. 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. (13,0 п. л./4,0 п. л.) ISBN 978-5-9676-0877-3

4. 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. (8,25 п. л./4,0 п. л.) ISBN 978-5-9676-1080-6

В сборниках трудов международных научных конференций

1. 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. (1,2 п. л./0,4 п. л.)

2. 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. (0,8 п. л./0,4 п. л.)

3. 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 Международной научно-практической конференции. – Оренбургский государственный университет, Оренбург. – 2019. – С. 543–547. (0,5 п. л./0,3 п. л.)

Статьи в других изданиях

1. 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. (0,6 п. л./0,4 п. л.)

2. 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 (0,5 п. л./0,3 п. л.)

3. 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. (0,3 п. л./0,1 п. л.)

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 29.11.2021. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ 132.

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.