

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ГОЛОВ ЕГОР ВИКТОРОВИЧ

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

05.22.10 - Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
д.т.н., доцент
Евтюков Станислав Сергеевич

Санкт-Петербург – 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ В СФЕРЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БДД И ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА ДТП.....	13
1.1 Анализ причин и последствий аварийности на автомобильном транспорте. Скоростной режим и его влияние на БДД.....	13
1.2 Методы расчета и анализа пространственно-временных характеристик механизма ДТП	25
1.3 Определение скорости транспортного средства исходя из полученных деформаций.....	27
1.4 Оценка корректности отдельных справочных данных для реконструкции ДТП.....	30
Выводы по главе 1	33
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	34
2.1 Математическая модель определения затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций автомобилей в результате КСВ.....	34
2.1.1 Дифференцирование жесткости кузова автомобиля (при известной жесткости)	40
2.1.2 Дифференцирование жесткости кузова автомобиля (при известном объеме деформации обоих участников ДТП).....	44
2.2 Метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием	48
2.2.1 Коэффициент вариации исходных данных для верификации результатов расчета скорости столкновения автомобилей по объемным деформациям	49
2.2.2 Применение неравного шага замера глубины внедрения при проведении осмотра объекта исследования ДТЭ.....	57
2.3 Исследование закономерностей изменения коэффициентов жесткости автомобилей категории M ₁ в зависимости от года выпуска и в соответствии с классификацией Euro NCAP	63

2.4 Использование 3D моделирования для определения деформаций автомобилей, полученных в результате ДТП.....	72
2.5 Апробация и оценка достоверности результатов исследований посредством анализа испытаний автомобилей категории М ₁ на столкновение.....	75
Выводы по главе 2.....	81
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТС МЕЖДУ СОБОЙ И/ИЛИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ДТП.....	82
3.1 Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы	82
3.2 Цель и задачи экспериментальных исследований	85
3.3 Экспериментальное определение параметров КСВ транспортных средств. Анализ точности расчетов по полученным результатам исследования	85
3.4 Использование технологии Lidar в 3D-моделировании деформированных автомобилей при определении глубин внедрения	100
Выводы по главе 3.....	106
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	107
4.1 База данных значений коэффициента Гука, модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения автомобилей категорий М ₁ для производства ДТЭ	107
4.2 Программное обеспечение для расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций.....	109
4.3 Сравнительный анализ эффективности и точности использования результатов исследования в сравнении с традиционной методикой.....	116
4.3.1 Проведение дорожно-транспортной экспертизы происшествия с участием автомобилей Subaru Impreza и MAZ 5516 (по времени обнаружения опасности).....	116
4.3.2 Проведение дорожно-транспортной экспертизы происшествия с участием автомобилей Volkswagen Polo и Toyota Camry (по расстоянию от места КСВ).....	123
4.4 Оценка экономической эффективности результатов исследования, предлагаемых методов и инструментария	134
Выводы по главе 4.....	137

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	138
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	139
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ А (Унифицированные значения коэффициентов жесткости).....	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Графики изменения коэффициентов фронтальной и боковой жесткости для различных классов автомобилей в зависимости от их года выпуска)	159
ПРИЛОЖЕНИЕ В (3D-модели деформированных автомобилей, созданные с использованием технологии Lidar)	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (Акты реализации результатов диссертационного исследования)	190

ВВЕДЕНИЕ

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: 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.В. Зырянова, 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, В.А. Пучкина, А.И. Рябчинского, Р.Н. Сафиуллина, В.В. Сильянова, С.А. Смирнова, П.А. Стёпиной, 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. Wiercinskiego, Dr. J. Rajchuk и других исследователей.

В настоящий момент в экспертной практике при проведении экспертных 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 (Приложение А), которые классифицированы только по массе и габаритным размерам, что на современном этапе в экспертной деятельности является недостаточным и требует более фундаментального исследования.

Цель исследования – разработка 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 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.

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.

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 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.

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 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 и дорожно-транспортных экспертиз.

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».

Обоснованность и достоверность 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 ФГБОУ ВО 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» (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 (TRACSEE) (МГОУ, Москва, 2019 г.), 6-я международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте» (ФГБОУ ВО «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, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения. Содержит 199 страниц машинописного текста, 26 таблиц, 92 иллюстрации, 34 формул, 4 приложения и список использованной литературы из 138 источников.

Работа выполнена на кафедре «Наземные транспортно-технологические машины» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета в период с 2017 по 2021 гг.

На защиту выносятся:

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 производстве 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.

**ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ СИТУАЦИИ В СФЕРЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БДД И ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА
ДТП**

**1.1 Анализ причин и последствий аварийности на автомобильном
транспорте. Скоростной режим и его влияние на БДД**

Развитие транспортной отрасли РФ демонстрирует положительные результаты, которые заключаются в росте таких показателей как обеспеченность жителей нашей страны автомобильными дорогами (а/д) и личным автотранспортом – в таблице 1.1 представлена тенденция изменения протяженности а/д и количества зарегистрированных легковых автомобилей на 1000 человек населения в России, в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) и в Ленинградской области (ЛО) с 2012 по 2020 года.

Таблица 1.1 – Обеспеченность населения автомобильными дорогами и личным автотранспортом

Год	А/д в км на 1000 человек			Количество зарегистрированных легковых ТС на 1000 человек		
	Россия	СЗФО	ЛО	Россия	СЗФО	ЛО
2012	8,94	8,88	10,81	257,5	277	284,4
2013	9,74	10,14	12,89	273,1	302,3	283,7
2014	10,1	10,28	12,99	283,3	302,5	294,8
2015	10,12	10,26	12,55	288,8	307,4	298,4
2016	10,23	10,33	12,54	294	315	322,4
2017	10,27	10,3	12,49	305	319,2	320,9
2018	10,41	10,34	12,44	309,1	320	320,8
2019	10,51	10,41	12,38	315,5	324,5	303,7
2020	10,59	10,42	12,33	н/д		

Показатели, представленные в таблице 1.1, считаются достаточно высокими и непосредственно влияют на аварийность и связанный с ней дорожно-транспортный травматизм. И несмотря на реализацию различных программ [93, 94], направленных на повышение безопасности дорожного движения и снижение общих показателей аварийности на дорогах России, тяжесть последствий от ДТП в нашей стране остаётся по-прежнему высокой [15, 30, 39, 46, 113,114].

Согласно последнему Докладу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о состоянии безопасности дорожного движения, показатели смертности на дорогах Российской Федерации являются наиболее высокими по сравнению с большинством развитых стран мира. На рисунке 1.1 представлен уровень смертности по причине ДТП с распределением по видам погибших в разных странах мира. Россия занимает первое место по такому показателю как уровень смертности по причине дорожно-транспортных происшествий (кол-во погибших/100 000 человек населения), научное сообщество не может игнорировать данную проблему [16].

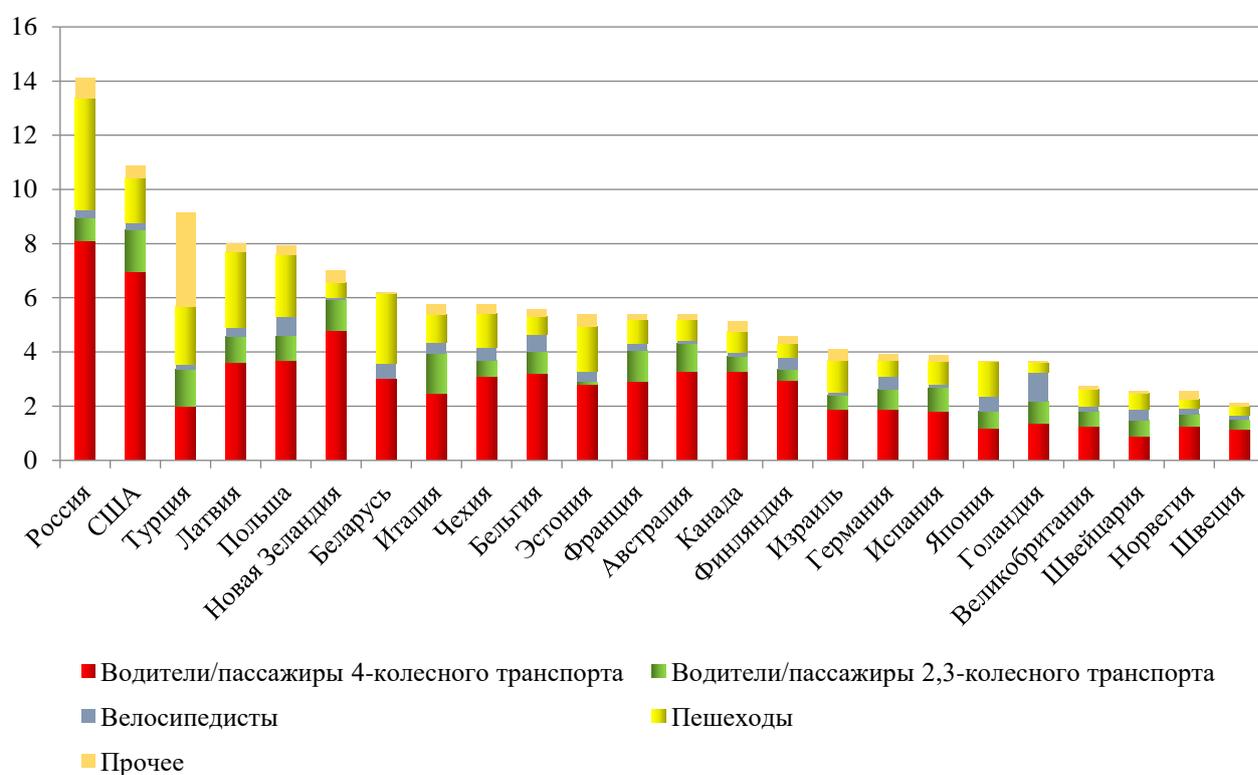


Рисунок 1.1 – Уровень смертности от ДТП в разных странах мира

Анализируя статистику ДТП за 2012-2020 год [92], приведенную в таблице 1.2 (красным цветом отмечены показатели без положительной динамики относительно предыдущего года), необходимо отметить негативные результаты: в течение изучаемого периода некоторые показатели не изменялись или ухудшались по сравнению с предшествующим годом, но более трагичный вывод по результатам проведенного анализа – тяжесть последствий от ДТП (количество погибших на 100 человек пострадавших) остаётся высокой, в целом по стране и особенно в Ленинградской области.

Так, из всего количества погибших на дорогах России в 2020 году 13 542 человека погибло в результате ДТП, где было зафиксировано нарушение Правил дорожного движения РФ.

Аварийность на автомобильных дорогах зависит от множества факторов, в том числе и от конструктивной безопасности используемых автомобилей [127], но в значительной мере – от скорости движения.

В 2020 году несоответствие скорости конкретным условиям движения или превышение установленного ограничения было зафиксировано в 16 387 случаях дорожно-транспортных происшествий, и несмотря на незначительный процент от всего количества аварий, произошедших на дорогах России, в таких ДТП погибло 2 518 человек, что составляет более 15% всех погибших от дорожно-транспортного травматизма.

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 регистрируется в качестве одной из причин случившегося ДТП. Равнозначно, целью проведения дорожно-транспортных экспертиз является установление фактической скорости движения в момент аварии для определения соответствия действий участников ДТП требованиям Правил дорожного движения.

Таблица 1.2 – Статистика аварийности в 2012-2020 гг.

Год	Российская Федерация				Санкт-Петербург				Ленинградская область			
	Всего ДТП	Погибло	Ранено	Тяжесть последствий	Всего ДТП	Погибло	Ранено	Тяжесть последствий	Всего ДТП	Погибло	Ранено	Тяжесть последствий
2012	203 597	27 991	258 618	9,8	8 288	445	9 920	4,3	3 576	642	4 821	11,8
2013	204 068	27 025	258 437	9,5	8 341	444	10 019	4,2	3 794	635	5 145	11,0
2014	199 720	26 963	251 785	9,7	8 222	412	10 004	4,0	4 074	704	5 562	11,2
2015	184 000	23 114	231 179	9,1	7 243	354	8 512	4,0	3 431	611	4 501	12,0
2016	173 694	20 308	221 140	8,4	6 104	239	7 208	3,2	2 966	493	3 800	11,5
2017	169 432	19 088	215 374	8,1	6 311	263	7 501	3,4	2 774	429	3 661	10,5
2018	168 099	18 214	214 853	7,8	6 463	232	7 693	2,9	2 964	438	3 904	10,1
2019	164 358	16 981	210 877	7,5	6 634	227	7 882	2,8	2 898	386	3 896	9,0
2020	145 073	16 152	183 040	8,1	5 227	219	6 071	3,5	2 782	396	3 569	10,0

Нарушение установленного скоростного режима не только влечет за собой повышение риска возникновения аварийных ситуаций, но и усугубляет тяжесть их последствий. К примеру, увеличение скорости движения автомобиля относительно средней скорости транспортного потока на 1 км/ч влечет за собой увеличение аварий на 3%, приводящих к травмам, и увеличение количества аварий с летальным исходом на 4–5%, и наоборот, добиться сокращения количества ДТП с летальным исходом на 30% можно в результате снижения средней скорости на 5% [75].

От скорости движения автомобиля зависит, как быстро водитель сможет его остановить – сколько ему потребуется на это времени. Ответ на этот вопрос влияет на последствия конкретной дорожно-транспортной ситуации. В связи с чем был произведен анализ последствий движения автомобиля с различной скоростью его движения (представленные расчеты были произведены для легковых автомобилей (категория М₁)).

Существует несколько формул определения значения остановочного пути (S), наиболее часто используемая [31]:

$$S = (t_1 + t_2 + 0,5 \times t_3) \times \frac{V_T}{3,6} + \frac{V_T^2}{25,92 \times j} \quad (1.1)$$

где: t_1 – время реакции водителя, с;

t_2 – время срабатывания тормозного механизма, с;

t_3 – время нарастания замедления до максимального значения, с;

V_T – скорость автомобиля перед началом торможения, км/ч;

j – замедление автомобиля, м/с².

Существуют также и другие методы расчета [37, 63, 89-91, 109, 134]. Однако, в реальных условиях остановочный путь может сильно варьироваться – его расстояние напрямую зависит от технического состояния автомобиля (его исправности, марки и модели, конструкции, состояния протектора шин и др.), состояния дорожного полотна, а также от опыта водителя и множества прочих, не менее важных факторов. Однако прежде всего длина остановочного пути зависит от скорости, на которой было применено экстренное торможение. Таким образом,

в результате увеличения скорости движения в два раза, к примеру, с 50 до 100 км/ч, расстояние, которое пройдет автомобиль с момента обнаружения опасности увеличится в 4 раза, что наглядно демонстрирует график роста остановочного пути в зависимости от скорости движения, представленный на рисунке 1.2.

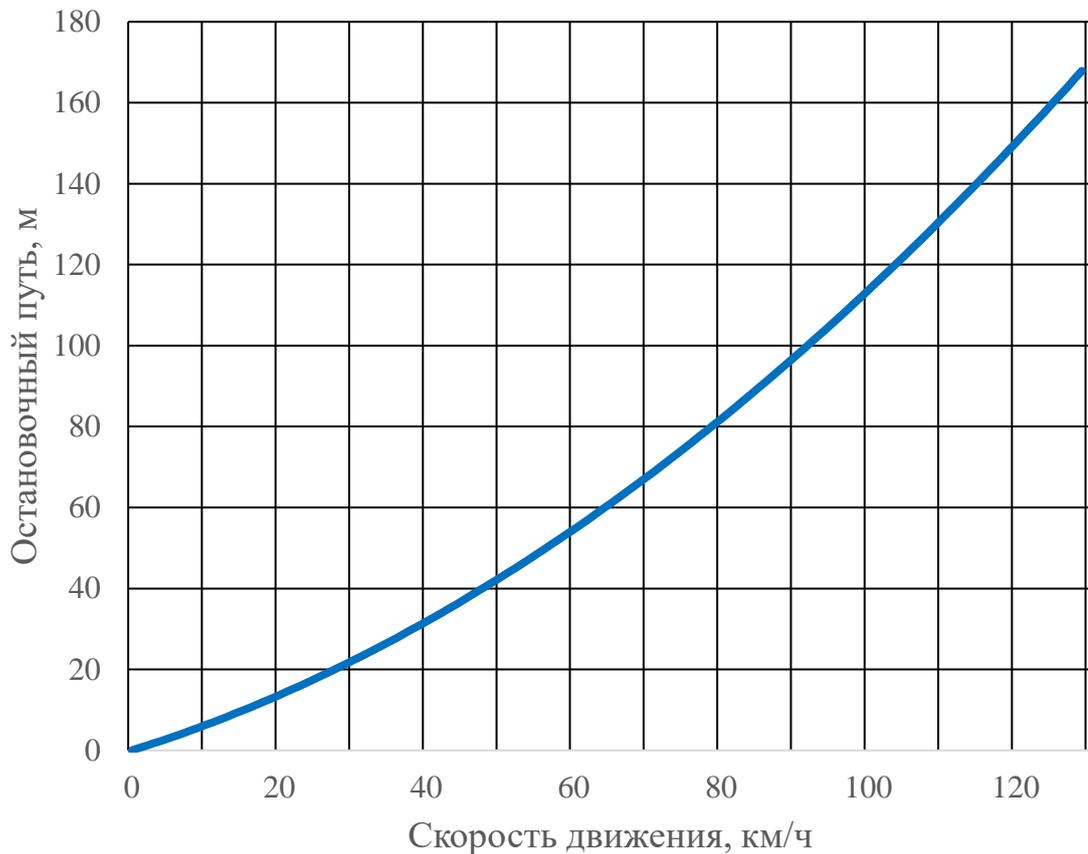


Рисунок 1.2 – График зависимости остановочного пути автомобиля от его скорости движения

Расстояние, пройденное автомобилем с момента срабатывания тормозной системы до его полной остановки, называется тормозным путем автомобиля, и он прямо пропорционален квадрату его скорости.

В ситуации, если пешеход неожиданно для водителя появится на пути следования автомобиля на расстоянии 20 метров, то почти наверняка он погибнет при скорости движения транспортного средства, равной 80 км/ч, получит увечья -

при скорости движения транспортного средства, равной 60 км/ч, а при скорости автомобиля 35 км/ч водитель сможет избежать наезда.

В то же время, если пешеход выбежит на дорогу на расстоянии 20 метров от автомобиля, он, скорее всего, получит травмы, несовместимые с жизнью, даже при скорости движения транспортного средства, равной 50 км/ч.

Для расчета скорости, на которой произошло столкновение, используется формула для нахождения перемещения при равноускоренном движении:

$$V_{ст} = \sqrt{2 \times S_T \times j + V_T^2} \quad (1.2)$$

где S_T – пройденный тормозной путь;

j – установившееся замедление автомобиля, м/с²;

$V_{ст}$ – скорость автомобиля в момент наезда на пешехода, км/ч.

С ростом скорости, на которой был совершен наезд на пешехода, возрастает вероятность его гибели в результате ДТП. При столкновении на скорости, превышающей пороговую скорость выживания, пешеход физически не способен уцелеть. График вероятности гибели пешехода при столкновении с автомобилем представлен на рисунке 1.3. В таблице 1.3 также представлены последствия от наезда на пешехода при разной скорости [11, 30].

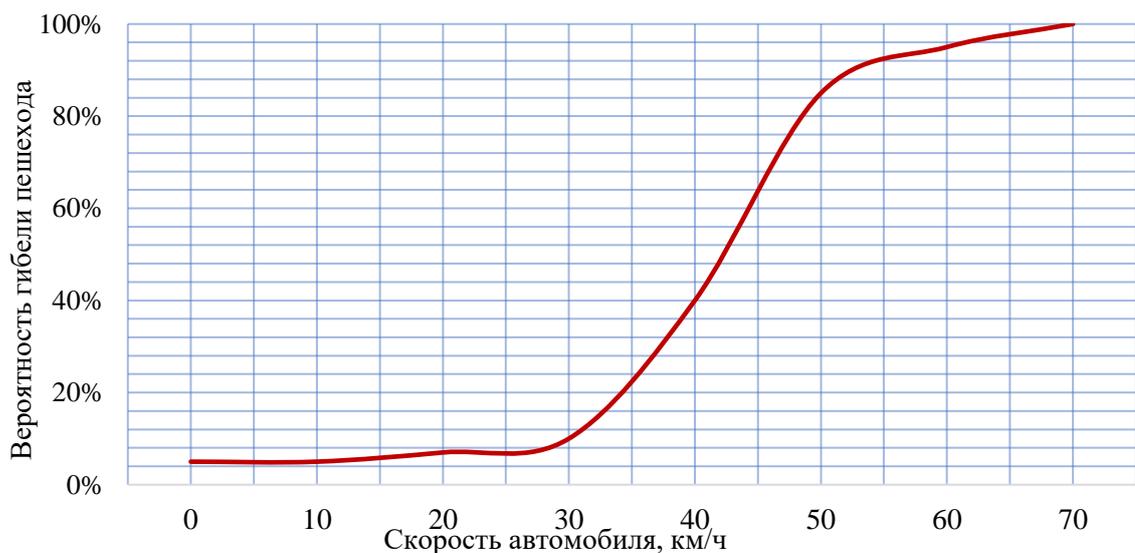


Рисунок 1.3 – Влияние скорости автомобиля в момент наезда на пешехода на вероятность его гибели

Таблица 1.3 – Травмы, получаемые пешеходом в случае наезда на него автомобилем

Скорость а/м в момент наезда на пешехода	Вид полученных травм
До 20 км/ч	Незначительные повреждения, легкое сотрясение мозга
20 – 30 км/ч	Повреждения средней степени, умеренное или тяжелое сотрясение мозга
30 – 40 км/ч	Возможны случаи инвалидности и летального исхода
40 – 50 км/ч	Риски инвалидности и летального исхода очень высоки
55 км/ч и более	Гибель практически неизбежна

Статистика аварийности также свидетельствует о том, что скорость в момент аварии определяет тяжесть последствий ДТП. Изменение количества ДТП с тяжкими последствиями и с летальным исходом от увеличения скорости движения представлено на рисунке 1.4.

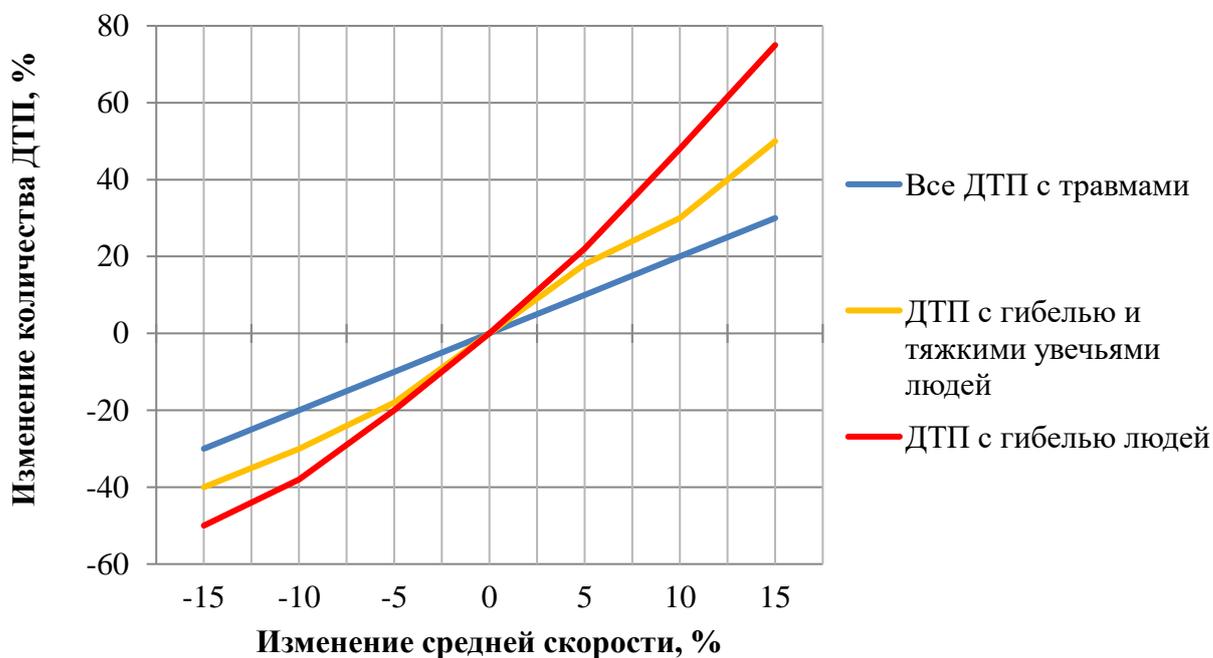


Рисунок 1.4 – График зависимости влияния скорости на тяжесть последствий ДТП

Последствия столкновения на различной скорости можно сравнить с падением человека с определенной высоты: так, столкновение на скорости 15 км/ч подобно падению со стула, в то время как при 50 км/ч приравнивается к падению с 4-го этажа, а при 80 км/ч последствия равносильны случаю падения с 10-го этажа [75].

Продолжая исследовать влияние изменения скорости автомобиля на аварийность, необходимо отметить не менее важный аспект – неоднородность транспортного потока [8, 9, 12, 22, 30, 66, 70, 88]. На рисунке 1.5 представлен график нарастания частоты ДТП от изменения скорости автомобиля относительно средней скорости потока. Транспортно-эксплуатационные показатели дороги оказывают сильное влияние на зависимость между скоростью движения и частотой аварий [19, 38, 64-68, 73, 84, 96, 125]. Например, влияние оказывает присутствие пешеходов и велосипедистов, наличие и вид пересечений. Таким образом, простые случаи с меньшими рисками аварий свойственны скоростным автомагистралям. В то время как при движении на скорости, превышающей среднюю скорость транспортного потока на 10 и более км/ч, количество аварий резко возрастает для городских дорог [32-34, 40].

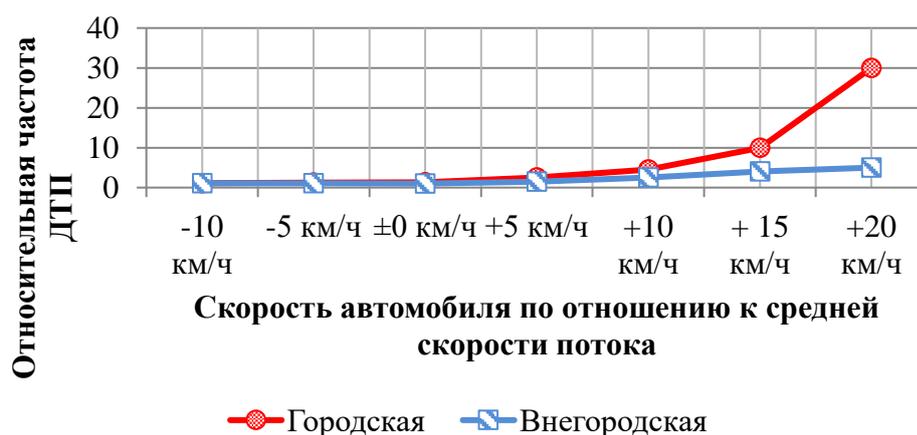


Рисунок 1.5 – Влияние неоднородности потока на аварийность

Опасность возникновения аварийной ситуации также зависит от типа дороги и ограничения скорости на ней [42, 61]. Большое влияние на рост ДТП и тяжесть

их последствий оказывает превышение скоростного ограничения на участках автомобильных дорог, проходящих в границах населённых пунктов, так как интенсивность и условия движения на них намного сложнее, а концентрация разных категорий участников движения – выше. В то же время, чем выше разрешенная скорость, а движение дальше от оживленных городских улиц, тем тяжесть последствий ДТП ниже [14, 24, 59, 75].

Согласно международным исследованиям риска возникновения ДТП, вызванного факторами скорости и содержания алкоголя в крови, был построен график соответствующей зависимости (рисунок 1.6). При этом принято, что при 60 км/ч и 0 ‰ относительные риски равны единице [22, 83, 110, 110].

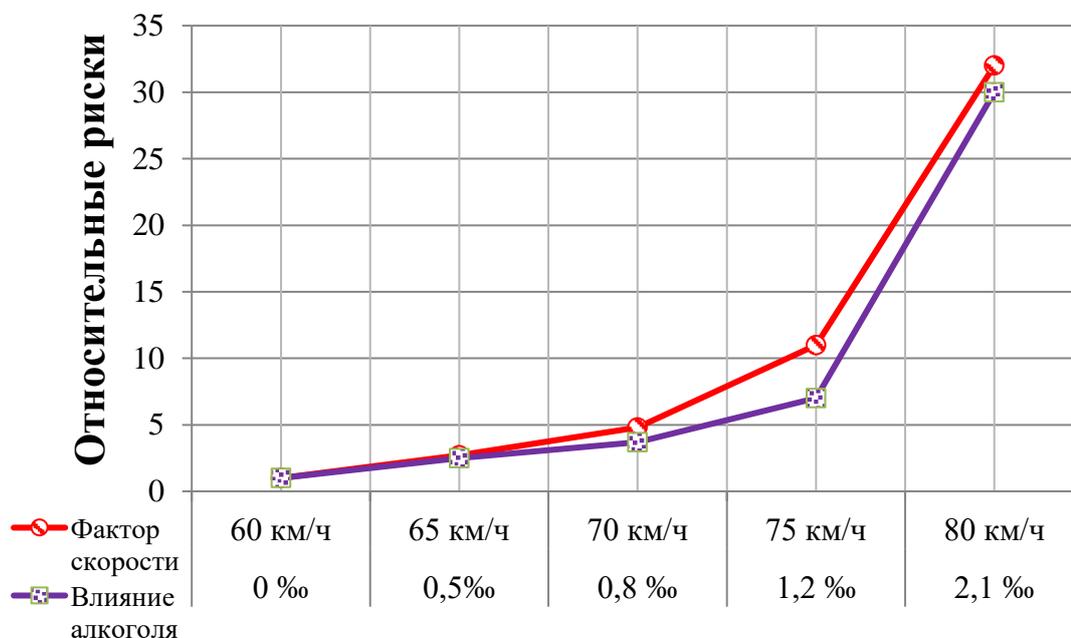


Рисунок 1.6 – Влияние факторов алкогольного опьянения и скорости движения на риск возникновения ДТП

В таблице 1.4 представлено описание влияния алкоголя на поведение человека. Как видно на графике (рисунок 1.6), с порога скорости в 70 км/ч относительные риски вероятности значительно вырастают – незначительное, на первый взгляд, превышение скорости движения всего на 10 км/ч соответствует 0,8 ‰ алкоголя в крови (0,5 литра вина, 150 грамм водки) при 60 км/ч. То есть,

превышение установленного скоростного режима в 60 км/ч на 15-20 км/ч имеет большее влияние на риск возникновения аварийной ситуации, чем употребление значительного количества алкоголя [22, 83,110].

Необходимо уделить внимание не менее важному аспекту скорости – влияние на область обзора водителя – видимость при увеличении скорости движения существенно ограничивается.

При повышении скорости движения угол обзора водителя существенно сужается. В связи с этим, двигаясь на высокой скорости по городским улицам, водитель не может безошибочно спрогнозировать ситуацию.

Таблица 1.4 – Влияние алкоголя на поведение человека

Содержание алкоголя в крови	Объем употреблённого алкоголя	Степень опьянения	Состояние	Проявления
0,5 ‰	Вино – 0,2 л Пиво – 0,5 л Водка – 50 г.	Незначительное влияние алкоголя	Эйфоричное состояние, «нахальное» поведение. Небольшая рассеянность или появление агрессии.	Неоправданная самооценка, уверенность в своем поведении, попираительство общественных правил или морали. Плохая сосредоточенность и оценка угрозы. Фактически уже отсутствует контроль над координацией.
0,8 ‰ – 1,2 ‰	Вино – 0,5 л Пиво – 1-1,5 л Водка – 150 г.	Легкое опьянение	Возбуждение, неадекватное поведение	Искажение восприятия, медленная реакция, сонливое состояние, гнев, страх, апатия. Искаженная оценка окружающего.
2,1 ‰	Вино – 0,75 л Пиво – 1,5-2 л Водка – 0,3 л	Опьянение средней степени	Психотическое, резко неадекватное поведение.	Дезориентированное состояние. Не различая цветов, крайне плохая реакция. Заглушенное чувство боли, нарушение баланса и речи.

При скорости движения, равной 45 км/ч, угол обзора водителя составляет 100 градусов. Данная скорость дает возможность водителю оценить ситуацию не

только на самой дороге, но и справа, и слева от неё. Однако, у водителя, двигающегося со скоростью, равной 130 км/ч, угол обзора сокращается до 30 градусов и менее. Данное обстоятельство в достаточной мере препятствует водителю оценить потенциальную опасность – данный факт наглядно представлен на рисунке 1.7.

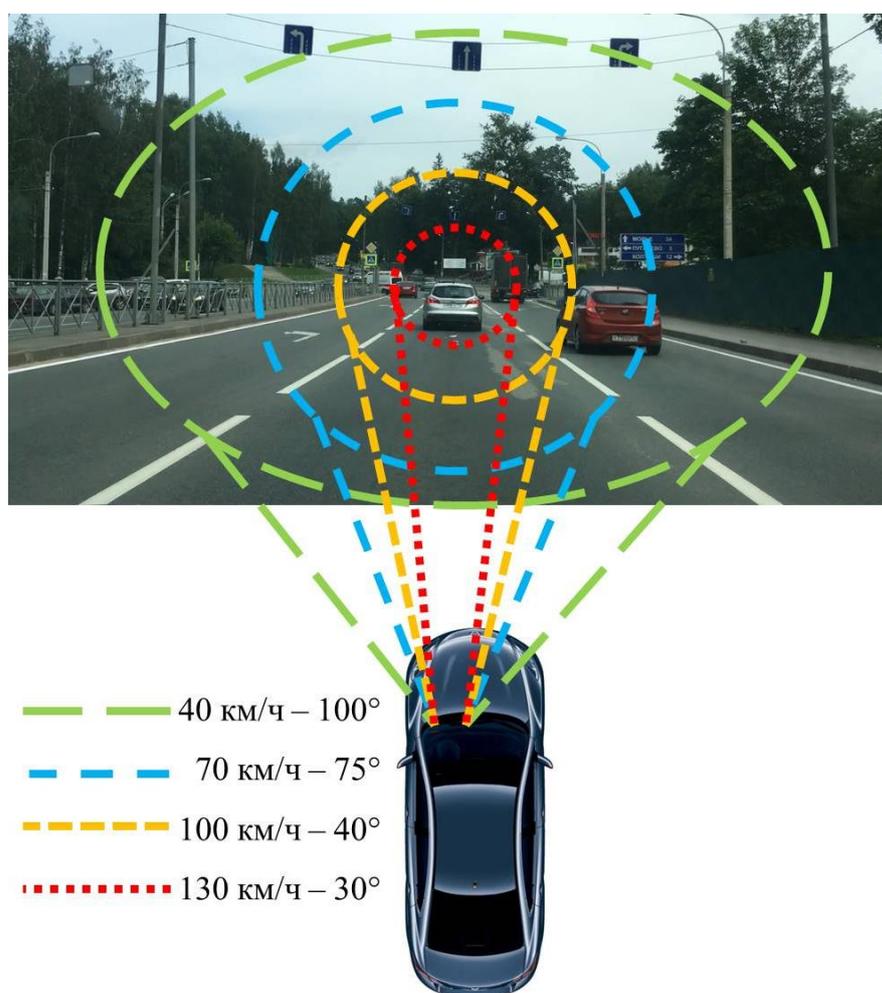


Рисунок 1.7 – Изменение угла обзора водителя в зависимости от скорости движения автомобиля под его управлением

Исходя из совокупности всех изученных обстоятельств, можно сделать вывод, что фактор высокой скорости является причиной трети всех ДТП. Кроме того, высокая скорость увеличивает тяжесть последствия ДТП, произошедших по другим причинам [60, 101-107, 112, 115].

Влияние фактора скорости на дорожно-транспортные ситуации особо значимо в городах, где взаимодействуют несколько групп участников дорожного движения (легковые и грузовые автомобили, велосипедисты и мотоциклисты, пешеходы,) и отмечается более высокая интенсивность и сложные условия движения [6].

В связи с чем, особенно важно гарантировать контроль за соблюдением законодательства о скоростных ограничениях и применение соответствующих наказаний в отношении водителей, которые их нарушают. Неотвратимость наказания принуждает водителей соблюдать правила дорожного движения, избегать опасных дорожно-транспортных ситуаций, поэтому чрезвычайно важно повышать точность методик проведения экспертиз по результатам ДТП для получения категоричных ответов о факте превышения или соблюдения скоростного режима [49-51, 54, 58, 62, 75].

1.2 Методы расчета и анализа пространственно-временных характеристик механизма ДТП

Качественно проведенное моделирование дорожно-транспортного происшествия является залогом достоверного вывода в процессе расследования ДТП и установления виновности его участников. Особую значимость при определении скорости движения автомобиля на каждой стадии ДТП имеет точность математической модели, описывающей его механизм.

Поэтому, несмотря на сложность всех действий, включаемых в процесс восстановления картины ДТП, необходимо повышать их оперативность, качество и достоверность, обеспечивая объективность, точность, неоспоримость самого расследования ДТП.

При проведении автотехнической экспертизы применяются различные методы, такие как инженерный расчет, оценка действий каждого из участников ДТП, анализ вещной обстановки места ДТП. Кроме того, производится детальная

реконструкция картины происшествия с использованием моделирования дорожно-транспортной ситуации.

В системе судебно-экспертных учреждений Министерства Юстиции РФ судебно-автотехнические экспертизы появились в 1959 г., т.е. существуют и успешно развиваются более 60 лет [32]. Важным, и нередко основным доказательством по делам автотранспортных преступлений является заключение судебного автотехнического эксперта, что делает особенно важным повышение качества данного вида исследований для успешного решения задач по обеспечению БДД на дорогах России. Достичь этого сегодня возможно путем совершенствования и повышения точности имеющейся методической и расчетно-аналитической базы, предназначенной для реконструкции ДТП.

Таким образом, поставленная научная задача по разработке методики восстановления механизма ДТП на основе анализа деформаций ТС, полученных в результате аварии, является особо актуальной.

Недостатком традиционных методик отечественной судебной автотехнической экспертизы является то, что они используют математический аппарат для установления величины энергии, затраченной на деформацию конструкций ТС, величин сил взаимодействия при ударе ТС, и, следовательно, установления результата действия этих сил в виде траекторий движения ТС до удара, не учитывающий современные тенденции в конструкционных материалах ТС.

Используемые сегодня в российской экспертной практике методы определения скоростей ТС при ДТП можно представить тремя основными способами. Первый способ базируется на определении скорости по длине следов торможения (юз) и волочения, зафиксированных на месте происшествия.

Второй способ – определение скорости на основании законов сохранения энергии и количества движения, базирующийся на учёте параметров перемещений («разлёта») ТС после столкновения. В ситуации, когда на месте ДТП имеются следы торможения в результате скольжения колес, второй и третий способы могут быть применены комплексно.

Третий способ – определение скорости исходя из полученных транспортными средствами деформаций. Способ основан на определении кинетической энергии, затраченной на развитие объемной деформации ТС в месте их контакта при столкновении. Данный метод наиболее перспективен в связи с тем фактом, что его использование позволяет получить точный и категоричный ответ независимо от качества материалов по делу о ДТП, которое не всегда отвечает требованиям, необходимым для применения одного из первых трех способов, а научно-технический прогресс способствует его развитию с использованием современных технологий, способных повысить точность и снизить трудозатраты на производство ДТЭ [10, 30, 36, 41, 47, 48, 98, 108, 116].

1.3 Определение скорости транспортного средства исходя из полученных деформаций

Эксперты-автотехники «деформацией» обозначают наличие изменения формы ТС – вмятину, изгиб, вытяжку металла и т.п. В механике деформируемого твердого тела деформация – это компонент тензора деформаций, мера формоизменения тела в точке и ее малой окрестности. Деформация может быть и мерой формоизменения объекта, если он деформирован однородно.

Исследование процесса соударения (столкновения) ТС основано на физической теории удара твердых тел. Согласно исследованиям, в настоящее время при определении кинематических, силовых и энергетических параметров соударения объектов (времени соударения, силы взаимодействия и т. п.) удовлетворительные результаты получаются только экспериментальным путем. При этом известные модели физической теории удара не всегда позволяют получить корректные результаты расчета при анализе парного взаимодействия таких сложных объектов, как транспортные средства.

С позиции физической модели удар рассматривается как кратковременный процесс взаимодействия тел, протекающий с определенными кинематическими,

силовыми и энергетическими параметрами, значения которых поддаются расчетному определению. В общем виде, в теоретической механике ударом называют процесс взаимодействия тел, при котором за бесконечно малый промежуток времени скорости изменяются до конечного значения.

При столкновении автомобилей возникают упругие и пластические деформации, величина и характер которых зависят от величины относительной скорости, направления удара, жесткости конструкции и ее массы, плотности и упрочнения их материалов, площади деформаций и других факторов.

Основные параметры, оказывающие влияние на величину и время нарастания деформации, а также на количественные характеристики стадий столкновения ТС (контакт, достижение максимальной деформации, выход из контакта, разлет), показаны на рисунке 1.8. Виды основных затрат кинетической энергии при столкновении транспортных средств, показаны на рисунке 1.9 [36].

Получить достоверные и высокоточные данные о таких особенностях, как направление, величина главных параметров, а кроме того, характер их изменения с течением времени, опираясь на данные о полученном конечном объеме деформации, представляется возможным путём установления количества энергии, затраченного на развитие объемных деформаций, в совокупности с натурными испытаниями. При этом необходимо отметить, что в профессиональной деятельности для формулирования и проверки результата работы эксперту необходимо произвести несколько видов расчета.

В 70-е годы прошлого века было доказано, что решение краевой задачи теории пластичности эквивалентно минимизации функционала полной мощности, что явилось существенным импульсом для разработки применения метода конечных элементов в различных научных и технических областях как в качестве инструмента исследования, так и инструмента проектирования. В свою очередь для объективного, полного и обоснованного расчета по этому способу необходимо огромное количество данных, большинство из которых в настоящее время остаются малодоступными [111], так как данная информация не разглашается заводами-изготовителями автомобилей [28, 30].

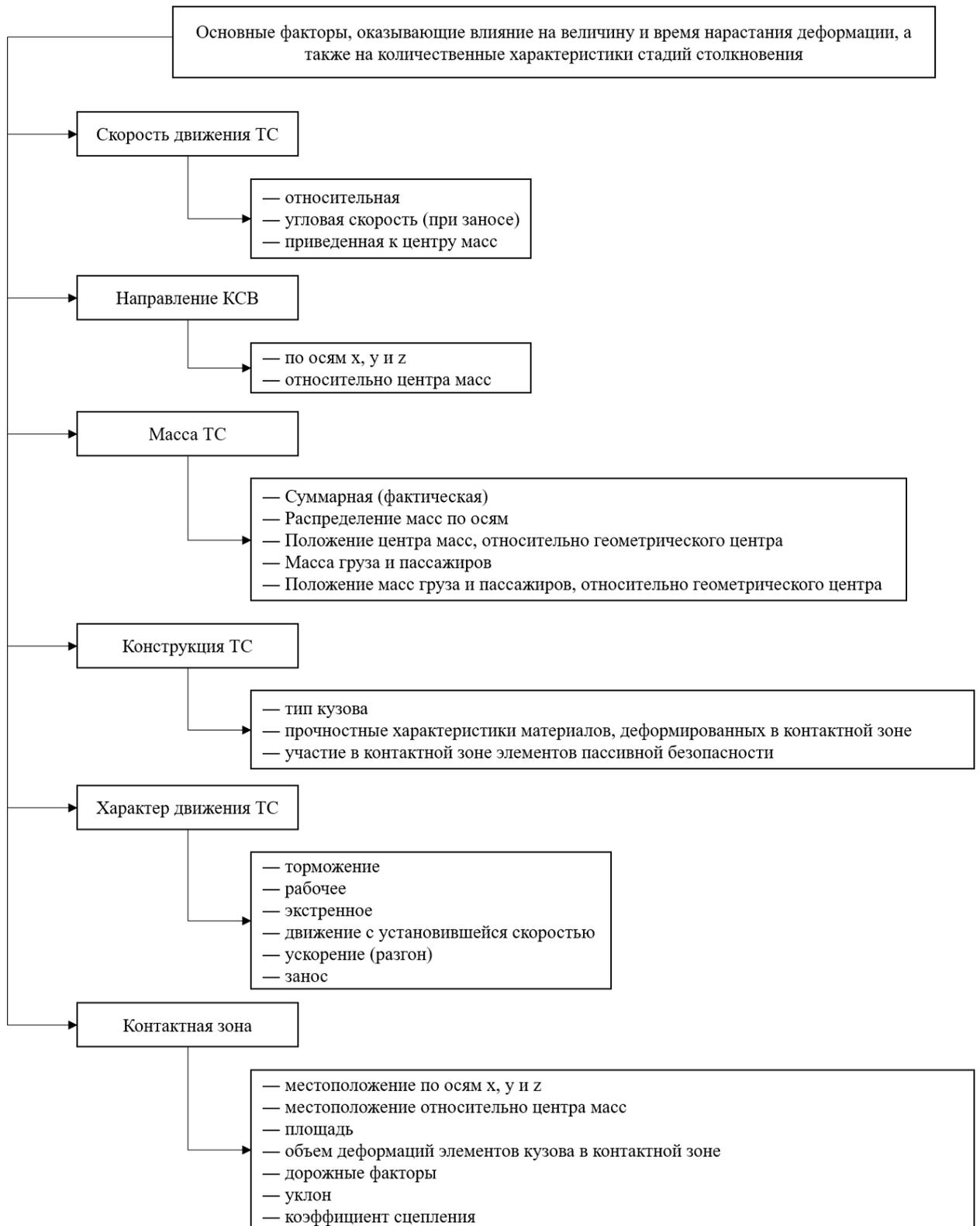


Рисунок 1.8 – Основные факторы, оказывающие влияние на величину и время нарастания деформации, а также на количественные характеристики стадий столкновения ТС



Рисунок 1.9 – Виды основных затрат кинетической энергии

1.4 Оценка корректности отдельных справочных данных для реконструкции ДТП

В свою очередь, алгоритм расчета скорости ТС в момент ДТП, исходя из полученных повреждений, основан на предполагаемой линейной зависимости между скоростью удара и разрушением и использовании данных из краш-тестов, проведенных на старых (1971-1974) полноприводных автомобилях, произведенных компанией General Motors.

Автомобили более позднего модельного года имеют унифицированный кузов и значительные изменения в материалах и конструкциях. В связи с этим возникает необходимость уточнения коэффициентов, используемых в расчетах, которые на сегодняшний день при проведении ДТЭ выбираются по унифицированным значениям, представленным в таблице 1.5 [31].

Таблица 1.5 – Унифицированные значения коэффициентов жесткости для классов легковых а/м (применимы для ТС до 1996 года выпуска)

<i>Значение</i>	<i>Класс ТС</i>					
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	
Колесная база, см	205–238	238–258	258–280	280–298	298–312	
Масса, см	1000	1385	1609	1926	2206	
Коэффициенты жесткости	Фронтальный					
	A, Н/см	528,2	454,4	556	623,5	569,7
	B, Н/см ²	32,4	29,8	38,6	23,3	25,5
	Задний					
	A, Н/см	640,7	684,1	718,8	624,7	520
	B, Н/см ²	26,3	28,1	30,1	38,83	48,3
	Боковой					
	A, Н/см	135,2	246	303,6	250,5	309,2
	B, Н/см ²	25,5	46	39,4	34,8	32,5

Данные показатели при использовании в экспертной практике, анализе и реконструкции конкретных ДТП имеют значительную погрешность в установлении скорости движения автомобиля-участника ДТП, в связи с чем возникает необходимость классификации значений данных коэффициентов в соответствии с правилами Европейского комитета по проведению независимых краш-тестов автомобилей (Euro NCAP), учитывая изменения истории автомобилестроения и применении современных металлических сплавов на разных этапах его развития.

Также унифицированные значения коэффициентов жесткости являются усредненными, что не допускает их использования при исследовании

сконцентрированных деформаций в какой-либо зоне передней или боковой части кузова автомобиля, ввиду неоднородности материалов и расположения элементов, деталей, узлов и агрегатов, что обуславливает различную жесткость «оболочки» автомобиля в пределах фронтальной и боковой его частей.

В рамках данного раздела исследовательской работы были произведены статистический анализ и сравнительная оценка показателей, так или иначе характеризующих БДД. В результате было установлено, что наиболее частым обстоятельством, приводящим к возникновению различной степени тяжести ДТП, является выбор водителем скорости движения, несоответствующей сложившейся дорожно-транспортной ситуации. Как показывает общемировая практика, на протяжении многих лет наиболее эффективным решением данной проблемы является принятие ограничительных мер в области регулирования скорости дорожного движения с целью повышения БДД. На степень жесткости принимаемых мер оказывает влияние целый ряд параметров, среди которого можно выделить человеческий фактор, конструктивные особенности автомобилей, их показатели безопасности, состояние улично-дорожной сети (УДС).

На сегодняшний день существуют различные способы установления фактической скорости движения автомобиля в момент ДТП. В последние годы особый интерес со стороны многих отечественных и зарубежных ученых возник к вопросу определения истинного значения скорости ТС в момент, предшествующий соударению. В этой связи особенно важно отметить несовершенство существующего методологического и методического инструментария относительно решения данного вопроса: при проведении экспертиз зачастую не учитывается ряд важнейших условий, что ставит под сомнение достоверность получаемых выводов.

Выводы по главе 1

1. Произведен анализ причин и последствий аварийности на автомобильном транспорте.
2. Определено влияние нарушения скоростного режима на повышение вероятности возникновения ДТП, тяжести их последствий и снижение уровня БДД.
3. Установлена необходимость повышения достоверности результатов дорожно-транспортных экспертиз как инструмента повышения эффективности процесса по управлению скоростью и контролю за соблюдением скоростного режима.
4. Произведен анализ методов определения скорости движения транспортных средств и пространственно-временных параметров дорожно-транспортных происшествий при проведении ДТЭ.
5. Обоснованы задачи исследования по результатам анализа отечественного и зарубежного опыта в области обеспечения БДД и изучения научно-исследовательских трудов в области реконструкции ДТП.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

2.1 Математическая модель определения затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций автомобилей в результате КСВ

Для исследования механизма моделирования ДТП, а именно определения скорости ТС в момент столкновения по результатам анализа объема деформации используется алгоритм «Crash 3», разработанный в 70-х годах 20 века [120].

Настоящая методика предназначена для определения доли затрат кинетической энергии (E_D) на развитие деформаций и эквивалентную данным затратам скорость при технической реконструкции КСВ, используя расчет зависимости для определения затраченной на развитие деформаций энергии по характерным точкам зоны локализации деформаций.

Мировое экспертное сообщество [117,119,122, 130-132, 136-137] активно использует алгоритм «Crash 3» для расчета скорости автомобилей в момент столкновения по полученным деформациям: для расчета величины затрат энергии на деформацию автомобиля при КСВ необходимо учитывать жесткость деформированной части кузова исследуемого автомобиля, а именно: коэффициент Гука (механическая жесткость), модуль упругости I рода (Юнга) и аргумент поглощения (производный коэффициент жесткости) [76, 79, 82].

Коэффициент Гука (механическая жесткость) измеряется в Н/м и представляет собой удельную силу, которую часть кузова автомобиля может выдержать до начала пластической деформации. Модуль упругости I рода (Юнга) измеряется в Н/м² и представляет собой удельную силу, необходимую для производства пластической деформации конструкции части кузова автомобиля. Аргумент поглощения – производный от коэффициента Гука и модуля упругости I рода [120].

Точки и отметки измерений с привязкой при линейной съемке по данной методике представлены на рисунках 2.1-2.2.

Измерениям подлежат (в соответствии с обозначениями на рисунках 2.1, 2.2): L_C — ширина локальной зоны деформаций, C_1 - C_6 — глубина деформации в точках, равномерно распределенных по ширине L_C .

Представленный далее алгоритм позволяет установить скорость движения ТС путем определения затрат энергии на деформации, используя рассчитанные значения коэффициентов жесткости по результатам краш-тестов или выбранные по унифицированным значениям [5, 31, 120].

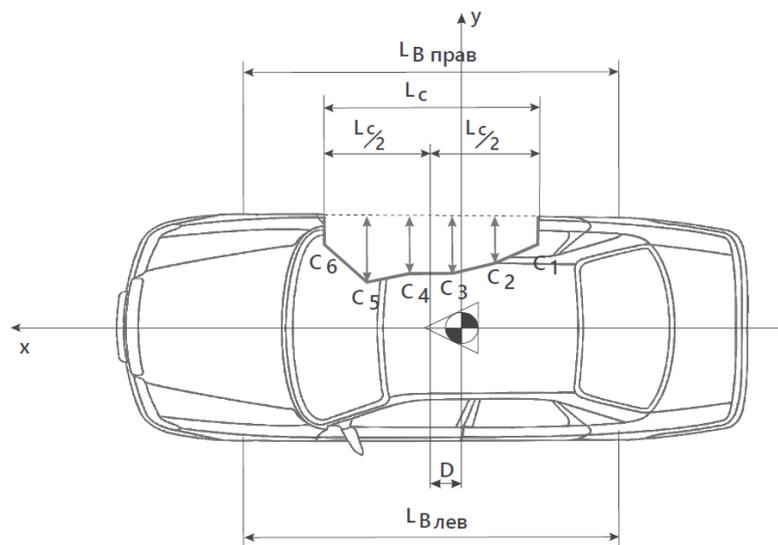


Рисунок 2.1 – Линейная съемка глубины зон деформаций и привязка размеров при боковом ударе

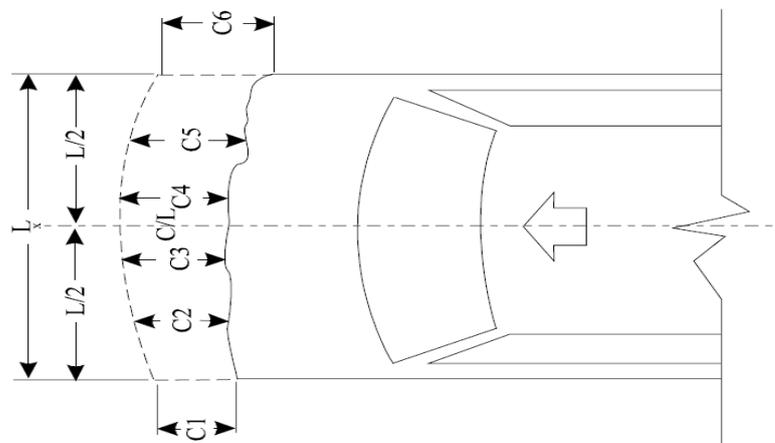


Рисунок 2.2 – Линейная съемка глубины зон деформаций и привязка размеров при фронтальном ударе

Первоначально определяют среднестатистическое значение измерений глубины деформирования автомобиля по формуле:

$$C_{AVERT} = \frac{C_1 + \sum_{i=2}^{n-1} C_i + \frac{C_n}{2}}{n - 1} \quad (2.1)$$

где: C_{AVERT} – среднестатистическое значение измерений глубины деформирования C_i в системе 6-ти точек измерения ($n=6$) для тестового а/м;

C_i – глубина зоны объемной деформации в i -ой точке (из $n = 6$), согласно результатам измерения профиля деформации тестового а/м, м.

Затем рассчитывается доля рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны:

$$b_1 = \frac{v_t - b_0}{C_{AVERT}} \quad (2.2)$$

где: V_t – скорость тестового а/м в момент удара о барьер, км/ч;

b_0 – пороговая скорость движения а/м при которой наступает объемная деформация при наезде на деформируемый барьер, км/ч;

b_1 – доля рассеивания приведенной скорости к площади контактной зоны, км/ч/м.

Таким образом, представляется возможность определить коэффициент Гука:

$$A = \frac{m_t \times b_0 \times b_1}{3,6^2 \times L_t}, \quad (2.3)$$

где A – коэффициент Гука;

m_t – фактическая масса а/м марки, перед его использованием в краш-тесте, кг;

L_t – ширина измеряемой зоны объемной деформации тестового а/м, м.

И модуль упругости I рода:

$$B = \frac{m_t \times b_1^2}{3,6^2 \times L_t} \quad (2.4)$$

где B – модуль упругости I рода (Юнга).

На следующем этапе устанавливается аргумента поглощения:

$$G = \frac{A^2}{2 \times B} \quad (2.5)$$

где G – Аргумент поглощения.

Для определения затрат кинетической энергии на развитие объемной деформации необходимо определить длину участка измерения:

$$w_i = \frac{L_t}{n - 1} \quad (2.6)$$

Работу сил на деформацию (при получении усредненного объема деформации) возможно рассчитать по формулам:

$$E_D = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \times \left(\frac{B}{6} \times (C_i^2 + C_i \times C_{i+1} + C_{i+1}^2) + \frac{A}{2} \times (C_{i+1} + C_i) + G \right) \times (1 + \tan^2 \theta) \quad (2.7)$$

$$E_D = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \times \left(\frac{B}{6} \times \left(\frac{C_{i+1}^3 - C_i^3}{C_{i+1} - C_i} \right) + \frac{A}{2} \times (C_{i+1} + C_i) + G \right) \times (1 + \tan^2 \theta) \quad (2.8)$$

где: E_D – кинетическая энергия, затраченная на развитие деформаций, Дж;

θ – угол направления приложения приведенной деформирующей силы (по направлению вектора импульса сил), с учетом результатов проведенного осмотра а/м, участвовавшего в исследуемом ДТП, град.

В результате определяется эквивалентная установленным затратам кинетической энергии скорость а/м:

$$V_A = 3,6 \sqrt{\frac{2 \times E_D}{m}} \quad (2.9)$$

где: m – масса а/м с учетом загрузки в момент столкновения, кг.

При расчете энергетических затрат на деформацию автомобилей с использованием алгоритма «Crash 3» необходимо учитывать коэффициенты (b_0), значения которых отсутствуют в справочной литературе, так как данные сведения являются интеллектуальной собственностью завода-изготовителя ТС. b_0 – минимальная скорость движения а/м при наезде на барьер, при которой объемная деформация еще не наступает, то есть, b_0 – пороговая скорость деформации. В экспертной практике применяются оценочные значения, находящиеся в диапазоне от 12 до 19 км/ч для легковых автомобилей.

Для верификации и доказательства того факта, что b_0 влияет незначительно на результаты расчетов, были определены эквивалентные скорости (V_D) с учетом различных значений b_0 , результаты представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Эквивалентные скорости ТС в зависимости от различных значений b_0

№	Модель автомобиля	V_{min} , км/ч	V_D , км/ч
1	Ford Explorer	12	56,37
		15	56,33
		17	56,30
		19	56,27
2	Dodge Neon	12	56,66
		15	56,64
		17	56,63
		19	56,61
3	Ford Taurus	12	48,07
		15	48,06
		17	48,05
		19	48,04
4	Toyota Yaris	12	56,25
		15	56,24
		17	56,24
		19	56,24

В результате произведенных исследований было установлено, что значение b_0 не влияет на результаты расчетов эквивалентных скоростей (при выборе значения b_0 в диапазоне от 12 км/ч до 19 км/ч) более чем на 2% [35, 39, 128].

В общем расчетном случае предполагается, что кузов автомобиля является гомогенным (однородным), и сила сопротивления деформированию не зависит от места приложения нагрузки на всей ширине деформируемой части кузова. Фактически это не так – внутренняя структура передней части неоднородна, жесткие элементы конструкции под капотом автомобиля перемежаются с пустотой или менее жесткими элементами.

В справочной литературе [31] присутствуют усредненные значения коэффициентов А, В и G для передней и боковой частей кузова автомобиля, но в реальных условиях жесткость в каждой области части кузова разная. Поэтому для определенных видов КСВ необходимо устанавливать жесткость в различных местах приложения нагрузки.

Но необходимо учитывать, что использование локальной жесткости в случае незначительных повреждений - ошибочно, для таких исследований установление затрат кинетической энергии требуется произвести на основе метода конечных элементов. Но его широкое распространение среди экспертов затруднено по причине отсутствия в свободном доступе объемных моделей транспортных средств и необходимости наличия высокой квалификации у специалистов при работе в конечно-элементных программах [18, 77, 99].

Дифференцировать жесткость какой-либо части кузова автомобиля возможно двумя основными способами. В зависимости от наличия исходных данных и сведений о конструкции изучаемых ТС, рекомендуется использовать один из методов:

— для применения первой методики следует установить конструкционную жесткость изучаемой части кузова автомобиля, используя суммарную величину силы, которая определяется путем обработки результатов краш-теста в специальном программном обеспечении, предназначенном для

отображения и анализа векторных или матричных сигналов, например, ПО «Signal Browser»;

— для применения второй методики специалисту должны быть известны деформации обоих участников ДТП в «пятне» их непосредственного контакта таким образом, чтобы была возможность разделить эту зону на соответствующие равные участки обоих изучаемых объектов, а также должны быть известны коэффициент Гука и модуль упругости I рода (Юнга) одного из автомобилей, участвующих в исследовании.

2.1.1 Дифференцирование жесткости кузова автомобиля (при известной жесткости)

При величине силы ударного воздействия на автомобиль до значения D (рисунок 2.3) автомобиль деформируется упруго на величину C_U , после чего остается пластическая (остаточная) деформация конструкции C . Угловой коэффициент зависимости силы от деформации – это конструкционная жесткость K .

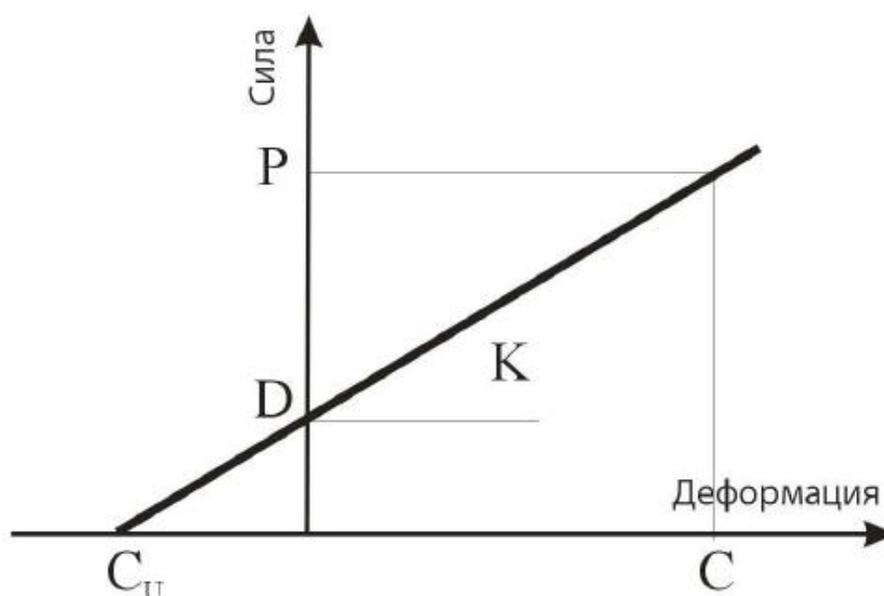


Рисунок 2.3 – График зависимости силы от деформации

Таким образом:

$$A = \frac{D}{L_t} \quad (2.10)$$

$$B = \frac{K}{L_t} \quad (2.11)$$

Следовательно:

$$D = A \times L_t \quad (2.12)$$

$$K = B \times L_t \quad (2.13)$$

Величиной силы упругой деформации D является произведение конструкционной жесткости K на величину упругой деформации автомобиля C_U , то есть:

$$D = K \times C_U \quad (2.14)$$

Отсюда:

$$C_U = \frac{D}{K} \quad (2.15)$$

Суммарная величина силы P рассчитывается с использованием формулы конструкционной жесткости K :

$$K = \frac{P}{C_{AVERT} + C_U} = \frac{P_1 + P_2}{C_{AVERT} + C_U} \quad (2.16)$$

Отсюда:

$$P = K(C + C_U) \quad (2.17)$$

Структура передней части кузова автомобиля такова, что жесткость средней части шириной $L/2$ больше жесткости левой и правой частей суммарной шириной также $L/2$, как показано на рисунке 2.4: более жесткая средняя часть с жесткостью K_1 и две боковые менее жесткие части с жесткостью K_2 . Для автомобиля, указанного на рисунке 2.4, конструкционной жесткостью K является сумма жесткостей частей конструкции K_1 и K_2 .

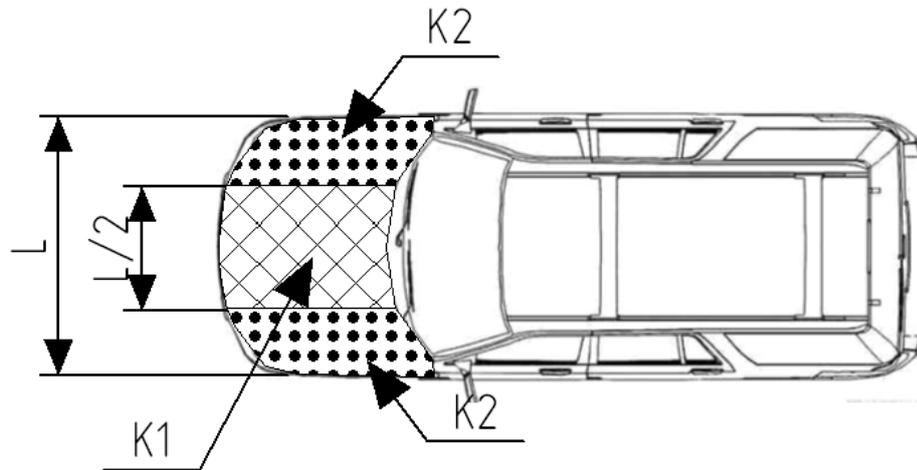


Рисунок 2.4 – Конструкционная жесткость передней части автомобиля

По результатам краш-теста устанавливается суммарная величина силы P_1 , которая зачастую в середине передней части автомобиля вдвое превышает суммарную величину силы P_2 по краям, то есть $P_1=2 P_2$.

Таким образом, возможно дифференцировать конструктивную жесткость K по участкам передней части из пропорций:

$$\frac{K_i}{K} = \frac{P_i}{P_1 + P_2} \quad (2.18)$$

Отсюда:

$$K_i = \frac{P_i}{P_1 + P_2} \times K \quad (2.19)$$

Из этого следует, что величина силы упругой деформации для середины и краев передней части автомобиля составляет согласно формуле (2.14):

$$D_i = K_i \times C_U \quad (2.20)$$

С учетом полученных результатов, значения коэффициентов жесткости составляют:

$$A_i = \frac{D_i}{L_t/2} \quad (2.21)$$

$$B_i = \frac{K_i}{L_t/2} \quad (2.22)$$

$$G_i = \frac{A_i^2}{2B_i} \quad (2.23)$$

В случае произведения расчетов по усредненной жесткости недостаток энергии для середины передней части кузова автомобиля компенсируется избытком для краев, и в результате расчет кинетической энергии, необходимой для получения деформаций, будет точным только в случае полного контакта фронтальной части кузова автомобиля с препятствием или вторым участником ДТП.

Однако, если в результате дорожно-транспортной ситуации автомобиль получил повреждения только в области правого или левого края передней части кузова, то результат расчета кинетической энергии, затраченной на деформацию, по усредненным коэффициентам жесткости будет выше фактического, и наоборот, в ситуации с получением деформаций автомобилем-участником ДТП только в середине фронтальной части кузова результат расчета с усредненными коэффициентами жесткости будет заниженным.

Равнозначно, жесткость боковой части автомобиля неоднородна по своей ширине. В случае производства расчетов по усредненным коэффициентам недостаток энергии для более жесткой части (зоны стоек) компенсируется избытком для более хрупких зон (двери), и в результате расчет кинетической энергии, необходимой для получения деформаций, будет неточным. То есть, если в результате дорожно-транспортной ситуации автомобиль получил повреждения только в области боковых стоек, результат расчета кинетической энергии, затраченной на деформацию автомобиля, по усредненным коэффициентам жесткости будет выше фактического, и наоборот, в ситуации, с наличием деформаций у автомобиля-участника ДТП только в зоне дверей, результат расчета с усредненными коэффициентами жесткости будет завышенным.

2.1.2 Дифференцирование жесткости кузова автомобиля (при известном объеме деформации обоих участников ДТП)

Особенность алгоритма «Crash 3» заключается в том, что незначительная погрешность достигается только при расследовании ДТП с наличием больших, значительных деформаций – это обусловлено использованием в расчете усредненного значения деформаций (а также коэффициентов жесткости) и зависимости затрат энергии на ее развитие от квадрата скорости. Данное явление наглядно демонстрирует график на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Зависимость погрешности в установлении скорости, в зависимости от погрешности установления энергии

В разделе 2.1.1 был представлен метод дифференцированных коэффициентов жесткости изучаемой части кузова автомобиля, использующий суммарную величину силы, которая определяется путем обработки результатов краш-теста в специальном программном обеспечении, предназначенном для отображения и анализа векторных или матричных сигналов. Для применения второго известного

метода специалисту должны быть известны деформации обоих участников ДТП в зоне их непосредственного контакта. А также должна быть обеспечена возможность разделения этой области деформаций на равные участки, чтобы они соответственно совпадали на исследуемых объектах, а также у одного из них должны быть известны коэффициент Гука и модуль упругости I рода (Юнга).

Для решения задачи дифференцирования жесткости части кузова автомобиля необходимо ее разделить на следующие этапы:

— ограничить зону исследования полученных деформаций зоной контакта, таким образом в расчете не будут учитываться вторичные деформации (там, где деформирующие силы непосредственно не прикладывались);

— разделить зону непосредственного контакта на равные участки таким образом, чтобы они совпадали на обоих исследуемых объектах;

— рассчитать действующие в момент столкновения силы для каждого участка исследуемого автомобиля и, исходя из закона равенства действия и противодействия, определить, что рассчитанные силы для исследуемого автомобиля соответственно равны деформирующим силам, действующим на кузов второго автомобиля;

— установить дифференцированные коэффициенты жесткости для каждого участка зоны непосредственного контакта исходя из полученных значений действующих сил.

Согласно данному методу, необходимо рассчитать силы удара, действующие на участках зоны деформации ТС-участника ДТП, коэффициенты жесткости которого известны (в расчетах обозначается b), для этого используется формула:

$$F_{bi} = \frac{L_{bi}}{\cos(\alpha_b)} \times \left(A_{bi} + \frac{B_{bi}}{2} \times (C_{bi} + C_{bi+1}) \right) \quad (2.24)$$

где: F_{bi} – сила удара на i -ом участке кузова (максимальная) ТС;

L_{bi} – длина участка кузова ТС;

i – номер участка «пятна» контакта;

α_b – угол между нормалью и направлением силы удара;

A_{bi} – коэффициент жесткости кузова ТС, Н/м;

B_{bi} – коэффициент жесткости кузова ТС, Н/м²;

C_{bi}, C_{bi+1} – значения деформаций на границах i -го участка кузова ТС.

Также исходя из закона равенства действия и противодействия

$$F_{bi} = F_{vi} \quad (2.25)$$

где: F_{vi} – сила удара на i -ом участке (максимальная) автомобиля, чьи коэффициенты жесткости необходимо установить (в расчетах обозначается v).

Для решения проблемы наличия двух неизвестных в уравнении (коэффициент Гука и модуль упругости I рода) используются значения b_0 и b_1 , допустимый диапазон значений которых известен.

Используя набор значений b_{0v} , рассчитывается значения b_{1v} для каждого i -го участка по формуле:

$$b_{1vi} = \frac{-b_{0vi} + \sqrt{b_{0vi}^2 + \frac{2 \times 3.6^2 \times L \times F_i}{L_i \times m_v} \times (C_{vi} + C_{vi+1})}}{C_{vi} + C_{vi+1}} \quad (2.26)$$

где b_{0vi} – скорость нулевой деформации на i -ом участке автомобиля;

L – ширина зоны непосредственного контакта;

L_i – ширина i -го участка;

F_i – сила удара на i -ом участке (максимальная);

m_v – масса автомобиля;

C_{vi}, C_{vi+1} – значения деформаций на границах i -го участка автомобиля.

В результате, становится возможным определить дифференцированные коэффициенты жесткости кузова автомобиля на каждом i -ом участке зоны непосредственного контакта по формулам:

$$A_{vi} = \frac{m_v \times b_{0vi} \times b_{1vi}}{3.6^2 \times L} \quad (2.27)$$

$$B_{vi} = \frac{m_v \times b_{1vi}^2}{3.6^2 \times L} \quad (2.28)$$

Таким образом подтверждается, что пиковые значения деформирующих сил на каждом i -ом участке двух автомобилей, а также их суммарные величины, в точности совпадают, а значит выполнен закон равенства действия и противодействия, тем самым доказана точность расчетов и корректность полученных результатов данного метода определения дифференцированной жесткости кузова автомобиля [78]. Необходимо отметить, что важно учесть следующие ограничения при производстве исследований на основе представленного метода:

- 1) коэффициенты жесткости одного из автомобилей-участников ДТП известны;
- 2) установлены значения деформаций обоих участников происшествия, а также зоны их непосредственного контакта и зоны вторичных деформаций;
- 3) зоны непосредственного контакта на обоих автомобилях должны быть одинаковы по ширине и их можно разделить на равные (соответствующие) участки КСВ.

Представленные методы дифференцирования [2] жесткости автомобилей особо актуальны в тех случаях, когда используемые сегодня подходы не способны обеспечить получение точного и однозначного результата. Согласно мировой экспертной практике, наиболее часто возникают трудности при проведении ДТЭ, где был совершен не центральный удар, что в свою очередь затрудняет определение необходимых показателей, способных объективно оценить

соответствие действий всех участников происшествия Правилам дорожного движения РФ и установить степень виновности каждого из них [20, 78, 128].

2.2 Метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием

Энергия деформации автомобилей при соударении эквивалентна соответствующему изменению кинетической энергии. При соударении с бетонным барьером при 100 % перекрытии, либо при столкновениях, после которых автомобилем обладает незначительным запасом кинетической энергии, можно принять, что кинетическая энергия, которой обладал участник ДТП перед столкновением, равна энергии деформации.

Интенсивность столкновения оценивают на основе энергии деформации поврежденных автомобилей. Энергию деформации рассчитывают по результатам фронтальных соударений. Существенным результатом исследований является то, что деформирующая сила растет приблизительно линейно с увеличением деформации – следовательно, и энергия деформации может быть рассчитана по величине остаточной деформации [53].

Наибольшую трудность при исследовании столкновения автомобилей, в отличие от исследования удара однородных твердых тел, вызывает то обстоятельство, что автомобиль является анизотропным телом, имеющим различные физические свойства в разных его сечениях и состоящим из множества сред (элементов, деталей, узлов и агрегатов), резко ограниченных пространственной, прочностной и прочими конфигурациями материалов от других, соприкасающихся и/или взаимодействующих сред.

Анизотропность автомобиля обуславливает нелинейный характер зависимостей между напряжением и деформацией, скоростью и деформацией и т. д. при соударении автомобилей. При небольшой силе удара ТС ведут себя как упругие тела, при значительной — возникают необратимые деформации

(повреждения). В обоих случаях при деформациях автомобилей имеют место также сложные волновые и тепловые процессы [17].

В реальных условиях случаются ДТП с локальными деформациями, и в таких ситуациях использовать усредненные значения коэффициентов жесткости и деформаций недопустимо ввиду того, что это приведет к значительной искаженности в определении скорости столкновения, а дифференцировать жесткость кузова автомобиля зачастую не представляется возможным для эксперта по причине отсутствия необходимых данных для расчета по описанным методам дифференцирования. В связи с чем был разработан метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием, включающий два независимых способа, доступных для использования широким кругом представителей экспертного сообщества.

2.2.1 Коэффициент вариации исходных данных для верификации результатов расчета скорости столкновения автомобилей по объемным деформациям

При использовании алгоритма определения затрат энергии на развитие деформаций автомобилей «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 как было установлено – высокое качество использования данного математического аппарата достигается в ситуациях, изображенных на рисунках 2.6 и 2.7. Однако, в большинстве случаев КСВ с неполным перекрытием (остаточные деформации таких ДТС изображены на рисунках 2.8 и 2.9) расчет скорости исходя из эквивалентных затрат энергии на развитие полученных деформаций (по алгоритму «Crash 3») имеет значительную погрешность – это наглядно видно при сравнении результатов расчета с

фактической скоростью в момент столкновения, определённой при помощи акселерометров, установленных на автомобилях (таблица 2.2).

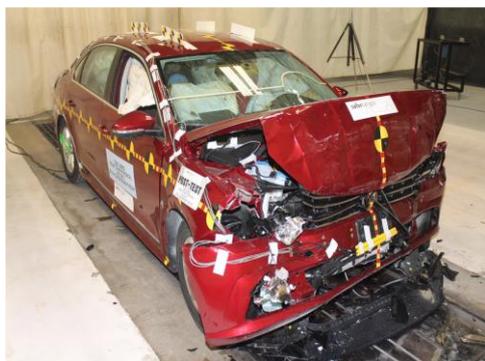


Рисунок 2.6 – Автомобиль Volkswagen Passat, получивший в результате КСВ деформации по всей ширине передней части кузова

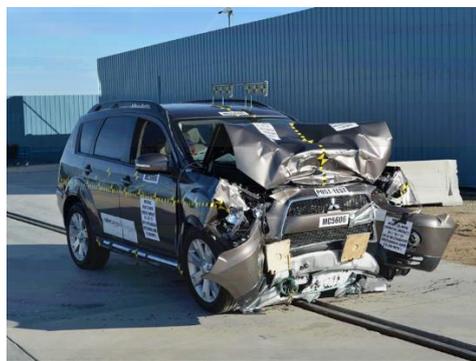


Рисунок 2.7 – Автомобиль Mitsubishi Outlander, получивший в результате КСВ деформации по всей ширине передней части кузова



Рисунок 2.8 – Автомобиль Ford Fiesta, участвующий в краш-тесте с 35% перекрытием (деформирующие силы были приложены только к 35% фронтальной части)



Рисунок 2.9 – Автомобиль Chevrolet Aveo, участвующий в краш-тесте с 50% перекрытием (деформирующие силы были приложены только к половине фронтальной части)

Таблица 2.2 – Результаты расчета скорости движения автомобилей, учувствовавших в столкновениях с неполным перекрытием

N п/п	Марка и модель автомобиля	Степень перекрытия КСВ	Ширина измеряемой зоны, м	Значения глубин внедрения, м						Скорость ТС, установленная при помощи акселерометров, км/ч	Расчитанная скорость по алгоритму «Crash 3», км/ч	Погрешность в установлении скорости, %
				C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆			
1	Ford Mustang	50%	1,423	0,059	0,328	0,545	0,747	0,709	0,889	80	84,62	5%
2	Chevrolet Aveo	40%	1,17	0,591	0,541	0,519	0,290	0,152	0,020	56	60,46	7%
3	Toyota Avalon	50%	1,524	0,000	0,773	0,600	0,416	0,218	0,083	56,2	60,63	7%
4	Dodge Caravan	39%	1,401	0,248	0,263	0,186	0,108	0,038	0,021	40,1	43,52	8%
5	Chevrolet Aveo	50%	1,318	0,681	0,589	0,533	0,290	0,115	-0,037	60	66,81	10%
6	Toyota Avalon	40%	1,038	0,469	0,442	0,423	0,263	0,097	-0,071	56,65	62,67	10%
7	Honda Accord	50%	1,525	0,300	0,240	0,170	0,096	0,026	-0,043	56,6	66,10	14%
8	Chevrolet Silverado	38,2%	1,802	0,643	0,573	0,420	0,082	0,055	0,048	40	47,69	16%
9	Chevrolet Silverado	40%	1,985	1,075	1,132	0,835	0,561	0,028	-0,365	64,1	77,07	17%
10	Honda Accord	50%	1,525	0,257	0,250	0,220	0,125	0,035	-0,173	56,4	69,44	19%
11	Chevrolet Silverado	40%	2,205	0,640	0,804	0,877	0,451	-0,138	-0,683	64,8	91,31	29%
12	Ford Fiesta	35%	1,32	0,690	0,588	0,47	0,339	0,199	0,051	90,12	128,22	30%
13	Honda Fit	30%	1,042	0,478	0,426	0,311	0,186	0,070	-0,006	90,27	135,59	33%
14	Chevrolet Spark	30%	0,992	0,281	0,328	0,229	0,142	0,055	-0,042	90,02	136,11	34%
15	Honda Odyssey	35%	1,211	0,593	0,496	0,363	0,227	0,082	-0,074	90,12	138,03	35%
16	Smart Fortwo	30%	1,43	0,374	0,539	0,468	0,198	-0,089	-0,295	90,67	169,98	47%

Данная проблематика изучается на протяжении всего периода использования алгоритма «Crash 3». С течением времени мировое научное сообщество успешно решило данную проблему, основываясь на триангуляции для заданного множества точек на плоскости, при которой для любого треугольника все точки, за исключением точек, являющихся его вершинами, лежат вне окружности,

описанной вокруг треугольника (Триангуляция Делоне), что впоследствии позволило создать полностью автоматические конечно-элементные системы автоматизированного проектирования [124, 133,134,139].

Соответственно, решение данной задачи сводится к использованию методик конечно-элементного моделирования, которое требует специальных знаний применения метода конечных элементов, навыков работы с конечно-элементными моделями и программами. Также ограниченное использование метода конечных элементов широким кругом специалистов-автотехников обусловлено, помимо самой сложности метода, отсутствием и малой изученностью алгоритмов автоматического разделения области на «почти равносторонние» треугольники (погрешность, в зависимости от вариации метода, обратно пропорциональна синусу или самого острого, или самого тупого угла в разделении) [3, 7, 43, 71,72, 74, 80, 81, 97, 99].

Как отмечено выше, реконструкция ДТП с неполным перекрытием части кузова также возможна путем дифференцирования жесткости, но для применения данного метода необходимы сведения об индивидуальных характеристиках жесткости кузова автомобиля, которые зачастую неизвестны эксперту. Также для выполнения расчетов по дифференцированию жесткости кузова автомобиля требуется наличие навыков работы в программном обеспечении, предназначенном для анализа векторных и матричных сигналов.

Все вышеперечисленное заставляет экспертное сообщество, рассматривающее процесс реконструкции ДТП как научную задачу, вести исследования в области разработки и совершенствования методического аппарата, направленного на восстановление картины, предшествующей развитию аварийной ситуации, доступного для большинства специалистов, ведущих расследования по материалам дел о ДТП без использования метода конечных элементов ввиду перечисленных обстоятельств, препятствующих распространению его применения в ДТЭ и без дифференцирования жесткости по аналогичным причинам.

В связи с чем возникает научная задача разработки методического подхода, согласно которому эксперт будет иметь возможность определить необходимое

количество измерений глубины деформирования автомобиля под конкретную дорожно-транспортную ситуацию.

В результате исследований был разработан алгоритм выбора и игнорирования отдельных измерений глубины внедрения в зависимости от влияния степени перекрытия и «разброса» значений деформации на результаты расчета скорости движения. Первоначально была проанализирована взаимосвязь степени перекрытия КСВ, «разброса» значений деформации и размера погрешности в расчете скорости движения.

Для оценки неоднородности значений деформаций, образовавшихся в результате КСВ, на примере представленных случаев в таблице 2.2, предлагается 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. Результаты данного анализа представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Коэффициент вариации значений глубины внедрения

№ п/п	Степень перекрытия	Диапазон значений С ₁ -С ₆ , м	Погрешность в установлении скорости движения, %	Среднеквадратическое отклонение	Среднее арифметическое значение деформации	Коэффициент вариации
1	50%	0,83	5%	0,306370	0,546167	56%
2	40%	0,773	7%	0,302318	0,348333	87%
3	50%	0,571	7%	0,234435	0,352167	67%
4	39%	0,242	8%	0,104309	-0,144000	72%
5	50%	0,54	10%	0,218564	0,270500	81%
6	40%	0,718	10%	0,285631	0,361833	79%
7	50%	0,343	14%	0,129990	0,131500	99%
8	38,2%	0,698	16%	0,297426	-0,285170	104%
9	40%	1,497	17%	0,600868	0,544333	110%
10	50%	0,43	19%	0,166591	0,119000	140%
11	40%	1,56	29%	0,613136	0,325167	189%
12	35%	0,639	30%	0,240668	0,389500	62%
13	30%	0,484	33%	0,194169	0,244167	80%
14	30%	0,37	34%	0,141136	0,165500	85%
15	35%	0,667	35%	0,252521	0,281167	90%
16	30%	0,834	47%	0,330323	0,199167	166%

Согласно проведенным исследованиям, результаты которых представлены в виде графика на рисунке 2.10, коэффициент вариации значений глубин внедрения оказывает значительное влияние на результат определения скорости движения – начиная с 30-35% «разброса» величин глубины внедрения погрешность в установлении скорости движения возрастает и превышает 5%, данное значение погрешности не допускается при проведении ДТЭ, так как не позволяет дать категоричный ответ на поставленный вопрос о скорости движения транспортного средства в момент столкновения.

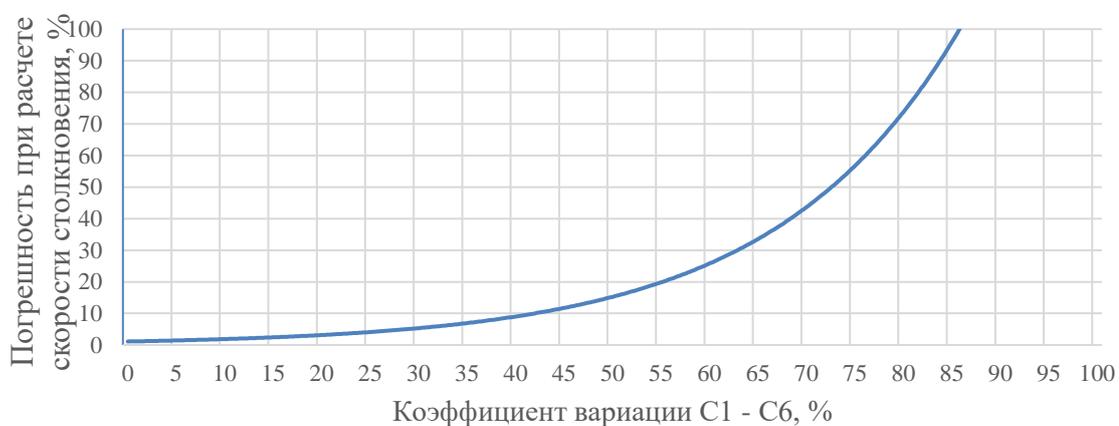


Рисунок 2.10 – Влияние коэффициента вариации измерений глубин внедрений на результаты расчета скорости автомобиля в момент ДТП

Для верификации влияния коэффициента вариации на результат определения скорости из расчетов были исключены значения глубин внедрения, которые имеют наибольшее расхождение с максимально измеренной.

Предлагаемый метод можно описать следующим образом: чтобы определить долю кинетической энергии, которая приходится на развитие объемной деформации ТС в результате автомобильной аварии, необходимо произвести проверку коэффициента вариации (C_v) измерений глубины внедрения на выполнение условия:

$$C_V \leq 35\% \quad (2.29)$$

Если данное требование не выполняется, то следует исключать из расчета значения $C_1 - C_n$ до момента выполнения условия (2.29), так как невыполнение критерия (2.29) влечет за собой существенные ошибки при производстве расчетов.

Алгоритм расчета коэффициента вариации представлен ниже:

$$C_V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (2.30)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение;

μ – среднее арифметическое значение деформации.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (2.31)$$

$$\mu = \frac{\sum C_i}{n} \quad (2.32)$$

где n – количество измеренных глубин внедрения.

В процессе исследования были установлены величины внедрения ($C_1 - C_6$), увеличивающие коэффициент вариации (C_V), и ввиду учета которых его значение превышало 35% – данные точки измерения указаны в таблице 2.4 жирным курсивным шрифтом красного цвета для каждого из изучаемых КСВ.

Исключив «лишние» величины внедрения, был установлен коэффициент вариации оставшихся значений и рассчитана скорость, эквивалентная затратам энергии на развитие остаточных деформаций. Как видно по полученной погрешности (разница между скоростью ТС, установленной при помощи акселерометров, и установленной без учета «выпадающих» величин деформаций) использование методического аппарата с учетом коэффициента вариации привело в достаточной степени к точным результатам расчета.

Таблица 2.4 – Результаты расчета скорости с коэффициентов вариации менее 35%

N п/п	Значения глубин внедрения, м						Скорость ТС, установленная акселерометром, км/ч	Коэффициент вариации	Расчитанная скорость без учета «выпадающих» величин деформаций, км/ч	Погрешность в установлении скорости движения, %
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆				
1	0,059	0,328	0,545	0,747	0,709	0,889	80	20%	80,33	0%
2	0,591	0,541	0,519	0,29	0,152	0,02	56,2	30%	56,72	1%
3	0	0,773	0,6	0,416	0,218	0,083	56	28%	56,44	1%
4	0,248	0,263	0,186	0,108	0,038	0,021	40,1	18%	40,18	0%
5	0,681	0,589	0,533	0,29	0,115	-0,037	56,65	23%	56,97	1%
6	0,469	0,442	0,423	0,263	0,097	-0,071	60	32%	60,70	1%
7	0,3	0,24	0,17	0,096	0,026	-0,043	56,6	27%	57,04	1%
8	0,643	0,573	0,42	0,082	0,055	0,048	40	21%	40,14	0%
9	1,075	1,132	0,835	0,561	0,028	-0,365	64,1	29%	64,92	1%
10	0,257	0,25	0,22	0,125	0,035	-0,173	56,4	29%	56,93	1%
11	0,64	0,804	0,877	0,451	-0,138	-0,683	64,8	27%	65,24	1%
12	0,69	0,588	0,47	0,339	0,199	0,051	90,12	29%	91,38	1%
13	0,478	0,426	0,311	0,186	0,07	-0,006	90,27	21%	90,75	1%
14	0,281	0,328	0,229	0,142	0,055	-0,042	90,02	33%	91,63	2%
15	0,593	0,496	0,363	0,227	0,082	-0,074	90,12	24%	90,75	1%
16	0,374	0,539	0,468	0,198	-0,089	-0,295	90,39	18%	91,58	0%

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%, позволило снизить погрешность результата определения скорости движения до 2%.

Данный результат подтверждает возможность и необходимость применения коэффициента вариации глубин внедрения как инструмента определения 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, а также особенно актуален при исследовании КСВ с частичной деформацией какой-либо части кузова автомобиля [21].

2.2.2 Применение неравного шага замера глубины внедрения при проведении осмотра объекта исследования ДТЭ

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, как это представлено на рисунках 2.1, 2.2 таким образом, что расстояние между точками C_1 и C_2 равно так же, как и между C_2 и C_3 и т.д., то есть $w_i = w_1 = w_2 \dots w_n$, рассчитываемое по формуле (2.6) и используемое далее в формулах (2.7), (2.8) как единое для всех участков измерения. Вероятность ошибки при производстве расчета по данному алгоритму рассмотрена на примере испытания на боковое столкновение с сконцентрированной деформирующей силой (со столбом) автомобиля Audi Q7 (2018 года выпуска, массой 2350 кг), произведенного Национальным управлением безопасностью движения на трассах Министерства Транспорта Соединенных Штатов Америки (США) (National Highway Traffic Safety Administration – NHTSA) [121]. Изображение автомобиля до, в процессе и после КСВ представлено на рисунках 2.11-2.14, а величины образовавшихся деформаций – в таблице 2.5, а также схема измерения глубин внедрения при стандартном подходе представлена на рисунке 2.15.



Рисунок 2.11 – Автомобиль Audi Q7 до КСВ с сконцентрированной деформирующей силой



Рисунок 2.12 – Автомобиль Audi Q7 Prius в начале КСВ



Рисунок 2.13 – Автомобиль Audi Q7 Prius в стадии кульминации КСВ

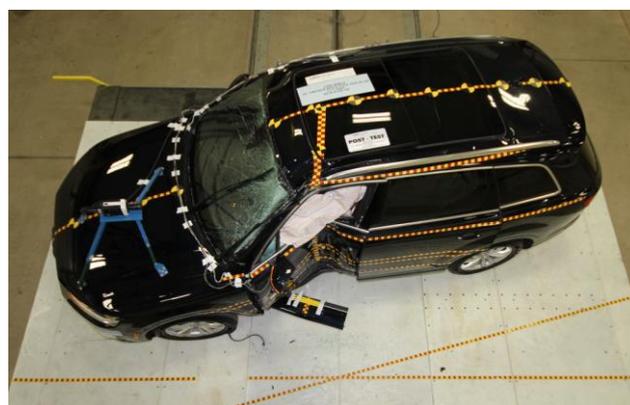


Рисунок 2.14 – Автомобиль Audi Q7 после КСВ с сконцентрированной деформирующей силой

Таблица 2.5 – Результаты измерения деформации при КСВ с концентрированным деформирующим воздействием

Место измерения глубины внедрения относительно центра приложения деформирующей силы	Высота измерения деформации от опорной поверхности, мм					Максимальное внедрение, см	Среднее арифметическое значение, см
	545	726	797	1115	1630		
	Глубина внедрения, см						
-900		-3	3			3	0
-750	-8	-3	0	1		1	-3
-600	11	3	-3	11		11	6
-525	43	42	35			43	40
-450	75	76	72			76	74
-375	108	110	106			110	108
-300	144	146	145	95		146	133
-225	186	189	190	141		190	177
-150	229	232	235	187		235	221

-75	284	295	296	250		296	281
0	322	340	342	296	92	342	278
75	336	363	367	326	91	367	297
150	309	342	346	306	91	346	279
225	263	291	295	253	86	295	238
300	196	227	234	195	78	234	186
375	145	163	171	152	68	171	140
450	102	109	113	109	59	113	98
525	91	93	95	94	52	95	85
600	77	82	85	84	45	85	75
750	69	75	78	79	42	79	69
900	48	57	61	61	33	61	52
1050	24	36	39	43	22	43	33
1200	5	14	17	25	12	25	15
1350	-7	-3	-2	12	8	12	2
1500			-13	-1	6	6	-3

При использовании стандартной «выборки» точек измерения (с равным шагом – пример схемы исследования глубин внедрения при данном подходе представлен на рисунке 2.15) для расчета затраченной энергии на деформацию (и соответствующей данным затратам скорости движения в момент КСВ) наличие погрешности при сравнении с фактической скоростью движения, определенной по данным лабораторного оборудования, установленного на испытуемом автомобиле, отчетливо наблюдается при КСВ с концентрированным деформирующим воздействием, результаты расчетов по стандартному методу представлены в таблице 2.6.

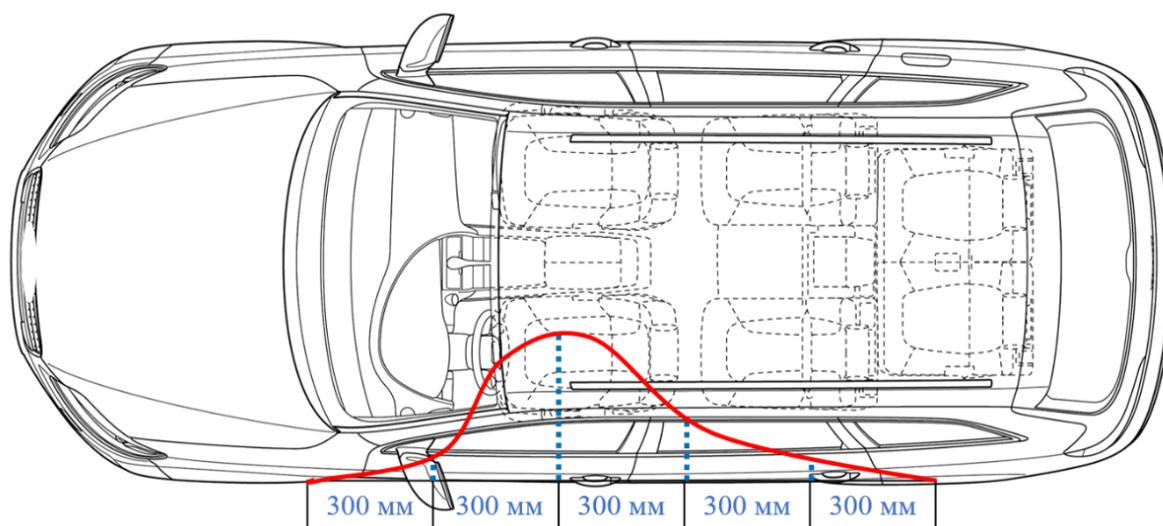


Рисунок 2.15 – Схема участков измерения глубин внедрения с равным шагом

Таблица 2.6 – Результаты расчета скорости движения с равным шагом измерения глубины внедрения в случае КСВ с неполным перекрытием

№ п/п	Автомобиль	Ширина зоны измерения, м	Шаг измерения, м	Скорость, установленная при расчете, км/ч	Фактическая скорость движения в момент столкновения по данным лабораторного оборудования, установленного на автомобиле, км/ч	Погрешность, %
1	Audi Q7	1,5	0,3	21,9	32,3	32,2%
2	Audi Q7	0,75	0,15	43,5	32,3	34,7%
3	Audi Q7	0,375	0,075	47,3	32,3	46,4%
4	Toyota Prius	1,5	0,3	20,8	32,3	35,6%
5	Toyota Prius	0,75	0,15	41,7	32,3	29,1%
6	Toyota Prius	0,375	0,075	48,5	32,3	50,2%
7	Jeep GrandCherokee	1,5	0,3	21,7	32,5	33,2%
8	Jeep GrandCherokee	0,75	0,15	41,9	32,5	28,9%
9	Jeep GrandCherokee	0,375	0,075	46,2	32,5	42,2%
10	Volkswagen Beetle	1,5	0,3	25,1	32,2	22,0%
11	Volkswagen Beetle	0,75	0,15	39,3	32,2	22,0%
12	Volkswagen Beetle	0,375	0,075	45,6	32,2	41,6%
13	Chrysler 300	1,5	0,3	22,2	32,2	31,1%
14	Chrysler 300	0,75	0,15	42,8	32,2	32,9%
15	Chrysler 300	0,375	0,075	46,4	32,2	44,1%
16	Kia K5	1,5	0,3	24,3	32,4	25,0%
17	Kia K5	0,75	0,15	40,7	32,4	25,6%
18	Kia K5	0,375	0,075	43,5	32,4	34,3%
19	Nissan Titan	1,5	0,3	21,8	32,3	32,5%
20	Nissan Titan	0,75	0,15	39,4	32,3	22,0%
21	Nissan Titan	0,375	0,075	41,2	32,3	27,6%
22	Toyota RAV4	1,5	0,3	24,1	32,2	25,2%
23	Toyota RAV4	0,75	0,15	42,3	32,2	31,4%
24	Toyota RAV4	0,375	0,075	45,7	32,2	41,9%
25	Subaru Outback	1,5	0,3	24,6	32,5	24,3%
26	Subaru Outback	0,75	0,15	40,8	32,5	25,5%
27	Subaru Outback	0,375	0,075	42,9	32,5	32,0%
28	Toyota Corolla	1,5	0,3	27,4	32,3	15,2%
29	Toyota Corolla	0,75	0,15	39,7	32,3	22,9%
30	Toyota Corolla	0,375	0,075	43,9	32,3	35,9%

Как видно из таблицы 2.6, погрешность определения скорости варьируется при концентрированных ударах от 15% до 50%, данные результаты недопустимы, и алгоритмы, используемые при таких расчетах, не могут быть использованы для проведения дорожно-транспортных экспертиз.

Разработанный метод предполагает использование неравномерного шага для производства измерений деформаций автомобиля после ДТП. При оценке скорости движения в момент столкновения по объемным повреждениям транспортных средств, образовавшихся в результате действия сконцентрированной деформирующей силы с предлагаемым неравным шагом, данную погрешность возможно снизить до 5 % – апробация предлагаемого метода произведена на основе анализа результатов испытаний автомобилей на столкновение, произведенных NHTSA [121]. На примере КСВ с участием автомобиля Audi Q7 шаг для измерения глубины внедрения деформаций рассчитывался согласно графику, представленному на рисунке 2.16. Данный график демонстрирует профиль деформации на разных уровнях.

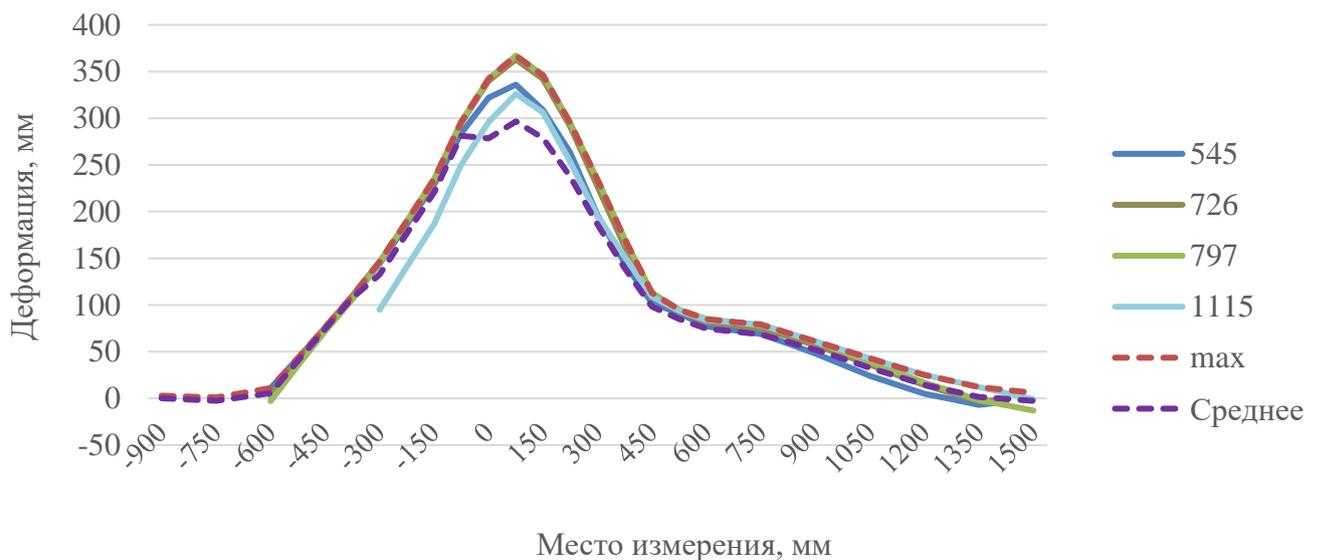


Рисунок 2.16 – График деформации автомобиля Audi Q7 при концентрированном ударе

Исходя из изменения кривой (рисунок 2.16), демонстрирующей профиль деформаций на 5 уровнях, а также усредненный деформированный профиль и максимальные глубины внедрения, были определены характерные участки, которые использовались для определения границ участков измерения с неравным шагом по схеме, представленной на рисунке 2.17. Также при использовании

неравного шага логично разделять зону непосредственного контакта на участки, жесткость внутри которых предполагается гомогенной (одинаковой).

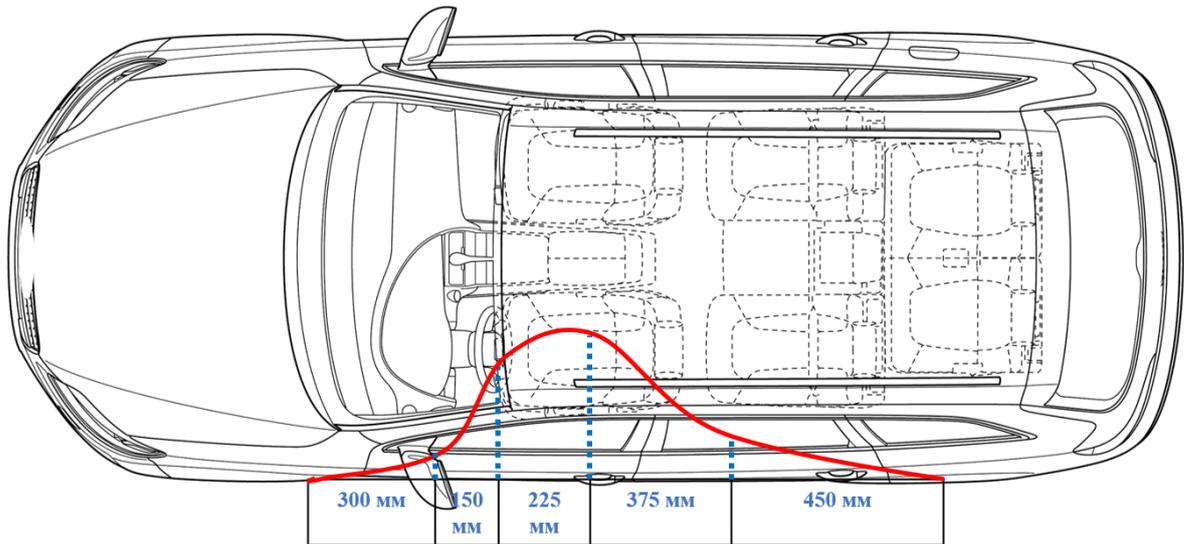


Рисунок 2.17 – Схема участков измерения глубин внедрения с неравным шагом

Таким образом ширина участков измерения составила:

1. $w_1 = C_1(-600 \text{ мм}) - C_2(-300 \text{ мм}) = 300 \text{ мм}$
2. $w_2 = C_2(-300 \text{ мм}) - C_3(-150 \text{ мм}) = 150 \text{ мм}$
3. $w_3 = C_3(-150 \text{ мм}) - C_4(075 \text{ мм}) = 225 \text{ мм}$
4. $w_4 = C_4(075 \text{ мм}) - C_5(450 \text{ мм}) = 375 \text{ мм}$
5. $w_5 = C_5(450 \text{ мм}) - C_6(900 \text{ мм}) = 450 \text{ мм}$

В таблице 2.7 представлены результаты расчета скорости движения в момент КСВ с неравным шагом измерения полученных деформаций. Ширина участков измерения была установлена согласно графику глубин внедрения, аналогичным изображенному на рисунке 2.17.

Таблица 2.7 – Результаты расчетов скорости с неравным шагом измерения глубины внедрения при КСВ с сконцентрированной силой деформации

№ п/п	Автомобиль	Ширина зоны измерения, м	Шаг измерения	Скорость, установленная при расчете, км/ч	Фактическая скорость движения в момент столкновения по данным лабораторного оборудования, установленного на автомобиле, км/ч	Погрешность, %
1	Audi Q7	1,5	неравный	33,9	32,3	5
2	Toyota Prius	0,75	неравный	30,7	32,3	5
3	Jeep GrandCherokee	1,5	неравный	33,7	32,5	3,9
4	Volkswagen Beetle	0,75	неравный	30,8	32,2	4,3
5	Chrysler 300	0,75	неравный	31,1	32,2	3,4
6	Kia K5	0,75	неравный	30,9	32,4	4,6
7	Nissan Titan	1,5	неравный	33,8	32,3	4,6
8	Toyota RAV4	0,75	неравный	30,7	32,2	4,7
9	Subaru Outback	1,5	неравный	32,9	32,5	1,2
10	Toyota Corolla	0,75	неравный	31,1	32,3	3,7

Как видно из таблицы 2.7 результаты расчета скорости движения автомобилей, участвовавших в испытании с сконцентрированным деформирующим воздействием, с применением метода неравного шага при измерении глубин внедрения доказывают высокую эффективность использования такого подхода – погрешность в определении скорости движения не превышает 5% относительно установленной лабораторным оборудованием. Таким образом, была подтверждена высокая точность расчетов, производимых с применением предлагаемого метода.

2.3 Исследование закономерностей изменения коэффициентов жесткости автомобилей категории М₁ в зависимости от года выпуска и в соответствии с классификацией Euro NCAP

На сегодняшний день 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 встречается классификация, используемая в США, Великобритании, РФ и Евросоюзе. Для сравнения эти системы удобно представить в виде таблицы 2.8.

Таблица 2.8 – Классификация легковых автомобилей

Страна					Примеры
США	Великобритания	РФ	Европейская комиссия	Euro NCAP	
Нормативный документ					
Title 40- Protection of Environment , Section 600.315-82 Classes of comparable automobiles	ISO 3833-1977	ОН 025270-66	Case No COMP/M.1406 HYUNDAI / KIA REGULATION (EEC) No 4064/89 MERGER PROCEDURE		
Microcar	Microcar, Bubble car	Мотоколяска			Isetta, Smart Fortwo, Oka, Cherry Qq
Subcompact car	City car	Городской автомобиль	А-класс	Supermini	Chevrolet Spark, Ford Ka, Peugeot 107, Opel Agila, Kia Picanto, Daewoo Matiz, Hyundai I10, Kia Picanto
	Supermini	Малый класс	В-класс		Volkswagen Polo, Ford Fiesta, Opel Corsa, Kia Rio, Chevrolet Aveo Lanos, Peugeot 208, Renault Logan
Compact car	Small family car	Гольф-класс	С-класс	Small family car	Volkswagen Golf, Ford Focus, Peugeot 307/308, Opel Astra, Hyundai Elantra, Honda Civic, Bmw 1, Ford Escort, Austin Allegro, Opel Kadett, Fiat 124, Citroen Gs, Nissan Cherry, Toyota Corolla
		Малый средний			
Mid-size car	Large family car	Средний класс	D-класс	Large family car	Volkswagen Passat, Ford Mondeo, Peugeot 508, Opel Insignia, Hyundai Sonata, Peugeot 504, Audi A5
Entry-level luxury car	Compact executive car				Audi A4, BMW 3, Mercedes-Benz C-Класс, Волга 31105, Audi A4, Volkswagen Passat, Ford Fusion, Chevrolet Malibu,
Full-size car	Executive car	Полноразмерный а/м	Е-класс	Executive car	Ford Crown Victoria, Chevrolet Impala, Holden Commodore, Dodge Charger, Chrysler 300
Mid-size luxury car		Бизнес-класс			Audi A6, BMW 5, Mercedes-Benz E-Класс, Ford Scorpio, Saab 9-5, Lexus GS
Full-size luxury car	Luxury car	Представительский класс	F-класс	—	Audi A8, BMW 7, Mercedes-Benz S-Класс, Hyundai Genesis
Sports car	Sports car	Спорткар	S-класс	—	Chevrolet Corvette, Porsche 911, Chevrolet Camaro, Ford Mustang, Dodge Challenger, Mazda Rx-8, Toyota Celica
Grand tourer	Grand tourer	Гран туризмо			—

Supercar	Supercar	Суперкар		—	Bugatti Veyron, Pagani Zonda, Audi R8, Ferrari F355, Porsche 911, Chevrolet Corvette
Convertible	Convertible	Кабриолет		—	Volkswagen Eos, Mercedes-Amg Gt Roadster, Chevrolet Corvette Zr1, Ferrari Portofino, Aston Martin Vanquish S Volante, Rolls-Royce Dawn, Mini Cabrio
Roadster	Roadster	Родстер		Roadster sports	Audi TT, Porsche Boxster, BMW Z3, Opel Speedster, Mazda MX-5, Honda S2000, Smart Roadster, BMW Z4, Jaguar F-Type
—	Leisure activity vehicle	—	М-класс	Small MPV	Peugeot Partner, Škoda Roomster, Citroën Berlingo, Fiat Doblò, Opel Combo, Renault Kangoo
—	Mini MPV	Микровэн			Ford B-Max, Opel Meriva, Honda Fit, Fiat 500l, Volkswagen Caddy
Compact minivan	Compact MPV, Midi MPV	Компактвэн			Ford C-Max, Opel Zafira, Volkswagen Touran, Renault Scenic
Minivan	Large MPV	Минивэн		Large MPV	Ford Galaxy, Mazda 5, Mazda Mpv
Mini SUV	Mini 4×4	—	J-класс	Small Off-Road 4×4	Daihatsu Terios, Mitsubishi Pajero Io, Suzuki Jimny, Nissan Juke, Kia Soul
Compact SUV	Compact 4×4	Компактный кроссовер			—
—	Coupe SUV	Внедорожное купе		Large Off-Road 4×4	Bmw X5, Jeep Grand Cherokee, Volkswagen Touareg, Ford Explorer, Honda Pilot, Audi Q7
Mid-size SUV	Large 4×4	Средний внедорожник			Cadillac Escalade, Chevrolet Suburban, Range Rover, Toyota Land Cruiser, Bmw X7, Land Rover Defender, Mercedes-Benz G-Класс/GL-Класс/GLS, Mitsubishi Pajero, Nissan Pathfinder/Patrol
Full-size SUV		Тяжёлый внедорожник			
Мини-пикап	Пикап	Пикап	-	Pick-up	Chevrolet Montana, Fiat Strada, Volkswagen Saveiro
Mid-size pick-up					Chevrolet Colorado, Ford Ranger, Volkswagen Amarok
Full-size pick-up					Dodge Ram, Ford F-150, Gmc Sierra, Nissan Titan, Toyota Tundra, Cadillac Escalade Ext,
Giant pick-up					Chevrolet Silverado, Ford Super Duty, Ram Heavy Duty, Ford F-650

Автомобили разных классов и подклассов имеют отличающиеся технические и эксплуатационные параметры, которые и определяют их принадлежность к соответствующему сегменту. Очевидно, что автомобили, относящиеся к одному и тому же классу, имеют схожие, если не одинаковые, характеристики [4, 52, 69, 86, 106, 118, 123, 126].

В существующей справочной литературе представлены сведения о жесткости «оболочки» конструкции автомобиля с разделением по его колесной базе и массе.

Данная классификация безвозвратно устарела ввиду развития автомобилестроения и появления разительно новых, ранее не производимых автомобилей различного назначения, конструкции, класса, но, в то же время, с такими схожими показателями, как масса и колесная база. В связи с чем, для современного экспертного мирового сообщества необходимо предусмотреть разделение автомобилей не по массе и базе, а уже по существующей классификации Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme). Если дословно, то Euro NCAP переводиться на русский язык как Европейская программа оценки новых автомобилей, но на самом деле это европейский комитет по проведению независимых краш-тестов автомобилей с оценкой их активной и пассивной безопасности [52].

Таким образом, исследуя поведение автомобилей и их конструкций в рамках испытаний на столкновение, проводимых Euro NCAP и NHTSA, возможно регламентировать жесткостные характеристики для каждого класса и использовать эти значения с целью проведения реконструкции ДТП с получением объективного ответа экспертом, не имеющим возможности, по различным причинам, провести дорогостоящие следственные действия и конечно-элементное моделирование дорожно-транспортной ситуации. В связи с чем, для повышения качества проведения экспертизы и реконструкции ДТП были подробно исследованы жесткостные характеристики автомобилей категории M₁.

Как отмечено выше, Euro NCAP подразумевает разделение автомобилей на следующие 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. Но необходимо уточнить, что жесткость автомобилей внутри класса также может отличаться, в первую очередь это связано с развитием металлургии и использованием новейших металлических сплавов в процессе истории развития автомобилестроения таким образом, что одна и та же модель автомобиля, выпущенная в 1998 и 2015 годах будет иметь значительную разницу жесткостных характеристик кузова.

Для установления коэффициента Гука и модуля упругости I рода автомобилей категории M_1 согласно классификации Euro NCAP было проанализировано и изучено порядка 8 000 краш-тестов автомобилей 1980-2020 годов выпуска. В результате системного анализа данной работы были построены графики, представленные на рисунках 2.18-2.21. Каждый график характеризует изменение коэффициента Гука и модуля упругости I рода для фронтальной и боковой частей кузова автомобилей класса Small MPV в зависимости от года выпуска, аналогичные графики были построены для каждого класса и представлены в Приложении Б.

Множества точек, полученные по данным краш-тестов, в результате анализа и аппроксимации (значение которой на графиках обозначается « R^2 ») позволили построить линии тренда для каждого графика с высокой степенью точности. Таким образом, возможно охарактеризовать жесткость различных классов автомобилей определив для каждого уравнение, описывающее распределение изменения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода в зависимости от года выпуска автомобиля.

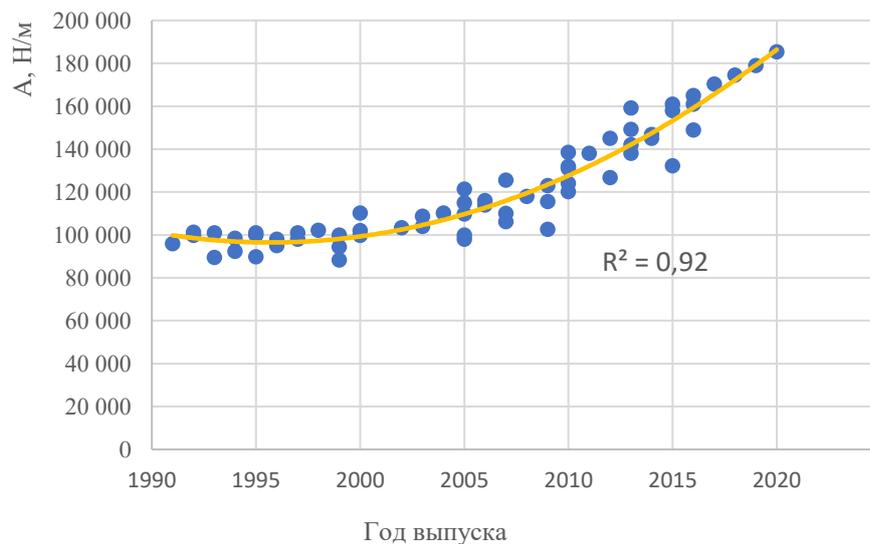


Рисунок 2.18 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

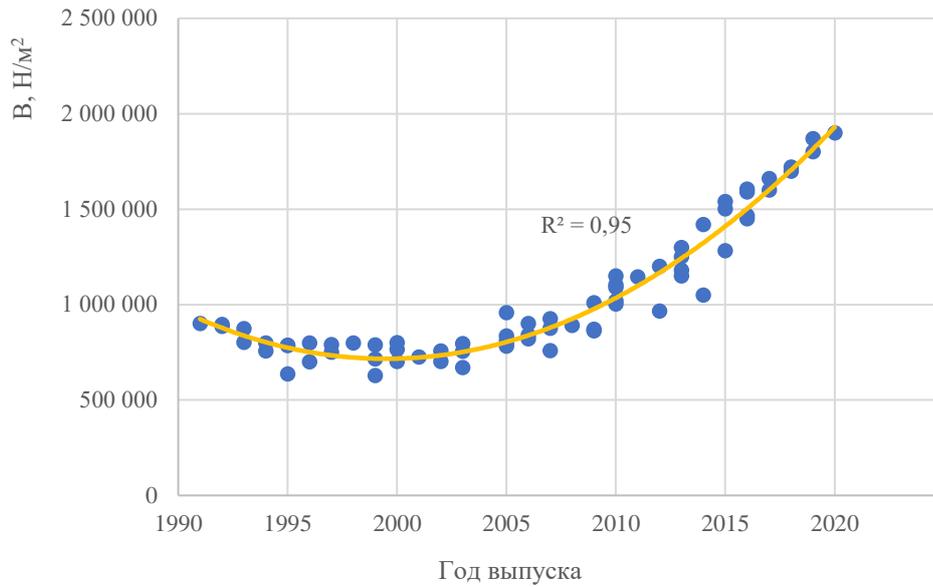


Рисунок 2.19 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

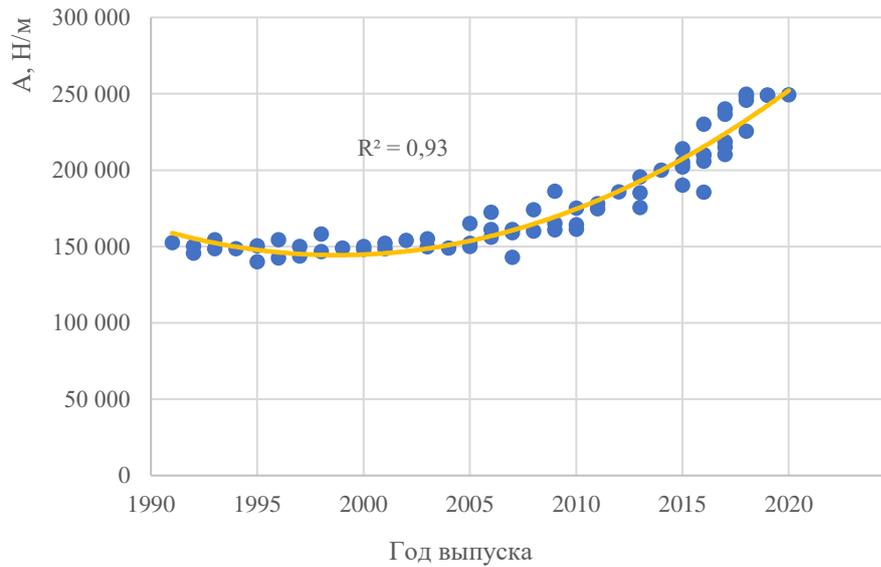


Рисунок 2.20 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

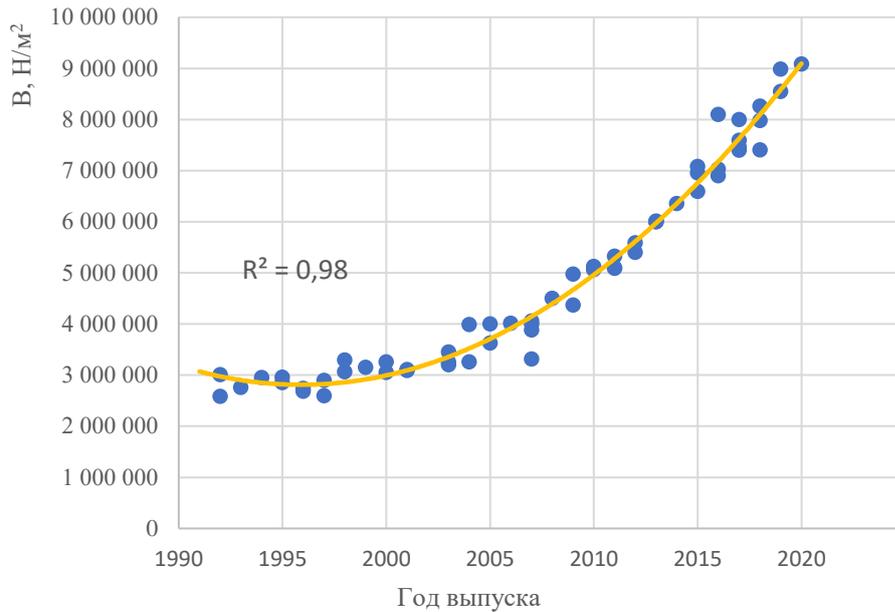


Рисунок 2.21 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобиля класса Small MPV в зависимости от года выпуска

В результате были определены закономерности изменения коэффициентов жесткости в зависимости от класса автомобиля категории M_1 и года его выпуска, а также разработаны уравнения, характеризующие изменение распределения коэффициентов Гука и модуля упругости I рода (Юнга) в соответствии с классификацией Euro NCAP и с учетом развития свойств конструкционных материалов, используемых в автомобилях – результаты данного исследования представлены в таблицах 2.9-2.12.

Таблица 2.9 – Уравнения определения коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей категории M_1 в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс ТС	Уравнения определения коэффициента Гука
Supermini	$A = -123,74x^2 + 497\,850,60x - 500\,628\,893,06$
Small family car	$A = -25,73x^2 + 105\,367,11x - 107\,729\,446,73$
Large family car	$A = 21,38x^2 - 84\,419,99x + 83\,404\,825,14$
Executive car	$A = 6,40x^2 - 24\,718,30x + 23\,932\,245,72$
Roadster sports	$A = 21,71x^2 - 85\,161,54x + 83\,563\,993,59$
Small MPV	$A = 152,18x^2 - 607\,426,72x + 606\,214\,097,84$
Large MPV	$A = 171,07x^2 - 682\,354,81x + 680\,519\,468,52$
Small Off-Road 4×4	$A = 29,10x^2 - 114\,690,41x + 113\,096\,496,51$
Large Off-Road 4×4	$A = -62,21x^2 + 251\,869,39x - 254\,767\,887,10$
Pick-up	$A = 261,02x^2 - 1\,040\,012,49x + 1\,036\,054\,627,55$
x – год выпуска автомобиля	

Таблица 2.10 – Уравнения определения модуля упругости I рода (Юнга) фронтальной части кузова автомобилей категории M_1 в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс ТС	Уравнения модуля упругости I рода (Юнга)
Supermini	$B = -1\,168,66x^2 + 4\,705\,293,11x - 4\,735\,230\,868,61$
Small family car	$B = -196,58x^2 + 799\,917,32x - 812\,817\,044,84$
Large family car	$B = 954,21x^2 - 3\,810\,101,37x + 3\,804\,076\,677,34$
Executive car	$B = 1\,015,68x^2 - 4\,054\,733,55x + 4\,047\,420\,768,29$
Roadster sports	$B = -789,79x^2 + 3\,170\,535,53x - 3\,181\,213\,554,52$
Small MPV	$B = 2\,881,55x^2 - 11\,523\,211,15x + 11\,520\,953\,997,00$
Large MPV	$B = 2\,434,54x^2 - 9\,717\,498,59x + 9\,697\,556\,312,75$
Small Off-Road 4×4	$B = 1\,515,69x^2 - 6\,067\,409,01x + 6\,073\,007\,364,79$
Large Off-Road 4×4	$B = -793,41x^2 + 3\,195\,211,16x - 3\,216\,009\,344,17$
Pick-up	$B = 3\,726,69x^2 - 14\,861\,656,44x + 14\,817\,170\,394,53$
x – год выпуска автомобиля	

Таблица 2.11 – Уравнения определения коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей категории М₁ в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс ТС	Уравнения определения коэффициента Гука
Supermini	$A = 69,65x^2 - 274\,003,84x + 269\,492\,604,57$
Small family car	$A = -21,31x^2 + 90\,341,27x - 95\,322\,754,80$
Large family car	$A = -28,17x^2 + 119\,911,94x - 126\,959\,964,18$
Executive car	$A = -150,40x^2 + 612\,619,58x - 623\,503\,268,47$
Roadster sports	$A = 375,73x^2 - 1\,496\,244,97x + 1\,489\,760\,059,23$
Small MPV	$A = 239,23x^2 - 956\,330,16x + 955\,887\,387,48$
Large MPV	$A = -357,96x^2 + 1\,435\,428,41x - 1\,438\,873\,549,35$
Small Off-Road 4×4	$A = 436,08x^2 - 1\,740\,959,88x + 1\,737\,733\,197,73$
Large Off-Road 4×4	$A = -121,58x^2 + 494\,436,77x - 502\,325\,374,44$
Pick-up	$A = 118,42x^2 - 473\,594,90x + 473\,661\,704,52$
x – год выпуска автомобиля	

Таблица 2.12 – Уравнения определения модуля упругости I рода (Юнга) боковой части кузова автомобилей категории М₁ в соответствии с классификацией Euro NCAP

Класс ТС	Уравнения модуля упругости I рода (Юнга)
Supermini	$B = 7\,845,15x^2 - 31\,296\,898,69x + 31\,214\,866\,190,63$
Small family car	$B = 4\,380,84x^2 - 17\,436\,058,77x + 17\,351\,598\,589,77$
Large family car	$B = -1\,525,46x^2 + 6\,334\,909,79x - 6\,565\,029\,378,50$
Executive car	$B = 639,38x^2 - 2\,277\,983,60x + 2\,000\,697\,652,34$
Roadster sports	$B = 10\,974,47x^2 - 43\,638\,850,78x + 43\,384\,174\,650,28$
Small MPV	$B = 10\,807,01x^2 - 43\,139\,200,84x + 43\,053\,345\,132,82$
Large MPV	$B = -4\,546,69x^2 + 18\,247\,176,29x - 18\,304\,628\,751,62$
Small Off-Road 4×4	$B = 20\,475,24x^2 - 81\,778\,120,71x + 81\,657\,390\,094,59$
Large Off-Road 4×4	$B = 8\,912,00x^2 - 35\,597\,655,69x + 35\,551\,869\,141,85$
Pick-up	$B = 12\,615,56x^2 - 50\,731\,213,45x + 51\,004\,538\,677,04$
x – год выпуска автомобиля	

2.4 Использование 3D моделирования для определения деформаций автомобилей, полученных в результате ДТП

При изучении деформаций транспортных средств, возникших в результате ДТП, перспективно использование 3D-моделирования кузова автомобиля как для повышения качества дорожно-транспортных экспертиз, так и для снижения времени, затрачиваемого на их производство.

Алгоритм выполнения 3D-моделирования деформированного автомобиля целесообразно представить следующим образом (на примере а/м Hyundai Veloster):

1) Фотофиксация поврежденного автомобиля и его деформаций (рисунок 2.22 -2.23).



Рисунок 2.22 – а/м Hyundai Veloster с деформациями, полученными в результате ДТП



Рисунок 2.23 – а/м Hyundai Veloster с деформациями, полученными в результате ДТП

2) Экспликация точек замера от вертикальной плоскости, использованных в исследовании прямой контактной зоны (локализаций деформаций) – представлена на рисунке 2.24 (красными линиями показаны контрольные линии высоты замера, сетка 5 x 5 см совмещена по верхним контрольным высотам).



Рисунок 2.24 – Экспликация точек замера от вертикальной плоскости

3) Создание 3D-модели кузовных элементов исследуемого автомобиля без повреждений (рисунки 2.25 - 2.26).

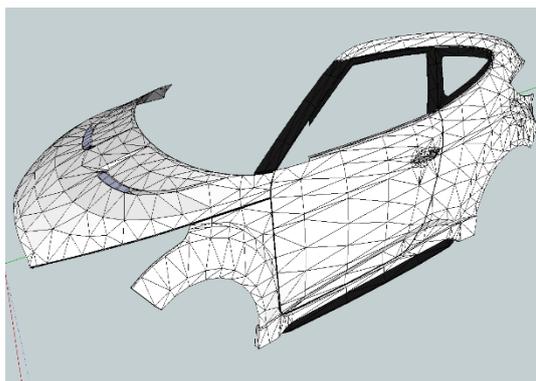


Рисунок 2.25 – Общий вид 3D-модели кузовных элементов прямой контактной зоны а/м Hyundai Veloster, в недеформированном состоянии

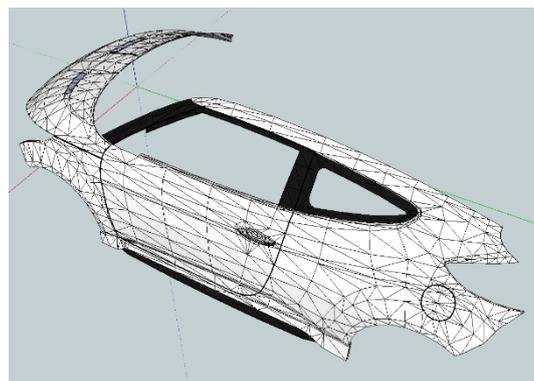


Рисунок 2.26 – Общий вид 3D-модели кузовных элементов прямой контактной зоны а/м Hyundai Veloster, в недеформированном состоянии

4) Создание 3D-модели поврежденных кузовных элементов для измерения глубин внедрения, образовавшихся в результате ДТП (рисунки 2.27 - 2.28).

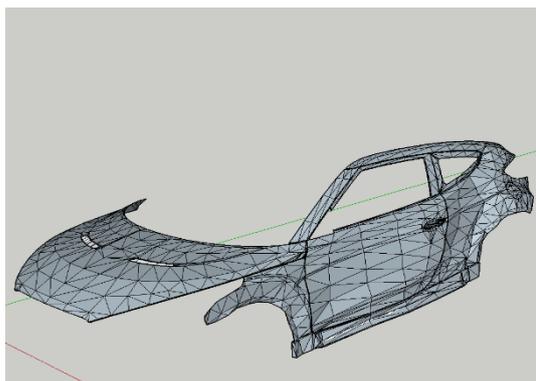


Рисунок 2.27 – Общий вид 3D-модели кузовных элементов прямой контактной зоны а/м Hyundai Veloster, в деформированном состоянии.

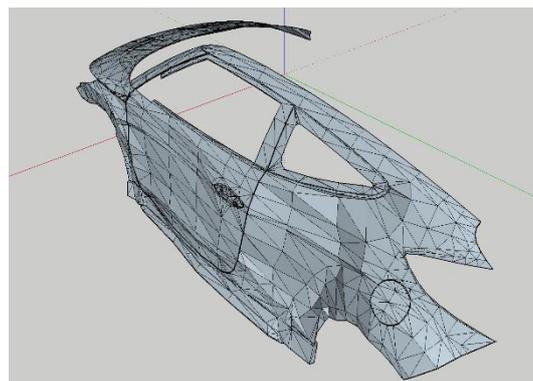


Рисунок 2.28 – Общий вид 3D-модели кузовных элементов прямой контактной зоны а/м Hyundai Veloster, в деформированном состоянии.

5) Измерение деформаций 3D-модели поврежденного автомобиля, в результате которого были установлены значения глубин внедрения (представленные в таблице 2.13). С учетом полученных данных, представляется возможным установить величину затрат кинетической энергии на деформацию и скорость столкновения, эквивалентную данным затратам (таблица 2.13).

Таблица 2.13 – Результаты ДТЭ, полученные с использованием 3D-моделирования поврежденного автомобиля

№ п/п	Показатель	Значение	Ед. измерения
1	Ширина зоны исследуемой деформации	2,670	Метр
2	Глубина внедрения в точке С ₁	0,290	Метр
3	Глубина внедрения в точке С ₂	0,270	Метр
4	Глубина внедрения в точке С ₃	0,260	Метр
5	Глубина внедрения в точке С ₄	0,240	Метр
6	Глубина внедрения в точке С ₅	0,210	Метр
7	Глубина внедрения в точке С ₆	0,180	Метр
8	Работа сил на деформацию первичной контактной зоны	136 268,2	Джоуль
9	Скорость движения в момент КСВ	51,2	Км/ч

Таким образом, была определена возможность использования 3D-моделирования автомобилей, получивших повреждения в результате ДТП, для оценки их скорости в момент ДТП. Данный алгоритм также возможно усовершенствовать путем объединения процедур фотографирования, экспликации точек замера и создания 3D-модели кузова автомобиля благодаря использованию технологии Lidar – метода определения дальности (переменного расстояния) путем наведения на объект лазера и измерения времени, в течение которого отраженный свет возвращается в приемник, объединяющего в себе 3D и лазерное сканирование. Возможность использования данного метода экспериментально подтверждена и представлена в главе 3 диссертационного исследования [25, 57].

2.5 Апробация и оценка достоверности результатов исследований посредством анализа испытаний автомобилей категории М₁ на столкновение

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, проводимых NHTSA [121].

Процесс апробации представлен на примере изучения результатов краш-теста, в котором автомобиль Toyota RAV4 подвергается испытанию на фронтальное столкновение. Изображение автомобиля до, в момент и после испытания представлено на рисунках 2.29-2.34. Задачей исследования являлось определение сил, затраченных на деформацию, и эквивалентной данным затратам скорости движения автомобиля с использованием полученных в диссертационном исследовании зависимостей, и сравнение результата расчета с фактической скоростью в момент столкновения, определённой при помощи акселерометров, установленных на испытуемом автомобиле.



Рисунок 2.29 – Автомобиль Toyota RAV4 до проведения испытания на фронтальное столкновение



Рисунок 2.30 – Автомобиль Toyota RAV4 в начале КСВ



Рисунок 2.31 – Автомобиль Toyota RAV4 в момент кульминации испытания на фронтальное столкновение



Рисунок 2.32 – Автомобиль Toyota RAV4 после проведения испытания на фронтальное столкновение



Рисунок 2.33 – Автомобиль Toyota RAV4 после проведения испытания на фронтальное столкновение



Рисунок 2.34 – Автомобиль Toyota RAV4 после проведения испытания на фронтальное столкновение

Данные, необходимые для расчета скорости движения в момент КСВ по полученным деформациям, представлены в таблице 2.14, согласно отчету о проведении испытания автомобиля Toyota RAV4.

Таблица 2.14 – Сведения, представленные в отчете о проведении испытания автомобиля Toyota RAV4

№ п/п	Показатель	Значение	Ед. измерения
1	Ширина зоны исследуемой деформации	1 427	мм
2	Глубина внедрения в точке С ₁	307	мм
3	Глубина внедрения в точке С ₂	352	мм
4	Глубина внедрения в точке С ₃	350	мм
5	Глубина внедрения в точке С ₄	348	мм
6	Глубина внедрения в точке С ₅	338	мм
7	Глубина внедрения в точке С ₆	250	мм
8	Масса автомобиля	1 790	кг
9	Угол направления приложения приведенной деформирующей силы	0	град.
10	Скорость в момент КСВ, зафиксированная лабораторным оборудованием, установленным на автомобиле	56,3	км/ч
11	Год выпуска автомобиля	2019	-

Используя зависимости, установленные в диссертационной работе, коэффициент Гука для автомобиля класса Small Off-Road 4×4, к которому согласно классификации Euro NCAP относится Toyota RAV4, выпущенный в 2019 году, составляет:

$$A = 29,1 \times 2019^2 - 114\,690,41 \times 2019 + 113\,096\,496,51 = 158\,663,8 \text{ Н/м}$$

В свою очередь, модуль упругости I рода равен:

$$B = 1\,515,69 \times 2019^2 - 6\,067\,409,01 \times 2019 + 6\,073\,007\,364,79 = \\ = 1\,408\,177,7 \text{ Н/м}^2$$

Затраты кинетической энергии на развитие объемной деформации автомобиля Toyota RAV4, установленные согласно действующему расчетному методу с использованием разработанных коэффициентов жесткости составили:

$$E_d = 285,4 \times \left(\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{352^3 - 307^3}{352 - 307} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (352 + 307) + 8936,6 \right) \\ + (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left(\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{350^3 - 352^3}{350 - 352} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (350 + 352) + 8938,6 \right) \\ \times (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left(\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{348^3 - 350^3}{348 - 350} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (348 + 350) + 8938,6 \right) \\ \times (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left(\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{338^3 - 348^3}{338 - 348} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (338 + 348) + 8938,6 \right) \\ \times (1 + \tan 0) + 285,4 \times \left(\frac{1408177,7}{6} \times \left(\frac{250^3 - 338^3}{250 - 338} \right) + \frac{158663,8}{2} \times (250 + 338) + 8938,6 \right) \\ \times (1 + \tan 0) = 200443,8$$

Соответственно, эквивалентная установленным затратам кинетической энергии скорость равна:

$$V_A = 3,6 \times \sqrt{\frac{2 \times 200\,443,8}{1\,790}} = 53,9 \text{ км/ч}$$

Таким образом разница скорости движения, рассчитанной по предлагаемому алгоритму, и зафиксированной акселерометрами автомобиля составила 56,3 км/ч – 53,9 км/ч = 2,4 км/ч, что соответствует погрешности в 4,2 %, чем подтверждается точность произведенных расчетов с использованием значений коэффициента Гука и модуля упругости I рода, установленных согласно зависимостям, разработанным в диссертационном исследовании.

Данный результат подтверждается апробацией на значительном количестве краш-тестов, выступающих в качестве доказательства высокой эффективности предлагаемых зависимостей характеристик жесткости в соответствии с годом выпуска автомобиля и классификации Euro NCAP: выдержка произведенного

анализа представлена в таблице 2.15, погрешность в установлении скорости по результатам апробации не превышает 5% относительно скорости, зафиксированной лабораторным оборудованием, установленным на испытуемом автомобиле. В следствие чего, можно заключить, что предлагаемая в рамках исследования математическая модель является эффективной и высокоточной.

Таблица 2.15 – Результаты сравнения скорости движения, зафиксированной лабораторным оборудованием, установленном на испытуемом автомобилей и эквивалентной скорости движения, рассчитанной по предлагаемой методике оценки кинетических затрат энергии на развитие объемных деформаций

№ п/п	Марка, модель тестового автомобиля	Класс автомобиля	Год выпуска	Вид испытания	Фактическая скорость движения в момент КСВ по данным лабораторного оборудования, установленного на автомобиле, км/ч	Скорость движения в момент КСВ, установленная по разработанному алгоритму, км/ч	Погрешность
1	Dodge Caravan	Large MPV	1994	фронтальное	46,6	47,7	2,5%
2	Toyota Camry	Executive car	1995	фронтальное	47,7	48,7	2,0%
3	Mazda MX-5	Roadster sport	1996	фронтальное	56,5	55,5	1,8%
4	Honda Accord	Large family car	1998	фронтальное	56,6	55,8	1,4%
5	Dodge Caravan	Large MPV	1999	фронтальное	56,3	55,2	2,0%
6	Daewoo Lanos	Supermini	2000	боковое	52,9	51,6	2,4%
7	Toyota Tundra	Pick-up	2001	фронтальное	56,3	57,2	1,5%
8	Ford Escape	Small Off-Road 4×4	2001	фронтальное	48,2	49,1	1,9%
9	Volvo S80	Executive car	2001	фронтальное	56,0	54,3	3,0%
10	Honda Civic	Small family car	2001	боковое	61,3	63,1	3,0%
11	Toyota Tundra	Pick-up	2002	боковое	61,8	60,4	2,3%

12	Ford Focus	Small family car	2002	фронтальное	56,0	56,0	0,0%
13	Mercedes-Benz E320	Executive car	2003	фронтальное	56,7	55,9	1,3%
14	Subaru Legacy	Large family car	2003	боковое	62,0	61,5	0,9%
15	Jeep Grand Cherokee	Large Off-Road 4×4	2005	боковое	62,0	63,9	3,1%
16	Jeep Grand Cherokee	Large Off-Road 4×4	2005	фронтальное	56,8	55,5	2,3%
17	Toyota RAV4	Small Off-Road 4×4	2006	боковое	62,1	59,5	4,2%
18	Hyundai Sonata	Large family car	2006	фронтальное	39,8	40,8	2,4%
19	Toyota Prius	Small family car	2006	фронтальное	56,2	57,3	2,1%
20	Kia Sportage	Small Off-Road 4×4	2007	боковое	62,3	60,8	2,3%
21	Chevrolet Aveo	Supermini	2007	боковое	61,6	64,0	3,8%
22	Kia Rio	Supermini	2007	фронтальное	56,0	54,8	2,1%
23	Bmw X5	Large Off-Road 4×4	2008	фронтальное	56,3	55,6	1,3%
24	Mazda 5	Large MPV	2008	боковое	62,4	63,2	1,3%
25	Kia Soul	Small Off-Road 4×4	2010	фронтальное	56,6	57,4	1,5%
26	Honda Pilot	Large Off-Road 4×4	2011	боковое	61,8	64,2	4,0%
27	Toyota Camry	Executive car	2011	боковое	62,3	62,8	0,9%
28	Volkswagen Jetta	Small family car	2011	фронтальное	56,3	55,4	1,7%
29	Kia Rio	Supermini	2012	фронтальное	56,3	56,9	1,1%
30	Chevrolet Cruze	Small family car	2013	фронтальное	56,2	54,6	2,8%
31	Toyota Tundra	Pick-up	2015	фронтальное	56,3	58,9	4,7%
32	Tesla Model X	Large Off-Road 4×4	2017	фронтальное	56,3	58,4	3,6%
33	Cadillac Escalade	Large Off-Road 4×4	2017	фронтальное	56,3	57,9	2,8%
34	Kia Sportage	Small Off-Road 4×4	2017	боковое	61,5	61,8	0,4%
35	Audi A6	Executive car	2019	боковое	62,0	63,1	1,7%

Выводы по главе 2

1. Произведен анализ существующих методик и расчетно-методического аппарата реконструкции и экспертизы ДТП, и определены направлений их совершенствования.

2. Установлено, что 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.

3. Произведены статистические исследования по формированию структуры и разработке базы данных по жест костным характеристикам фронтальной и боковой частей кузова автомобилей.

4. Разработаны зависимости, описывающие изменение значений коэффициента Гука и модуля упругости I рода кузовов автомобилей, классифицированных в соответствии с правилами Euro NCAP и выпущенных в период с 1990-2020 гг., что обосновано развитием металлургии и использованием новейших металлических сплавов при их производстве.

5. Разработаны метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев нецентральных КСВ с неполным перекрытием и метод создания 3D-моделей поврежденных автомобилей с использованием Lidar-технологии для производства измерений деформаций, полученных автомобилем в результате ДТП.

6. На основе анализа результатов испытаний серийных автомобилей на фронтальный и боковой удар подтверждена высокая точность результатов расчета по разработанным методам и алгоритмам.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТС МЕЖДУ СОБОЙ И/ИЛИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ДТП

3.1 Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы

На основании полученных результатов исследования и общепринятых алгоритмов была 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 3.1 представлен алгоритм проведения ДТЭ по разработанной методике.

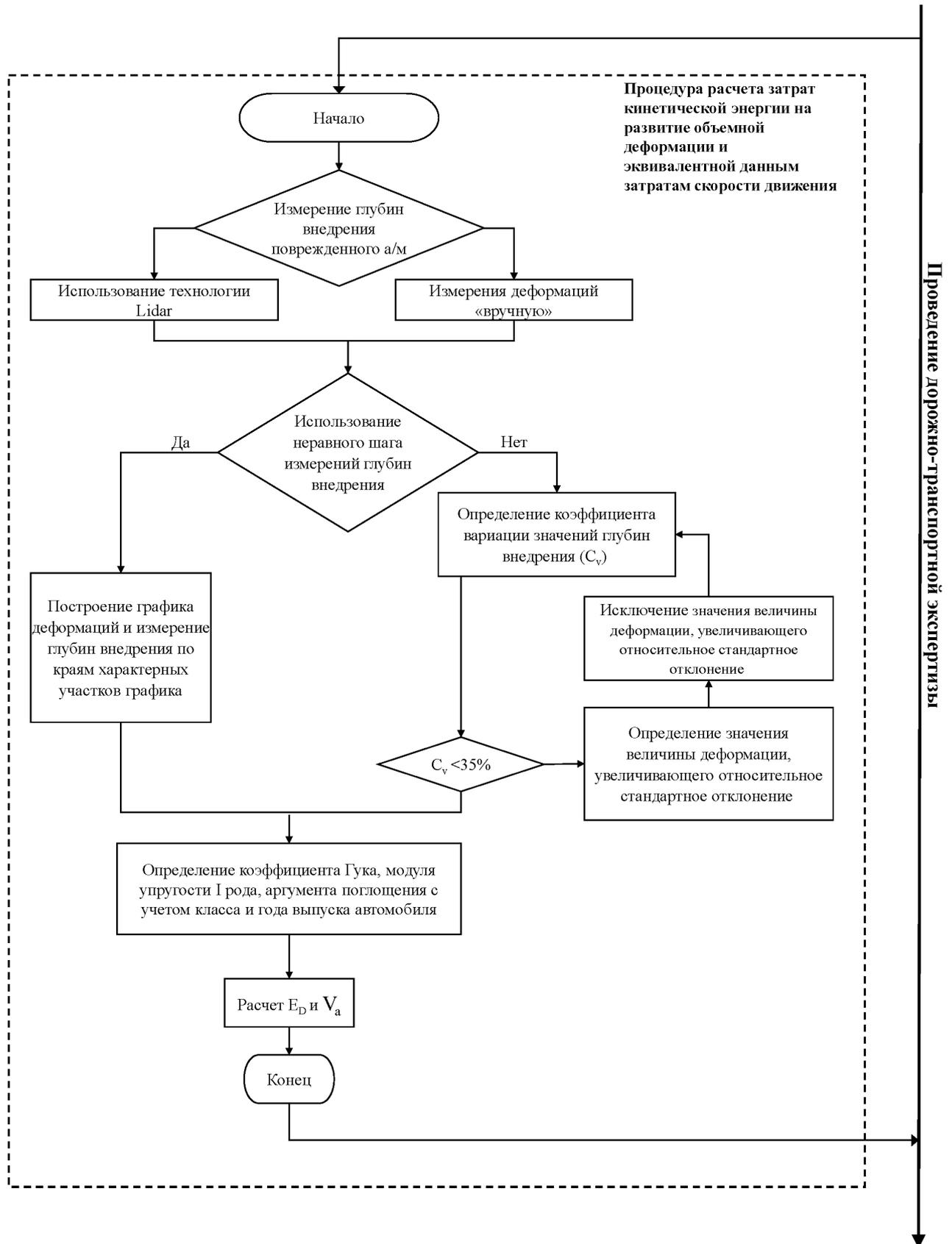


Рисунок 3.1 – Алгоритм проведения ДТЭ по разработанной методике оценки скорости движения автомобилей по их деформациям

Таким образом, при производстве экспертизы в соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 3.1, установление скорости движения по разработанной методике целесообразно разделить на следующие этапы:

— измерение полученных транспортным средством деформаций в результате контактно-следового взаимодействия традиционным способом при помощи измерительных инструментов или с применением технологии Lidar для 3D-моделировании деформированного автомобиля;

— в случае исследования дорожно-транспортных происшествий с нецентральной контактно-следовым взаимодействием, с неполным перекрытием или с концентрированным деформирующим воздействием измерение деформаций производится с применением метода неравного шага;

— определение коэффициента вариации результатов измерений 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 коэффициента Гука и модуля упругости I рода исследуемого автомобиля в зависимости от его года выпуска и в соответствии с классификацией Euro NCAP;

— определение величины затрат кинетической энергии на развитие установленной деформации;

— определение эквивалентной скорости движения установленным затратам кинетической энергии.

3.2 Цель и задачи экспериментальных исследований

Целью экспериментальных исследований являлось подтверждение сходимости результатов расчетов по существующим алгоритмам оценки скорости движения и по разработанной методике исходя из полученных автомобилем деформации.

В интересах достижения поставленной цели в ходе экспериментальных исследований решались следующие задачи:

- экспериментальное определение скорости движения автомобиля исходя из полученных им деформаций по существующей и разработанной методике, а также верификация полученных результатов с выводами экспертизы;
- экспериментальное подтверждение точности разработанных зависимостей, характеризующих жесткость кузова автомобилей.
- экспериментальное подтверждение применимости и точности разработанной методики путем сравнения получаемых результатов с расчетом по современным методам определения скорости движения автомобиля при проведении дорожно-транспортных экспертиз;
- экспериментальное подтверждение достоверности измерений деформаций, полученных автомобилем в результате ДТП с использованием предлагаемого алгоритма применения Lidar-технологии для создания 3D-моделей поврежденных автомобилей путем сопоставления полученных данных с традиционным способом измерения глубин внедрения.

3.3 Экспериментальное определение параметров КСВ транспортных средств.

Анализ точности расчетов по полученным результатам исследования

Достоверное, качественное и детальное воспроизведение всех обстоятельств ДТП на каждом из его этапов – достаточно сложная даже в условиях современной реальности задача, которую невозможно решить как без привлечения актуального

и усовершенствованного методологического комплекса, так и без новых технологических устройств, которые с высокой скоростью и точностью способны решать поставленные задачи.

Широкое применение начиная со второй половины XX века во всех сферах деятельности человека получила экспертиза видеозаписи или видеотехническая экспертиза.

Целью видеотехнической экспертизы в части проведения дорожно-транспортной экспертизы является всестороннее исследование обстоятельств автомобильной аварии и установление виновности сторон.

Всестороннему внедрению исследований с использованием цифровых технологий также во многом способствовала Концепция построения и развития аппаратно-программного комплекса «Безопасный город», принятая в России в 2014 году, основной задачей которой является повышение общественной безопасности путем применения комплексной информационной системы мониторинга и устранения возможных угроз. Все меры, принятые в рамках данной программы, посодействовали появлению большого количества видеоматериалов в ходе следственной проверки, экспертной деятельности и судебных действий. Использование данных материалов открыло новые возможности в установлении обстоятельств аварии, что позволило использовать результаты видеотехнической экспертизы и в рамках отдельного исследования, и в составе комплексной автотехнической экспертизы.

Достижения в области развития цифровой техники повсеместно используются также при проведении экспертиз с целью устранения противоречий или установления тех или иных фактов дорожной ситуации. На сегодняшний день в ходе видеотехнической экспертизы возможно установить скорость движения автомобилей, характер ее изменения с течением времени, местоположение и пространственное расположение ТС относительно окружающих объектов, траекторию движения участников ДТП, а также техническое состояние и исправность элементов системы освещения автомобилей и светофорных объектов при наличии их на месте аварии.

В процессе изучения видеоматериалов экспертами используются различные методы, которые можно разделить на две группы – общенаучные методы и экспертные методы.

В рамках общенаучных методов проводят наблюдение, описание, сравнение, эксперимент, моделирование.

Среди экспертных методов также выделяют совокупность общих и частных методов. В процедуру общих экспертных методов входят методы установления технических характеристик полученных видеоматериалов, методы цифровой обработки материалов видеоматериалов, а также элементы статического анализа массива видеоданных.

Частные экспертные методы применяются исключительно при проведении исследований, направленных на конкретный объект. Они в свою очередь подразделяются на методы, которые, которые устанавливаются:

1. продолжительность (основной показатель – частота кадров);
2. размеры, расстояния (при проведении экспертизы используются значения, которые могут быть однозначно определены по имеющимся на съемке объектам, или заранее известны);
3. характеристику движения.

Определение скорости участников движения является наиболее распространённой задачей исследования видеogramм, фиксирующих события ДТП. Для определения средней скорости движения ТС необходимо определить расстояние, пройденное ТС за известное время, либо время, потребовавшееся ТС для преодоления известного расстояния [85, 87].

Среди всего многообразия следует выделить следующие типовые методы определения скорости ТС:

- по величине смещения ТС в интервале между соседними кадрами;
- по времени смещения ТС на величину его базы;
- по скорости движения камеры;
- по реперам на линии его движения;

— по времени перемещения на известные расстояния [29].

Применение описанного выше аппарата проведения экспертизы по видеозаписи в сравнении с предлагаемой методикой будет рассмотрено на примере ДТП с участием автомобилей AUDI Q5 и Opel Astra. Развитие ДТС которого представлено на рисунках 3.2-3.4.



Рисунок 3.2 – Момент включения зеленого мигающего сигнала светофора – в ПО Kinovea v.0.8.27 установлен таймер на 0:00:00:00)

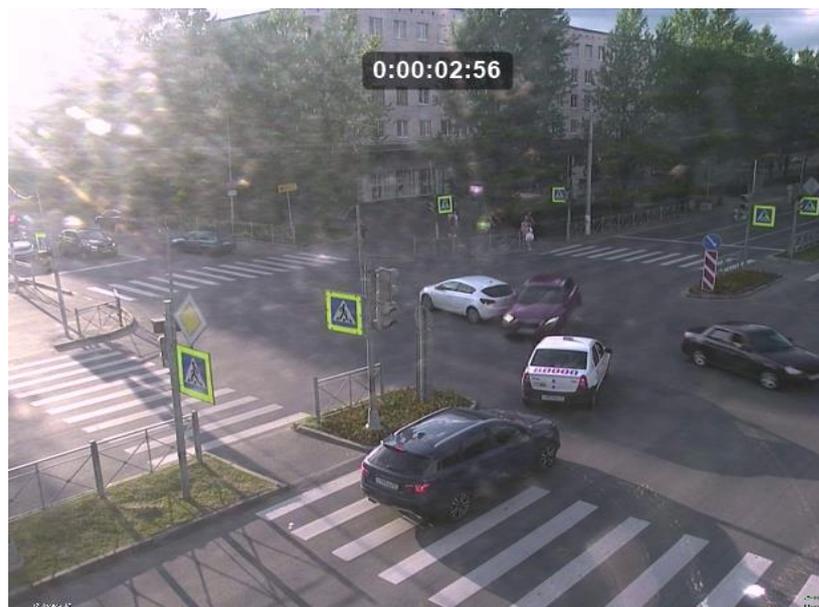


Рисунок 3.3 – Момент столкновения автомобилей – в ПО Kinovea v.0.8.27 по

таймеру на 0:00:02:56 (с момента включения зеленого мигающего сигнала светофора)



Рисунок 3.4 – Момент включения желтого сигнала светофора – в ПО Kinovea v.0.8.27 по таймеру на 0:00:03:00 (с момента включения зеленого мигающего сигнала светофора)

С использованием ПО Kinovea v.0.8.27 к линиям краев проезжих частей улиц, на пересечении которых произошло изучаемое ДТП, 11 м и 14 м - показаны оранжевым цветом на рисунках 3.5 – 3.7, была сопряжена сетка перспективы ячейкой 1 x 1 м общей размерностью 14 x 14 м (представлена белым цветом на рисунках 3.5 – 3.7).

При этом далее первая по ходу движения а/м марки Ауди Q5 до ДТП пересекаемая им граница проезжей части улицы названа Граница 2, а дальняя по ходу движения автомобиля AUDI Q5 до ДТП пересекаемая им граница проезжей части улицы далее названа Граница 3.

С учетом калибровки сетки было измерено расстояние от дальнего края по ходу движения автомобиля AUDI Q5 границы разметки пешеходного перехода, которое составило 8,49 м \approx 8,5 м, по краю дальней по ходу движения автомобиля

AUDI Q5 границы разметки пешеходного перехода была проведена желтая линия (Граница 1).

На центр группы пикселей, отображающих правую блок-фару автомобиля AUDI Q5 был закреплен маркер. А также на кадр, где маркер совпадает с Границей 1, был внесен цифровой секундомер (см. рисунок 3.5). После чего покадрово было зафиксировано положение маркера на Границе 2 – см. рисунок 3.6 и на Границе 3 – см. рисунок 3.7.

Откуда было установлено, что время движения на участке от Границы 1 до Границы 2 составило $t_1 = 0,36$ с (с 0.00:04:00 по 0.00:04:36 в общей продолжительности видеополосы), на участке от Границы 2 до Границы 3 составило $t_2 = 1,12 - 0,36 = 0,76$ с (с 0.00:04:36 по 0.00:05:12 в общей продолжительности видеополосы).

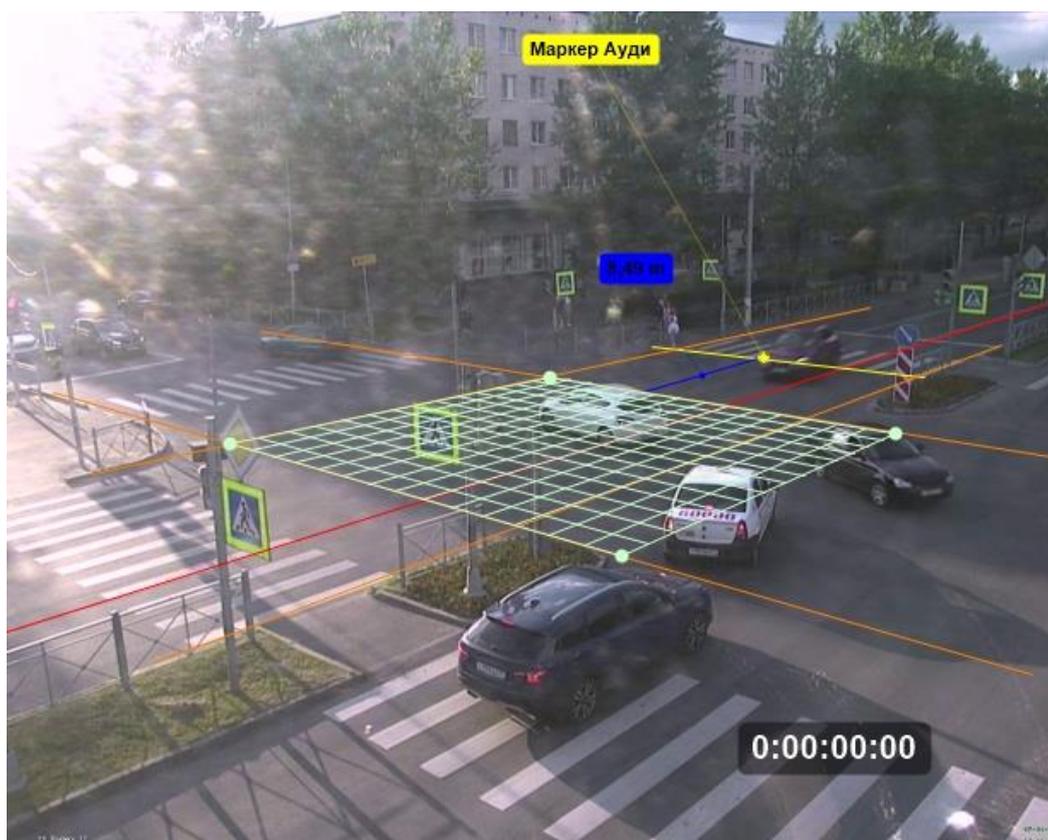


Рисунок 3.5 – Начало трекинга маркера (положение маркера на Границе 1) и замера времени перемещения



Рисунок 3.6 – Положение маркера на Границе 2

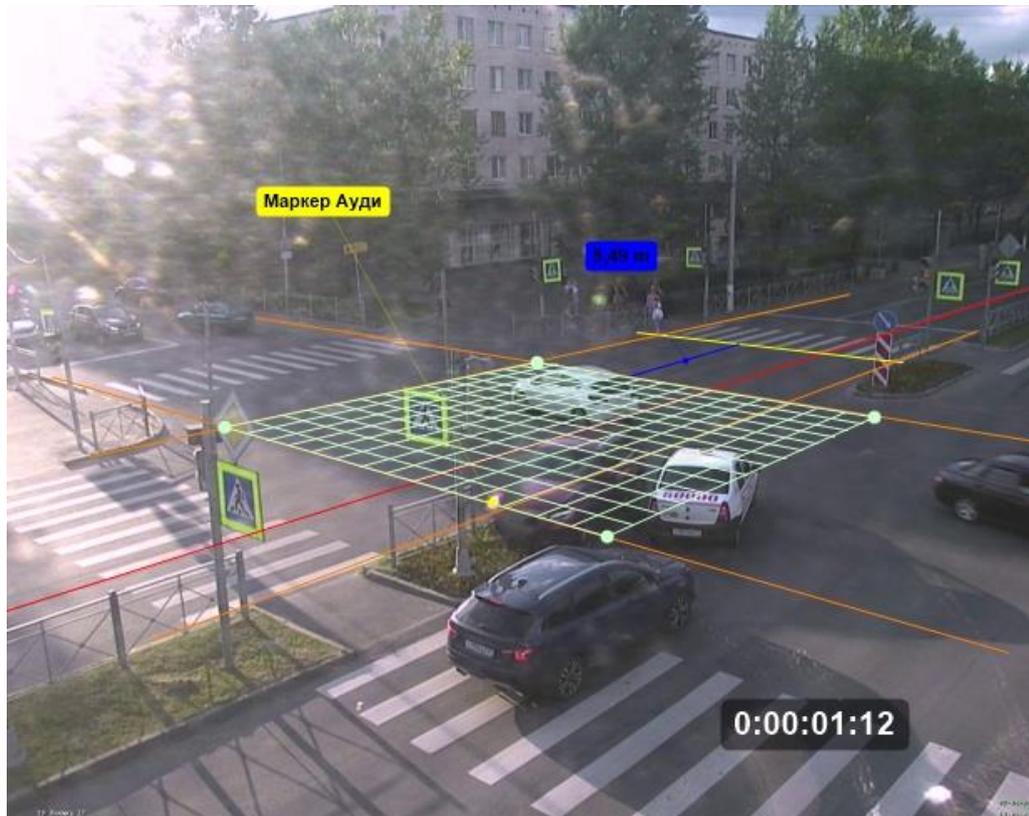


Рисунок 3.7 – Окончание трекинга маркера (положение маркера на Границе 3) и замера времени перемещения

Откуда скорость движения автомобиля AUDI Q5 на участке от Границы 1 до Границы 2 ($\approx 8,5$ м) составляла:

$$V_A = (3,6 \cdot S_1) / t_1 = (3,6 \cdot 8,5) / 0,36 = 85 \pm 5 \text{ км/ч}$$

и скорость движения автомобиля AUDI Q5 на участке от Границы 2 до Границы 3 (14 м – ширина проезжей части) составляла:

$$V_{A2} = (3,6 \cdot S_2) / t_2 = (3,6 \cdot 14) / 0,76 = 66,3 \pm 5 \text{ км/ч}$$

Соответственно, данный расчет аналогичен методу расчета по кадрам, согласно [1,85]: для подтверждения достоверности полученного результата был выполнен расчет по кадрам (на участке в 0,36 секунд размещается $t_{12} = 9$ кадров и на участке в 0,76 секунд размещается $t_{23} = 19$ кадров, при частоте кадров $t = 25$ кадров/с), что позволяет получить следующие значения:

А) скорость от Границы 1 до Границы 2 составляла:

$$V_A = \frac{S_1 \times t \times 3,6}{t_{12}} = \frac{8,5 \times 25,0 \times 3,6}{9} = 85 \text{ км/ч}$$

Б) скорость от Границы 2 до Границы 3 составляла:

$$V_{A2} = \frac{S_2 \times t \times 3,6}{t_{23}} = \frac{14 \times 25,0 \times 3,6}{19} = 66,3 \text{ км/ч}$$

Таким образом, с технической точки зрения, скорость движения автомобиля AUDI Q5, в данной ДТС изначально (до ДТП) была $V_A = 85 \pm 5$ км/ч и в момент наезда на объекты дорожной инфраструктуры была не более $V_{A2} = 66,3 \pm 5$ км/ч. Разница между данными скоростями составила $85 - 66,3 = 18,7$ км/ч.

Аналогично, применив полученные результаты исследования и общепринятые алгоритмы оценки скорости движения по деформациям и полученные в Главе 2 зависимости, характеризующие изменение распределения коэффициентов жесткости в зависимости от года выпуска и класса ТС, был

произведен расчет скорости движения автомобиля AUDI Q5 в момент наезда на опору дорожного знака после КСВ с автомобилем Opel Astra по остаточным деформациям кузова автомобиля AUDI Q5 согласно разработанной методике. Данные, необходимые для расчета представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Данные, необходимые для расчета затрат кинетической энергии на развитие объемных деформаций автомобиля AUDI Q5, образовавшихся в результате ДТП

№ п/п	Показатель	Значение	Ед. измерения
1	Ширина зоны измеряемой деформации, L	1 500	мм
2	Значение деформации, C ₁	298	мм
3	Значение деформации, C ₂	367	мм
4	Значение деформации, C ₃	384	мм
5	Значение деформации, C ₄	372	мм
6	Значение деформации, C ₅	340	мм
7	Значение деформации, C ₆	311	мм
8	Коэффициент вариации, C _v	10,7	%
9	Масса автомобиля	2 070	кг
10	Класс автомобиля	Large Off-Road 4×4	-
11	Год выпуска автомобиля	2017	-

Таким образом, коэффициент Гука исследуемого автомобиля составляет:

$$A = -62,21 \times 2017^2 + 251\,869,39 \times 2017 - 254\,767\,887,1 = 164\,413,8 \text{ Н/м}$$

В свою очередь, модуль Упругости I рода исследуемого автомобиля равен:

$$B = -793,41 \times 2017^2 + 3\,195\,211,16 \times 2017 - 3\,216\,009\,344,17 = 910\,390,1 \text{ Н/м}^2$$

Затраты кинетической энергии на развитие объемной деформации:

$$\begin{aligned}
E_d = & 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{367^3 - 298^3}{367 - 298} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (367 + 298) + 14846,3 \right) \\
& + (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{384^3 - 367^3}{384 - 367} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (384 + 367) + 14846,3 \right) \\
& \times (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{372^3 - 384^3}{372 - 384} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (372 + 384) + 14846,3 \right) \\
& \times (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{340^3 - 372^3}{340 - 372} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (340 + 372) + 14846,3 \right) \\
& \times (1 + \tan 0) + 300 \times \left(\frac{910390,1}{6} \times \left(\frac{311^3 - 340^3}{311 - 340} \right) + \frac{164413,8}{2} \times (311 + 340) + 14846,3 \right) \\
& \times (1 + \tan 0) = 195169,8
\end{aligned}$$

Также была определена работа сил на перемещение, разворот, преодоление препятствия по действующей методике расчета работы сил в рамках закона сохранения количества движения равная 136 150 Дж.

Таким образом, с учетом полученных результатов расчетов скорость движения автомобиля AUDI Q5 составляет:

$$V_A = 3,6 \times \sqrt{\frac{2 \times E_D}{m}} = 3,6 \times \sqrt{\frac{2 \times (195\,169,8 + 136\,150) \text{ Дж}}{2070 \text{ кг}}} = 64,4 \text{ км/ч}$$

Следовательно, разница результатов расчетов скорости движения по разработанной методике, использующей оценку деформаций и коэффициенты жесткости, алгоритм установления которых предложен в диссертационной работе, и при проведении видеоэкспертизы составляет: 66,3 км/ч – 64,4 км/ч = 1,9 км/ч, что не превышает 3%.

В таблице 3.2 представлены результаты сравнения расчетов скорости движения автомобилей с использованием разработанной методики и скорости, установленной в рамках проведения ДТЭ по административным, гражданским и уголовным делам Институтом безопасности дорожного движения ФГБОУ ВО СПбГАСУ. Процесс развития и последствия ДТС, некоторых из которых представлены на рисунках 3.8-3.28.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили высокую точность расчета скорости движения автомобилей по объемным деформациям при проведении ДТЭ по разработанной методике, погрешность результатов которой не превышает 6%.

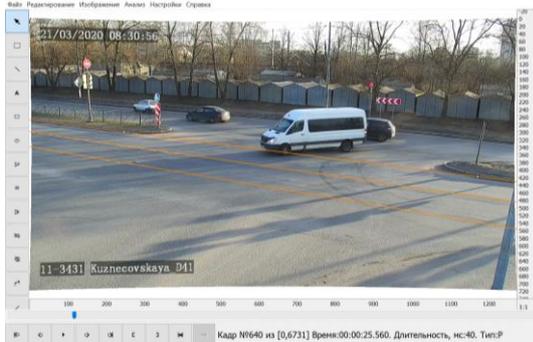


Рисунок 3.8 – Положение а/м Mercedes-Benz Sprinter до ДТП с а/м Toyota Corolla

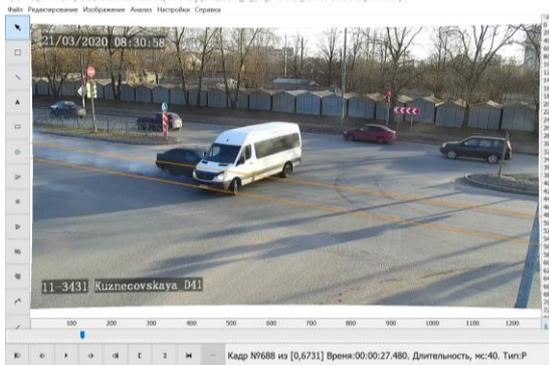


Рисунок 3.9 – Положение а/м Mercedes-Benz Sprinter и а/м Toyota Corolla в момент ДТП



Рисунок 3.10 – Конечное положение а/м Mercedes-Benz Sprinter и а/м Toyota Corolla после ДТП

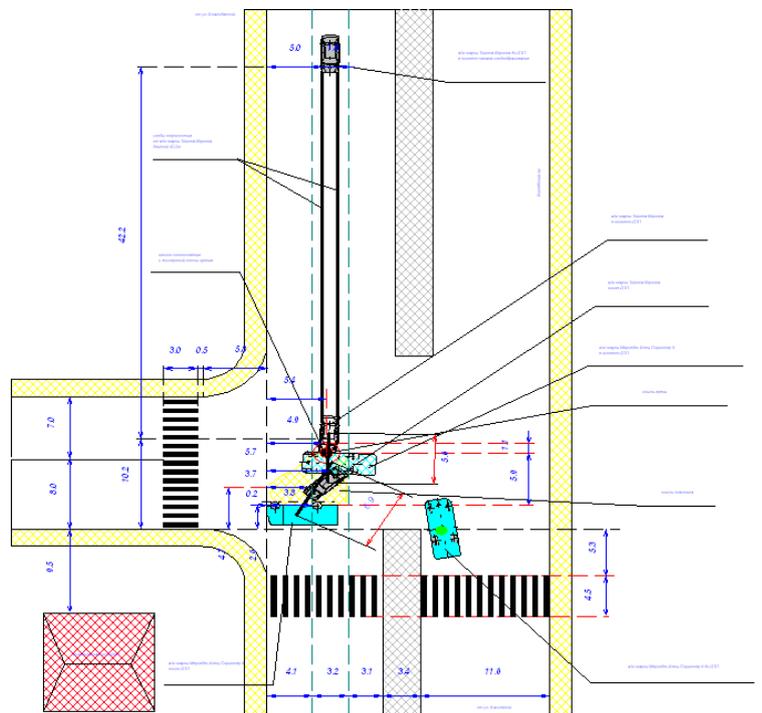


Рисунок 3.11 – Масштабная расчетная схема ДТП с участием а/м Mercedes-Benz Sprinter и а/м Toyota Corolla после ДТП



Рисунок 3.12 – А/м BMW 520 в результате ДТП



Рисунок 3.13 – А/м BMW 520 в результате ДТП



Рисунок 3.14 – А/м BMW 520 в результате ДТП



Рисунок 3.15 – Измерение деформаций а/м BMW 520

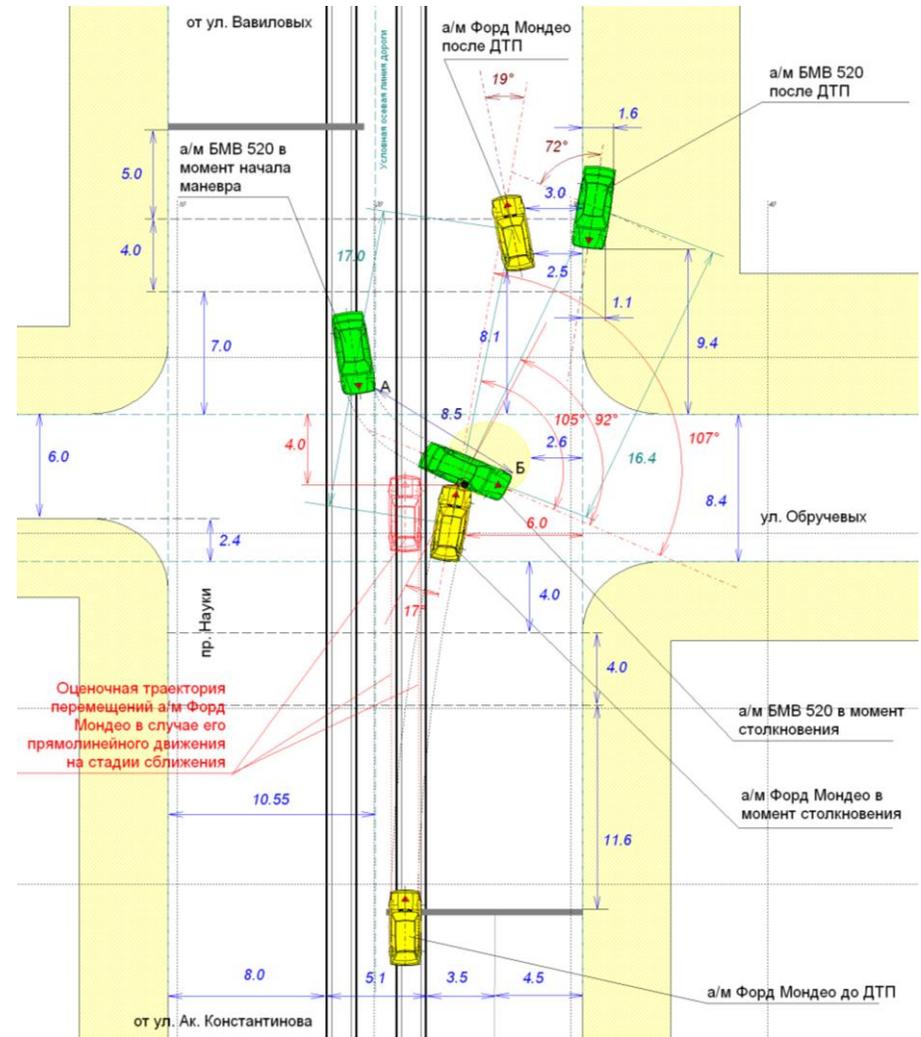


Рисунок 3.16 – Масштабная расчетная схема ДТП с участием а/м BMW 520 и а/м Ford Mondeo



Рисунок 3.17 – Объем полученных деформации а/м Mercedes-Benz ML320 при наезде на дерево



Рисунок 3.18 – Объем полученных деформации а/м Mercedes-Benz ML320 при наезде на дерево



Рисунок 3.19 – Деформированный а/м BMW 530 в результате ДТП с а/м Land Rover Discovery 4



Рисунок 3.20 – Деформированный а/м BMW 530 в результате ДТП с а/м Land Rover Discovery 4



Рисунок 3.21 – Деформированный а/м Land Rover Discovery 4 в результате ДТП с а/м BMW 530



Рисунок 3.22 – Деформированный а/м Land Rover Discovery 4 в результате ДТП с а/м BMW 530

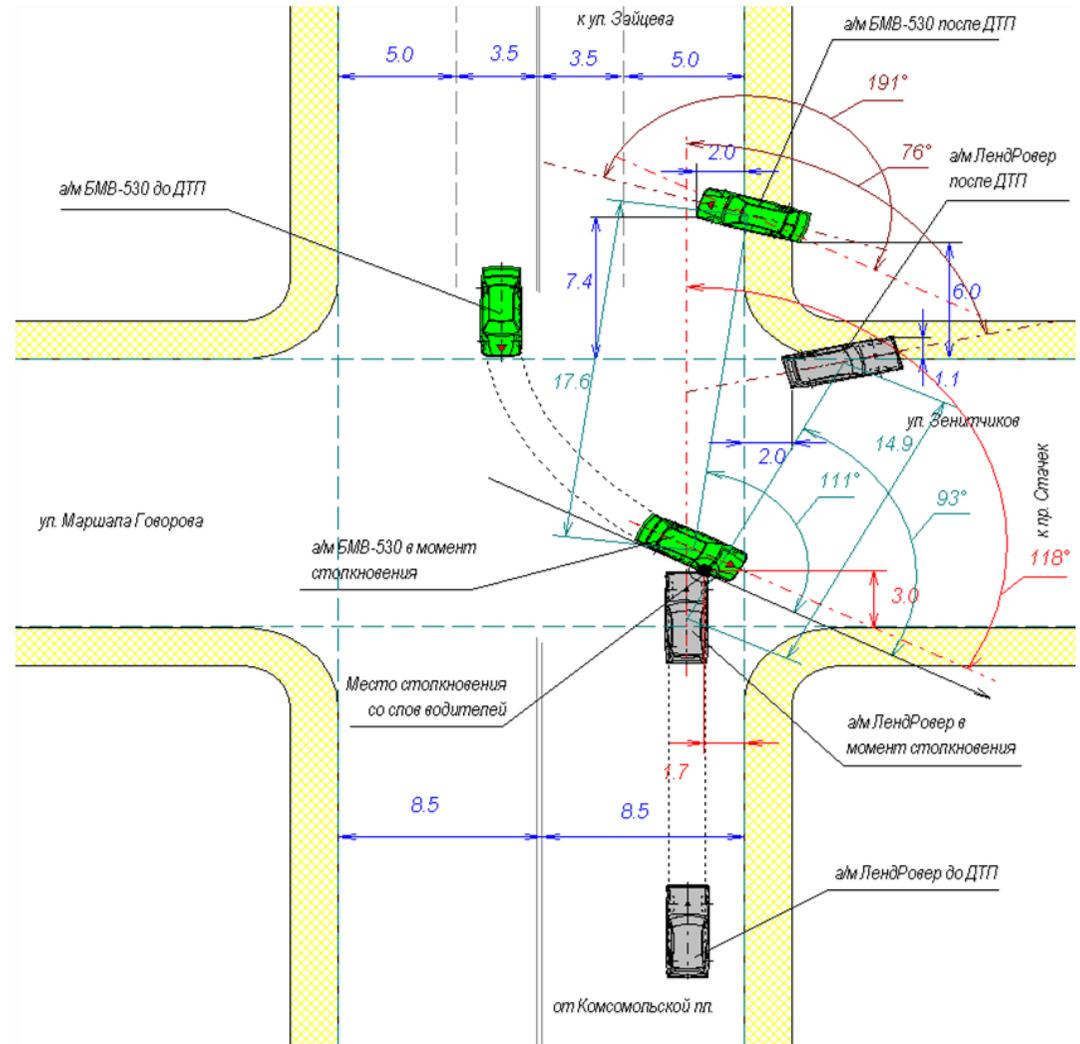


Рисунок 3.23 – Масштабная расчетная схема ДТП с участием а/м BMW 530 и Land Rover Discovery 4

Таблица 3.2 – Сравнение результатов расчетов скорости автомобилей по предлагаемой и применяемым на сегодняшний день в экспертной практике методикам

№ п/п	А/м	Класс автомобиля	Вид экспертизы	Скорость, установленная в рамках проведения ДТЭ, км/ч	Скорость, рассчитанная с использованием предлагаемой методики, км/ч	Погрешность
1	Audi Q5	Large Off-Road	Видео	66,3	64,4	2,9%
2	Kia Sportage	Small Off-Road	Видео	87,9	89,9	2,3%
3	Volkswagen Caddy	Small MPV	Видео	39,7	38,7	2,5%
4	Kia Optima	Large Family Car	Комплексная трасолого-автотехническая	91,4	92,4	1,1%
5	BMW 520	Executive	Комплексная трасолого-автотехническая	34,6	32,6	5,8%
6	Ford Mondeo	Large Family Car	Комплексная трасолого-автотехническая	92,6	93,6	1,1%
7	Mercedes-Benz ML320	Large Off-Road	Комплексная трасолого-автотехническая	75,4	72,4 (с использованием метода неравного шага)	4,0%
8	BMW 530	Executive	Комплексная трасолого-автотехническая	46,8	47,8	2,1%
9	Land Rover Discovery 4	Large Off-Road	Комплексная трасолого-автотехническая	79,4	78,4	1,3%
10	Toyota Corolla	Small Family Car	Видео	91,3	93,3	2,2%
11	Nissan Qashqai	Small Off-Road 4×4	Видео	40,3	39,6	1,73%
12	Skoda Octavia	Small family car	Видео	68,6	67,4	1,75%
13	Volvo XC60	Small Off-Road 4×4	Видео	108,5	106,4	1,93%
14	Kia Rio	Supermini	Комплексная трасолого-автотехническая	64,2	65,7	2,34%
15	Daewoo Gentra	Small family car	Комплексная трасолого-автотехническая	86,7	88,6	2,2%

Результаты расчетов, представленных в таблице 3.2, демонстрируют незначительную разницу в установлении скорости движения автомобилей по различным методикам, что свидетельствует о возможности применения в экспертной практике предлагаемого математического аппарата. Анализируя полученные расчетные данные (таблица 3.2), а именно эквивалентные скорости автомобилей, можно утверждать, 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.

3.4 Использование технологии Lidar в 3D-моделировании деформированных автомобилей при определении глубин внедрения

Технология Lidar была создана в 1960-х годах и первоначально предназначалась для отслеживания спутников и военных целей, но на современном этапе развития технологий комбинированный метод 3-D сканирования и лазерного сканирования нашел активное применение в различных областях современной науки и промышленности, таких как геодезия, археология, сейсмология, лазерное наведение, автономное управление транспортными средствами. Lidar – это технология измерения расстояний путем излучения света и замера времени возвращения этого отражённого света на ресивер.

Благодаря развитию данной технологии, на сегодняшний день возможно создавать 3D-модели объектов, в том числе автомобилей, и совершать измерения по полученным моделям без существенных временных и трудовых затрат – данный факт свидетельствует о наличии возможности установления глубин внедрения путем сравнения (наложения) 3D-модели поврежденного автомобиля с его исходным состоянием.

Для верификации данной возможности в рамках исследования было построено устройство измерения деформаций, аналогичное используемому как

автопроизводителями для оценки деформаций при изучении краш-тестов, так и экспертами при реконструкции ДТП. Общий вид данного устройства представлен на рисунке 3.24.



Рисунок 3.24 – Устройство для измерения деформации автомобилей

Для измерения деформаций был использован поврежденный в результате ДТП автомобиль Hyundai Solaris, представленный на рисунке 3.25.



Рисунок 3.25 – Автомобиль Hyundai Solaris, получивший объемные фронтальные и боковые деформации в результате столкновения

Измерения глубин внедрения производились на разных уровнях (по высоте) – результаты представлены в таблице 3.3, процесс измерения – на рисунках 3.26 и 3.27.



Рисунок 3.26 – Измерение глубин внедрения на высоте 500 мм от опорной поверхности



Рисунок 3.27 – Измерение глубин внедрения на высоте 860 мм от опорной поверхности

Таблица 3.3 – Результаты измерения деформации а/м Hyundai Solaris

Точка измерения	Высота от опорной поверхности		
	250 мм	500 мм	860 мм
	Глубина внедрения, мм		
C ₁	14	350	324
C ₂	93	376	370
C ₃	196	352	382
C ₄	189	450	540
C ₅	177	360	598
C ₆	87	272	462
Ширина измеряемого участка, L _t = 1 000 мм			

Данные результаты измерений глубин внедрения совпадают с полученными согласно 3D-модели данного деформированного автомобиля, созданной при помощи технологии Lidar – представленной на рисунках 3.28 - 3.29, на которых также демонстрируется высокое качество созданной в процессе исследования 3D-модели автомобиля Hyundai Solaris, преобразованной в облако точек для дальнейших исследований (см. рисунок 3.30).

Для производства измерений при помощи технологии Lidar также была создана 3D-модель исходного (недеформированного) состояния автомобиля Hyundai Solaris, состоящая из облака точек и представленная на рисунке 3.31. В результате был спроектирован профиль деформированного автомобиля по отношению к его исходному состоянию (см. рисунки 3.32-3.33), измерения по которому, совпадают с результатами измерений, полученными натурным способом (представленным на рисунках 3.26-3.27).



Рисунок 3.28 – 3D-модель деформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris



Рисунок 3.29 – 3D-модель деформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris

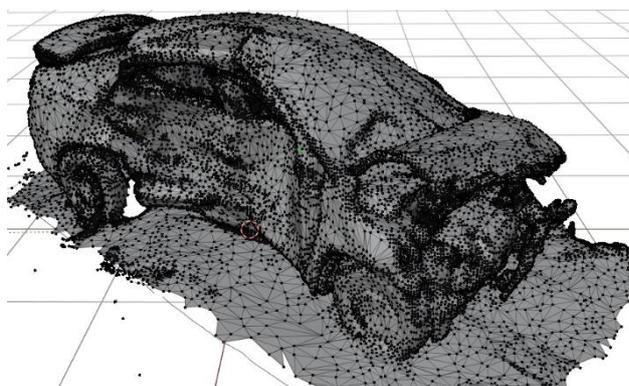


Рисунок 3.30 – 3D-модель деформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris, преобразованная в облако точек

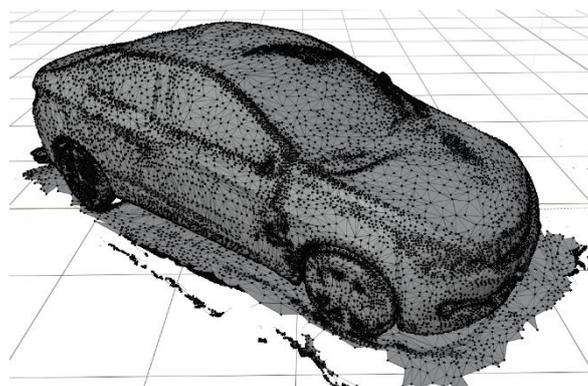


Рисунок 3.31 – 3D-модель исходного (недеформированного) состояния автомобиля Hyundai Solaris в виде облака точек



Рисунок 3.32 – Результат совмещения 3D-моделей деформированного и недеформированного состояния автомобиля Hyundai Solaris



Рисунок 3.33 – Сопоставление 3D-моделей поврежденного и недеформированного состояний автомобиля Hyundai Solaris для производства измерений объемных деформаций

Аналогичным способом было подтверждено высокое качество 3D-моделей, созданных при использовании технологии Lidar, измерения по которым идентичны полученным в результате натурных исследований деформированных автомобилей, представленных в Приложении В.

Выводы по главе 3

1. Разработана методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении ДТЭ, основанная на результатах исследования (выводов, рекомендаций, ограничений и допущений при математическом моделировании механизма ДТП как физического процесса, применением современного математического аппарата и программного обеспечения, необходимым объемом статистических данных, корреляционно-регрессионным анализом факторов и зависимостей), общепринятых традиционных алгоритмов и достижений научно-технического прогресса, отличающаяся от уже известных учетом изменения индивидуальных характеристик жесткости кузовов автомобилей в зависимости от их класса и года выпуска, учетом вариативности измерений глубин внедрения при оценке деформаций, повышением производительности при производстве исследования поврежденного автомобиля

2. Экспериментально подтверждена точность разработанных зависимостей, характеризующих жесткость кузова автомобилей.

3. Экспериментально подтверждена высокая сходимость результатов расчетных скоростей по предлагаемой методике.

4. Экспериментально подтверждена достоверность измерения деформаций автомобилей, образовавшихся в результате ДТП, произведенных с использованием предлагаемого алгоритма применения Lidar-технологии для создания 3D-моделей поврежденных автомобилей.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 База данных значений коэффициента Гука, модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения автомобилей категорий M₁ для производства ДТЭ

На основании произведенных исследований и разработки зависимости изменения значений коэффициента Гука (механическая жесткость), модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения (производный коэффициент жесткости) была разработана БД «База данных жесткостных характеристик автомобилей категории M₁ 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 автомобиля.

Таким образом каждому автомобилю в БД соответствует одна запись, содержащая 6 полей.

Для предотвращения возможных ошибок, связанных с неточными указаниями отдельно вводимых данных и дублированием информации, для отдельных параметров предусмотрено хранение в БД перечней возможных значений. Такими параметрами являются:

- наименование марки;

- наименование модели;
- наименование поколения;
- класс автомобиля.

Таким образом, разработанная БД состоит из 6 связанных между собой таблиц:

- таблица «Main» содержит всю информацию об автомобиле для дальнейшей работы;
- таблица «Brand» содержит возможные наименования марок автомобиля, к одной из которых может принадлежать автомобиль;
- таблица «Model» содержит возможные наименования моделей выбранной марки, к одному из которых может принадлежать автомобиль;
- таблица «Generation» содержит возможные наименования поколений выбранной модели, к одному из которых может принадлежать автомобиль, а также его года выпуска;
- таблица «Class» содержит возможные наименования классов, к которым может относиться автомобиль, а также год, к которому относятся значения коэффициентов жесткости.

Схема связей между указанными таблицами (схема данных) представлена на рисунке 4.1.

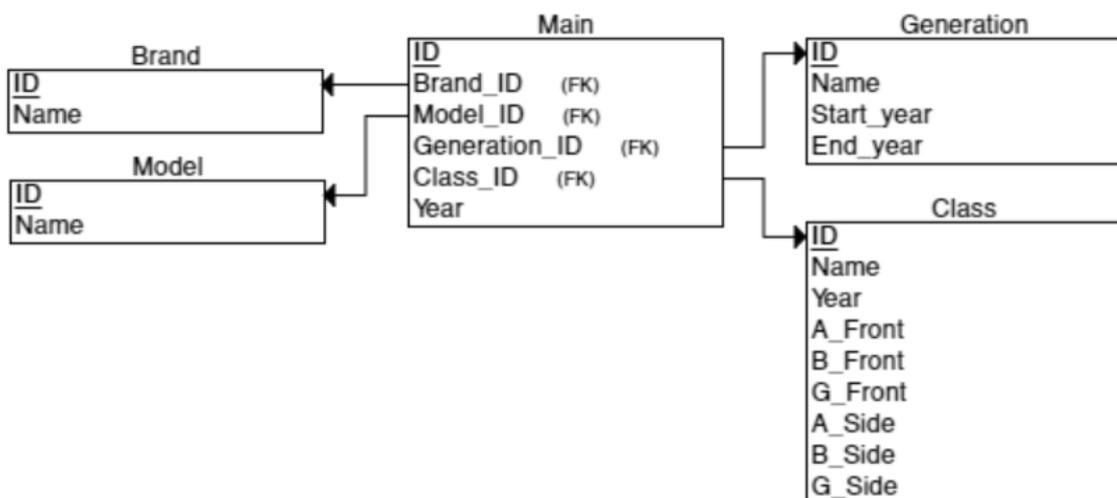


Рисунок 4.1 – Схема связей между таблицами БД (схема данных)

4.2 Программное обеспечение для расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учетом полученных деформаций

К настоящему времени существуют различные методики анализа ДТС с использованием динамических расчетов и имитационных моделей. Это привело к появлению специализированных программных продуктов, применение которых позволяет значительно повысить эффективность выполняемых работ по решению поставленных задач, ускоряет процесс расчетов, а также в качественном плане уменьшает вероятность ошибок арифметического характера и дает возможность визуализации результатов проведенного исследования [23]. При этом важно учитывать, что наилучшего результата в установлении параметров движения автомобиля можно достичь, если современные автоматизированные технические средства использовать на всех этапах расследования ДТП.

В рамках диссертационного исследования разработан новый программный продукт для экспертного использования, который позволяет проводить анализ и моделирование ДТС – Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций (далее - ПРСА). Особенностью данной программы является возможность расчета скорости транспортного средства в момент столкновения, который осуществляется с использованием зависимостей, характеризующих конструкционную жесткость автомобилей и полученных в результате диссертационного исследования. Алгоритм работы программы представлен на рисунке 4.2.

С помощью данной компьютерной программы могут быть произведены расчеты по определению скорости движения транспортного средства в момент КСВ по полученным им в результате ДТП повреждениям. Для этого предназначен программный компонент, разработанный для расчетов энергетического эквивалента деформаций по их величине и выполнения обратных расчетов, позволяющих установить характеристики движения автомобиля в момент, непосредственно предшествовавший контактно-следовому взаимодействию.

В процессе создания программного обеспечения была реализована достаточно простая, но в то же время точная модель, которая отображает только те аспекты системы, которые соответствуют задачам исследования. Структура модели отображается на экране монитора набором элементов в графической форме в виде как условных, так и реалистичных образов пассивных объектов (рисунок 4.3).

Работа с ПРСА имеет свои специфические особенности. Моделирование осуществляется в пошаговом режиме. На каждом этапе моделирования изменяются значения параметров системы, которые отображаются на экране монитора пользователя. На основе тщательного анализа максимально возможного объема исходных данных у эксперта формируется общее представление о развитии ДТС в момент, предшествующий ДТП.

Функционал программного обеспечения включает в себя базу данных автомобилей. Таким образом, пользователь имеет возможность задать в качестве входных параметров марку автомобиля, его модель, поколение и год выпуска.

Программное обеспечение предусматривает возможность варьирования количества точек измерения глубин внедрения от 1 до 10. В ПРСА реализовано два варианта введения сведений о повреждениях автомобиля: вручную (чаще всего используется для значений глубин внедрения, измеренных вручную или в случае проведения экспертизы без осмотра транспортного средства, используя сведения из материалов дела о ДТП) или используя результаты применения Lidar-технологии, описанной в разделе 3.3.

Алгоритм работы ПРСА в случае введение данных о деформациях вручную предполагает во время ввода данных автоматический расчет коэффициента вариации C_v как различие уровней определенного показателя анализируемой единицы в один и тот же период или момент исследования.

Как было установлено в разделе 2.2.1 коэффициент вариации не должен превышать значения 35%, что обеспечивает получение результата расчета с погрешностью не более 5%.

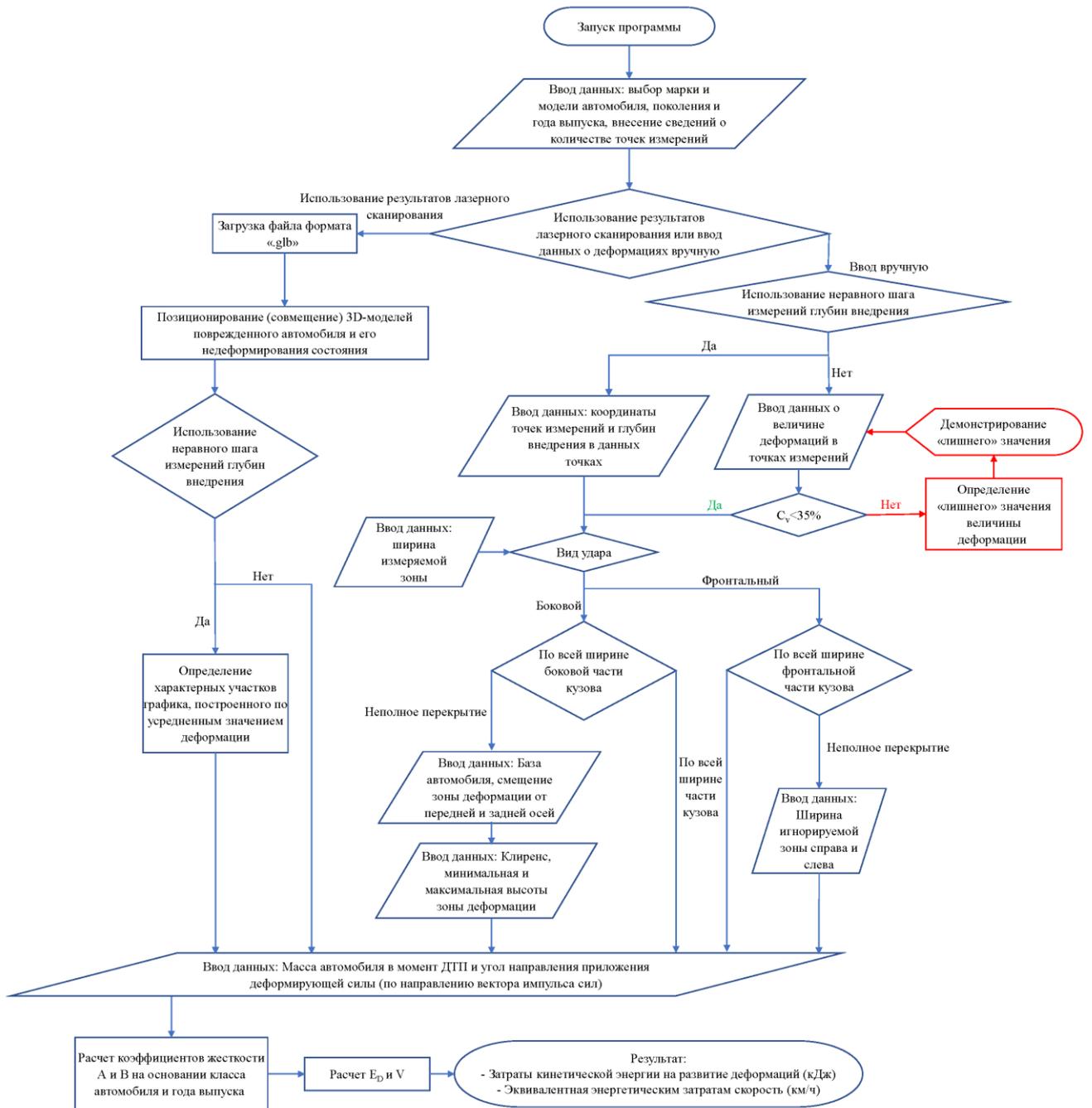


Рисунок 4.2 – Алгоритм работы Программы расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций

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

Количество точек:

Выберите марку авто

Выберите модель авто

Выберите поколение авто

Выберите год авто

Коэффициент вариации значений величин деформации:
Cv = 0.00%

Ввести вручную
 Использовать результаты лазерного сканирования

Выбрать файл

Установить центр колес

Произвести расчет деформаций

Величины деформации:
 Неравный шаг

C₁ м
C₂ м
C₃ м
C₄ м
C₅ м
C₆ м
C₇ м
C₈ м
C₉ м
C₁₀ м

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

Ширина измеряемой зоны объемной деформации м

По всей ширине
 Произвольное расположение измеряемой зоны

Колесная база: м

Ширина игнорируемой зоны слева: м

Ширина игнорируемой зоны справа: м

Клиренс: м

Минимальная высота внедрения: м

Максимальная высота внедрения: м

Масса авто: кг

Угол КСВ: °

Энергия: кДж Скорость: км/ч

0.0 0.0

Очистить Расчет значений

Рисунок 4.3 – Интерфейс программного обеспечения

Таким образом, если значение коэффициента вариации не превышает 35%, то совокупность считается однородной, а если более 35%, то – неоднородной, данное значение соответствует границе, определяющей допустимость использования исходных данных для дальнейшего расчета. В случае обнаружения при вводе данных неоднородности, значение коэффициента вариации подсвечивается красным цветом (рисунок 4.4). Также пользователю предоставлена возможность использования неравномерной ширины участков измерения (неравного шага), алгоритм применения которого представлена в разделе 2.2.2, в данном случае необходимо ввести в ПРСА сведения о местоположении точек измерения глубин внедрения как это представлено на рисунке 4.5.

Кoeffициент вариации значений величин деформации:
Cv = 86.98%

Ввести вручную
 Использовать результаты лазерного сканирования

Выбрать файл

Установить центр колес

Произвести расчет деформаций

Величины деформации:
 Неравный шаг

C ₁	<input type="text" value="0,100"/>	м
C ₂	<input type="text" value="0,500"/>	м
C ₃	<input type="text" value="0,780"/>	м
C ₄	<input type="text" value="0,300"/>	м
C ₅	<input type="text" value="0,050"/>	м
C ₆	<input type="text"/>	м
C ₇	<input type="text"/>	м
C ₈	<input type="text"/>	м
C ₉	<input type="text"/>	м
C ₁₀	<input type="text"/>	м

Рисунок 4.4 – Предупреждение о неоднородности значений глубин внедрения

Кoeffициент вариации значений величин деформации:
Cv = 29.57%

Ввести вручную
 Использовать результаты лазерного сканирования

Выбрать файл

Установить центр колес

Произвести расчет деформаций

Величины деформации:
 Неравный шаг

C ₁	<input type="text" value="0,250"/>	м	Y ₁	<input type="text" value="0"/>	м
C ₂	<input type="text" value="0,300"/>	м	Y ₂	<input type="text" value="0,4"/>	м
C ₃	<input type="text" value="0,350"/>	м	Y ₃	<input type="text" value="0,6"/>	м
C ₄	<input type="text" value="0,400"/>	м	Y ₄	<input type="text" value="0,7"/>	м
C ₅	<input type="text" value="0,50"/>	м	Y ₅	<input type="text" value="1,2"/>	м
C ₆	<input type="text" value="0,550"/>	м	Y ₆	<input type="text" value="2"/>	м
C ₇	<input type="text"/>	м	Y ₇	<input type="text"/>	м
C ₈	<input type="text"/>	м	Y ₈	<input type="text"/>	м
C ₉	<input type="text"/>	м	Y ₉	<input type="text"/>	м
C ₁₀	<input type="text"/>	м	Y ₁₀	<input type="text"/>	м

Рисунок 4.5 – Ввод данных при использовании неравного шага точек измерений

Для визуализации результатов моделирования используется графическое представление автомобиля с линейным отображением глубины зон деформаций в точках, равномерно или неравномерно распределенных по ширине локальной зоны деформации в передней части автомобиля, справа или слева.

В функционале программного продукта также предусмотрена возможность выбора произвольного расположения измеряемой зоны. При выборе данной опции пользователем задаются параметры «ширина игнорируемой зоны слева» и «ширина игнорируемой зоны справа» в случае исследования фронтальной деформации автомобиля, но если исследуется ДТП с повреждениями боковой части кузова автомобиля – для производства расчетов и соответствующей визуализации зоны деформации необходимо ввести значения колесной базы автомобиля, границу (начало и конец) зоны деформации относительно передней и задней осей автомобиля, минимальную и максимальную высоту внедрения.

В случае использования результатов лазерного сканирования поврежденного автомобиля пользователю необходимо загрузить полученный файл формата «.glt» в программу и в трехмерном пространстве указать центры колес 3D-модели, созданной благодаря применению Lidar-технологии. После чего ПРСА в автоматическом режиме преобразует загруженную 3D-модель в облако точек и совместить указанные экспертом координаты центра колес с центрами колес 3D-модели данного неповрежденного автомобиля, представленной также облаком точек и входящей в базу данных, также используемой ПРСА, включающую 1 170 3D-моделей автомобилей большинства марок, моделей и поколений, встречающихся на российских автомобильных дорогах. Это позволяет с достаточной точностью совместить 3D-модели поврежденного и исходного состояния автомобиля, в результате чего ПРСА в автоматизированном режиме высчитывает оптимальные для дальнейших исследований параметры деформаций, параллельно определяя коэффициент вариации предлагаемых значений глубин внедрения.

Также ПРСА в автоматическом режиме определит, производить ли измерение деформаций по всей части кузова или только по его части: для бокового

столкновения – с распознаванием смещения от осей, минимальной и максимальной высота внедрения, для фронтального – ширины игнорируемой зоны справа и слева. Пользователь также имеет возможность указать о необходимости использования расчетов с алгоритмом неравного шага точек измерения, в данном случае ПРСА строит график, характеризующий деформацию в трехмерной проекции и в автоматизированном режиме определяет наиболее оптимальные точки измерения глубин внедрения для расчета затрат кинетической энергии на деформацию. На рисунке 4.6 представлена визуализации деформаций ПРСА для фронтального и бокового ударов с неполным перекрытием.

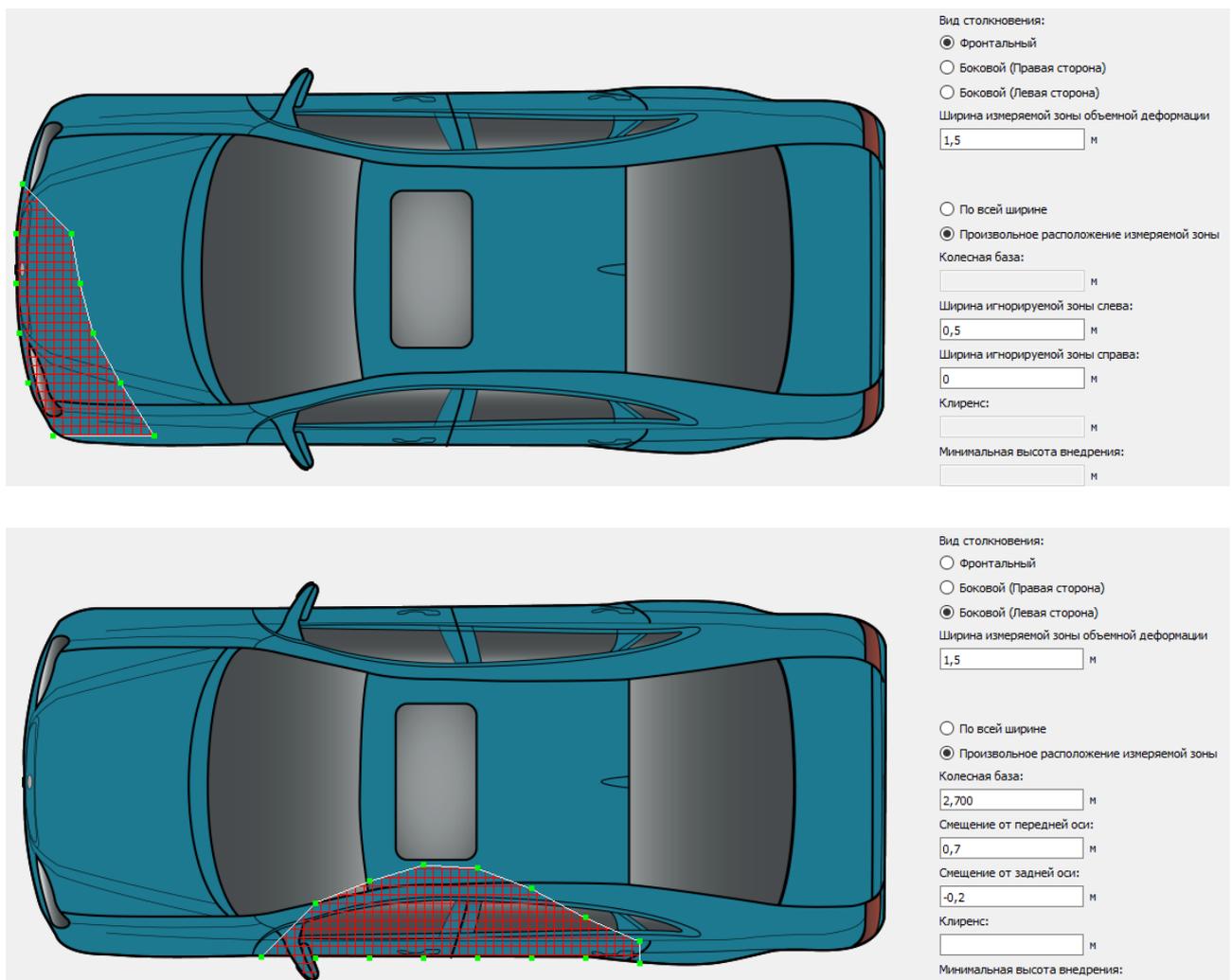


Рисунок 4.6 – Ручная настройка произвольной зоны объемной деформации

В результате ПРСА в автоматизированном режиме определяет затраты кинетической энергии на развитие деформаций, используя алгоритмы, разработанные в диссертационном исследовании и скорость автомобиля в момент столкновения [101].

4.3 Сравнительный анализ эффективности и точности использования результатов исследования в сравнении с традиционной методикой

Для верификации и подтверждения высокого качества результатов проведения дорожно-транспортной экспертизы по предлагаемой методике и эффективности ее использования был произведен сравнительный анализ работы эксперта действующим методом и по разработанной методике при расследовании обстоятельств ДТП в рамках проведения ДТЭ по административным, гражданским и уголовным делам в Институте безопасности дорожного движения СПбГАСУ, в которых определение скорости движения не производилось, но имеющийся объем исходных данных был достаточен для целей данного исследования.

Выборка из отобранных 10 заключений эксперта подробно представлена двумя наглядными примерами, где определение технической возможности водителя избежать КСВ было установлено по времени возникновения (обнаружения) опасности и по удалению (расстоянию) от места контакта участников ДТП [26, 44-45, 55-56, 100].

4.3.1 Проведение дорожно-транспортной экспертизы происшествия с участием автомобилей Subaru Impreza и MAZ 5516 (по времени обнаружения опасности)

В данном дорожно-транспортном происшествии автомобиль Subaru Impreza при выполнении маневра левого поворота совершил столкновение с двигающимся

во встречном направлении грузовым автомобилем МАЗ 5516. В результате чего автомобиль Subaru Impreza получил объемные деформации.

По причине того, что на момент проведения дорожно-транспортной экспертизы исследуемый автомобиль не сохранился, у эксперта отсутствовала возможность самостоятельно произвести измерения полученных автомобилем деформации, в связи с чем были обусловлены необходимость использования параметров повреждений автомобиля, указанных в материалах дела о ДТП (см. таблицу 4.1 и рисунок 4.7) и отсутствие первого этапа исследования (измерение полученных деформаций в результате КСВ).

Таблица 4.1 – Повреждения автомобиля Subaru Impreza

№ п/п	Показатель	Значение
1	Ширина зоны деформации (L)	1 620 мм
2	Угол КСВ (θ)	5°
3	Глубина внедрения в точке (C ₁)	0 мм
4	Глубина внедрения в точке (C ₂)	340 мм
5	Глубина внедрения в точке (C ₃)	480 мм
6	Глубина внедрения в точке (C ₄)	620 мм
7	Глубина внедрения в точке (C ₅)	770 мм
8	Глубина внедрения в точке (C ₆)	720 мм

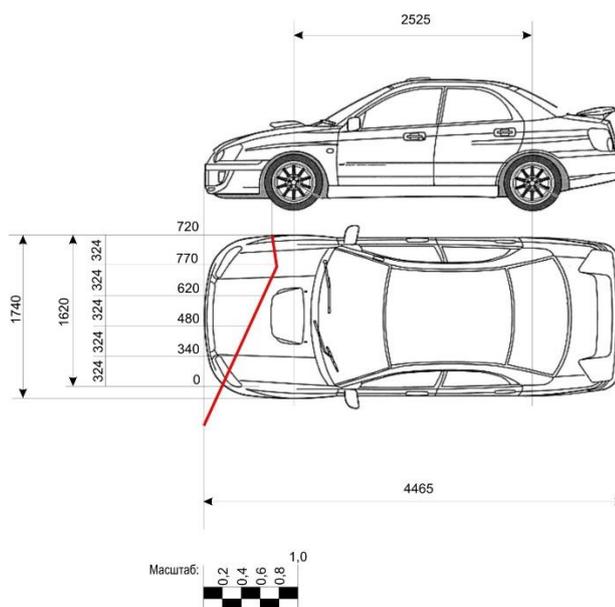


Рисунок 4.7 – Обозначение деформаций на схеме автомобиля Subaru Impreza

Основной задачей, ответ на которую позволит дать категоричные ответы на все оставшиеся вопросы, является установление скорости столкновения автомобиля Subaru Impreza. Для этого были определены затраты кинетической энергии на получение деформаций, указанных в таблице 4.1, по двум методикам: действующей и разработанной.

Расчеты по традиционной методике были произведены вручную с использованием справочных данных о жесткостных коэффициентах А и В:

$$E_{D1} = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \times \left(\frac{B}{6} \times (C_i^2 + C_i \times C_{i+1} + C_{i+1}^2) + \frac{A}{2} \times (c_{i+1} + c_i) + G \right) \times \\ \times (1 + \tan^2 \theta) = 178\,801,83 \text{ Дж}$$

Время, затраченное на произведение расчетов вручную – 47 минут (определено по времени создания и сохранения файла).

Расчеты по разработанной методике были произведены с применением ПРСА, описанного в разделе 4.2, которая в автоматизированном режиме определяет категорию исследуемого автомобиля по классификации Euro NCAP и рассчитывает коэффициенты А (коэффициент Гука) и В (модуль упругости I рода (Юнга), согласно уравнениям, описывающим их изменение значений в зависимости от года выпуска автомобиля. Также с учетом разработанного метода учета вариативности измерений показателей объема деформаций, соответственно реализованной в ПРСА, было установлено, что коэффициент вариации значений деформаций по 6 точкам превышает допустимое значение и составляет 58,7 % и определено, что для снижения данного показателя следует не учитывать значение глубины внедрения в точке $C_1=0$ мм, тем самым ограничив ширину измеряемой зоны деформации 1 296 м (см. рисунки 4.8 – 4.9).

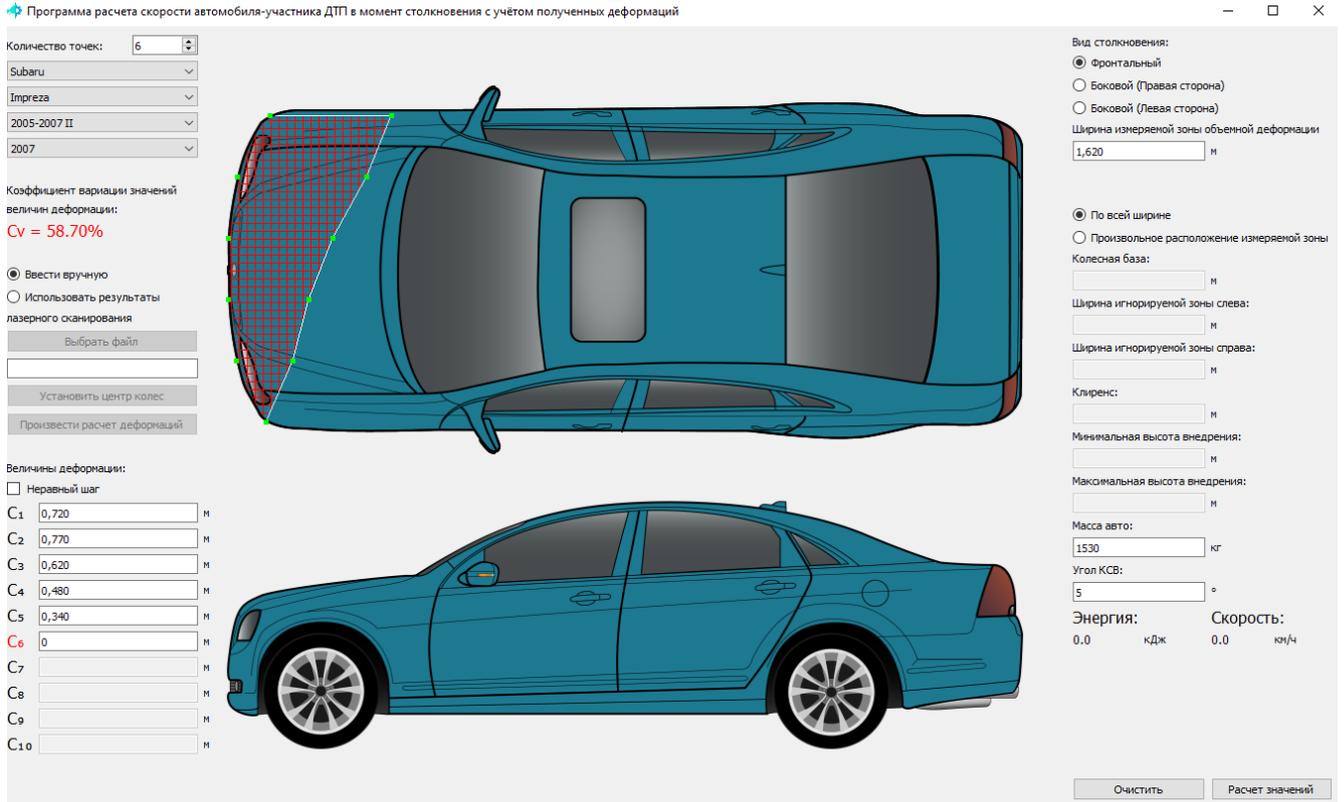


Рисунок 4.8 – Результаты расчетов ПРСА по 6 значениям глубин внедрения

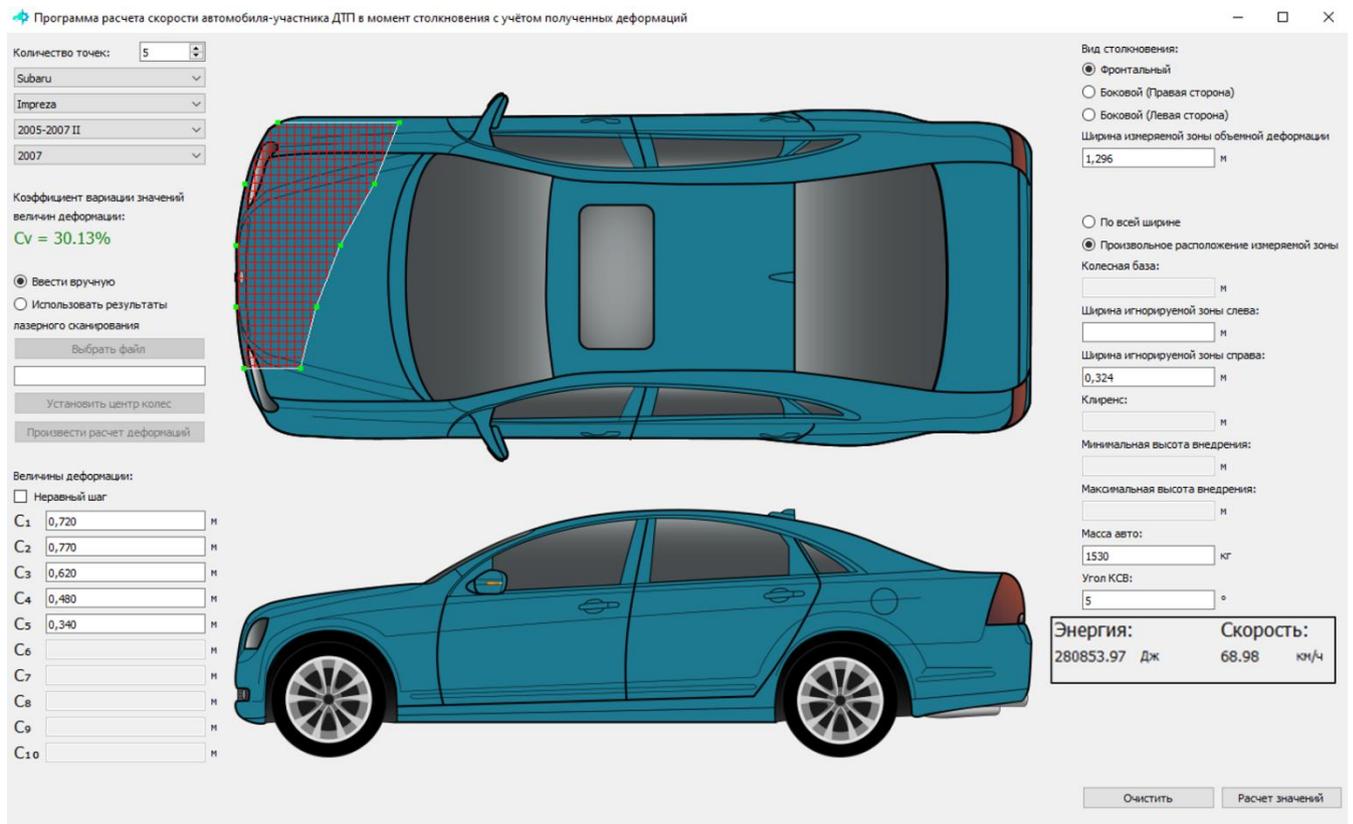


Рисунок 4.9 – Результаты расчетов ПРСА по 5 значениям глубин внедрения

Таким образом было установлено, что затраты кинетической энергии на развитие деформаций составили 280 853,97 Дж.

Время, затраченное на произведение расчетов с использованием ПО – 8 минут.

Для установления фактических скоростей движения также была определена работа сил (затраты энергии), совершенная автомобилем Subaru Impreza на перемещение и разворот, которая составила 23 897,2 Дж.

На следующем этапе проведения данной ДТЭ для сравнения полученных результатов была установлена скорость движения автомобиля Subaru Impreza согласно затратам кинетической энергии на развитие объемных деформаций, полученных по классической методике:

$$V_{A1} = 3,6 \sqrt{\frac{2[E_{D1}]}{m}} = 3,6 \sqrt{\frac{2 \times (178\,801,83 + 23\,897,2)}{1530}} = 58,6 \text{ км/ч}$$

и согласно разработанной:

$$V_{A2} = 3,6 \sqrt{\frac{2[E_{D2}]}{m}} = 3,6 \sqrt{\frac{2 \times (280\,853,97 + 23\,897,2)}{1530}} = 71,9 \text{ км/ч}$$

Таким образом, в результате расчета по традиционной методике было установлено, что автомобиль Subaru Impreza двигался со скоростью $58,6 \pm 3$ км/ч, а при производстве расчетов по предлагаемой методике его скорость движения составляла $71,9 \pm 3$ км/ч, что на 22% больше.

В данном случае, наличие у водителя автомобиля Subaru Impreza технической возможности избежать исследуемого ДТП в данной дорожно-транспортной ситуации, может быть выражено следующим неравенством [28]:

$$S_0 < S_y,$$

где S_0 – остановочный путь автомобиля Subaru Impreza в данной ДТС при экстренном торможении и при максимально допустимой в данной ДТС скорости

движения ТС - V_d , согласно требованиям п.10.2 ПДД РФ равной 60 км/ч;

S_y – удаление автомобиля Subaru Impreza от места контакта с грузовым автомобилем МАЗ 5516 в момент возникновения опасности для движения.

Остановочный путь автомобиля Subaru Impreza при экстренном торможении в данной ДТС и при скорости движения ТС, установленной по стандартной методике, составляет:

$$\begin{aligned} S_{01} &= (t_1 + t_2 + 0,5 \times t_3) \times \frac{V_{A1}}{3,6} + \frac{V_{A1}^2}{25,92 \times j} = \\ &= (1,0 + 0,1 + 0,5 \times 0,35) \times \frac{58,6}{3,6} + \frac{58,6^2}{25,92 \times 6,8} = 40,2 \text{ м} \end{aligned}$$

Но, так как по разработанной методике скорость движения автомобиля Subaru Impreza превысила скоростное ограничение на данном участке УДС равное 60 км/ч, расчет остановочного пути был произведен для скорости движения максимально допустимой в данной ДТС [13,31]:

$$\begin{aligned} S_{02} &= (t_1 + t_2 + 0,5 \times t_3) \times \frac{V_d}{3,6} + \frac{V_d^2}{25,92 \times j} = \\ &= (1,0 + 0,1 + 0,5 \times 0,35) \times \frac{60}{3,6} + \frac{60^2}{25,92 \times 6,8} = 41,7 \text{ м} \end{aligned}$$

где t_1 – время реакции водителя автомобиля Subaru Impreza в данной ДТС: $t_1 = 1,0$ с;

t_2 , t_3 , j – тормозные характеристики автомобиля Subaru Impreza, в данной ДТС, $t_2 = 0,1$ с, $t_3 = 0,35$ с, $j = 6,8$ м/с²;

V_d – максимально допустимая в данной ДТС скоростью движения ТС, согласно требований п.10.2 ПДД РФ, равная 60 км/ч.

Удаление автомобиля Subaru Impreza, от места КСВ с автомобилем МАЗ 5516, в момент возникновения опасности для движения, которое в данном случае составило расстояние исходя из значения скорости движения, установленной по традиционной методике:

$$S_{y1} = \frac{t_{\text{оп}} \times V_{A1}}{3,6} = \frac{3,8 \times 58,6}{3,6} = 61,86$$

по разработанной методике

$$S_{y2} = \frac{t_{\text{оп}} \times V_{A2}}{3,6} = \frac{3,8 \times 71,9}{3,6} = 75,89$$

где $t_{\text{оп}}$ – время возникновения (обнаружения) опасности, $t_{\text{оп1}}$ составляло 3,8 с (заданно согласно постановлению должностного лица, назначившему проведение данной ДТЭ);

Следовательно, при условии движения автомобиля Subaru Impreza со скоростью, рассчитанной по традиционной методике (58,6 км/ч), установлено, что:

$$S_{O1} \approx 40,2 \text{ м} < S_{y1} \approx 61,86 \text{ м}$$

и в случае движения автомобиля с максимально допустимой в данной ДТС скоростью (60 км/ч) также установлено, что:

$$S_{O2} \approx 41,7 \text{ м} < S_{y2} \approx 75,89 \text{ м}$$

Таким образом, было установлено, что в обоих случаях водитель автомобиля Subaru Impreza имел объективную возможность предотвратить исследуемое ДТП, своевременно выполнив требования пп.1.3, 1.5, 8.1, 13.4 Правил дорожного движения РФ. Но при производстве расчетов по традиционной методике эксперт пришел бы к выводу, что водитель автомобиля Subaru Impreza двигался с допустимой в данной ДТС скоростью, а при определении фактической скорости движения по предлагаемой методике было установлено превышение скоростного ограничения на $\approx 11,9$ км/ч ($V_A - V_D = 71,9 \text{ км/ч} - 60 \text{ км/ч} = 11,9 \text{ км/ч}$) допущенное водителем автомобиля Subaru Impreza находится в причинно-следственной связи с данным ДТП.

Произведенное исследование означает, что в первом случае (при использовании экспертом действующей методики) водитель бы избежал установления факта нарушения им пунктов 10.1 ПДД (ч.1 Водитель должен вести транспортное средство со скоростью, ... Скорость должна обеспечивать водителю возможность постоянного контроля за движением транспортного средства для выполнения требований Правил...) и 10.2 ПДД (В населенных пунктах разрешается

движение транспортных средств со скоростью не более 60 км/ч...), а при проведении ДТЭ с использованием разработанных в диссертационном исследовании методики и алгоритмов, экспертом был бы установлен факт нарушения водителем скоростного режима, что является существенным для обеспечения контроля за исполнением ПДД РФ.

4.3.2 Проведение дорожно-транспортной экспертизы происшествия с участием автомобилей Volkswagen Polo и Toyota Camry (по расстоянию от места КСВ)

В данной дорожно-транспортной ситуации, произошедшей на автомобильной дороге общего пользования вне населенного пункта, автомобиль Volkswagen Polo (2014 года выпуска) совершил столкновение с выезжающим с примыкающей автомобильной дороги автомобилем Toyota Camry (2010 года выпуска).

Проведение дорожно-транспортной экспертизы по стандартному алгоритму:

1 этап – измерение полученных деформаций в результате КСВ. Используемая сегодня методика, как отмечено выше, предполагает определение повреждений ТС при помощи ручных средств измерений (линейки и устройства для измерения деформаций), наглядное представление данного этапа выполняемой ДТЭ изображено на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Измерение глубин внедрения на высоте 490 мм от опорной поверхности

В результате проведенных измерений были установлены следующие параметры повреждений: $C_1= 631$ мм, $C_2= 576$ мм, $C_3= 434$ мм, $C_4= 527$ мм, $C_5= 523$ мм, $C_6= 450$ мм, $L_t=1\ 200$ мм.

Время, затраченное на проведение первого этапа – 1 час 10 минут.

2 этап – Расчет затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля вручную с использованием справочных данных о жесткостных характеристиках кузова исследуемого автомобиля.

С учетом справочных сведений о коэффициентах А и В автомобиля Volkswagen Polo, работа сил на деформацию составляет:

$$E_{D1} = \sum_{i=1}^{n-1} w_i \times \left(\frac{B}{6} \times (C_i^2 + C_i \times C_{i+1} + C_{i+1}^2) + \frac{A}{2} \times (c_{i+1} + c_i) + G \right) \times (1 + \tan^2 \theta) =$$

$$= 579\ 237 \text{ Дж}$$

Учитывая результаты проведенных расчетов, скорость движения Volkswagen Polo – V_A перед КСВ с автомобилем Toyota Camry, может быть определена как:

$$V_{VW1} = 3,6 \sqrt{\frac{2[E_D]}{m}} = 3,6 \sqrt{\frac{2 \cdot [579\,237,84]}{1300}} = 107,5 \text{ км/ч}$$

Время, затраченное на проведение второго этапа ДТЭ – 52 минуты (определено по времени создания и сохранения файла).

Проведение дорожно-транспортной экспертизы по предлагаемой методике.

1 этап – измерение полученных деформаций в результате КСВ. Для оптимизации процесса исследования повреждений автомобиля Volkswagen Polo используется технология Lidar, при помощи которой была создана 3D-модель поврежденного автомобиля, представленная на рисунке 4.11 и преобразованная в облако точек, представленное на рисунке 4.12.



Рисунок 4.11 – 3D-модель автомобиля Volkswagen Polo



Рисунок 4.12 – 3D-модель автомобиля Volkswagen Polo, преобразованная в облако точек

Время, затраченное на проведение первого этапа – 15 минут.

2 этап – Определение затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля с использованием разработанного Программного обеспечения, использующего математический аппарат предлагаемой методики.

Результаты лазерного сканирования автомобиля Volkswagen Polo после ДТП были загружены в ПРСА в формате «.glb» и с учетом выбранной марки, модели и года выпуска, поврежденный автомобиль был сопоставлен со своей недеформированной 3D-моделью (имеющейся в базе разработанного ПО, состоящую из 1 170 3D-моделей автомобилей без повреждений) в результате чего в автоматизированном режиме были определены среднестатистические значения глубин внедрения, коэффициент вариации которых свидетельствует о возможности их использования.

На рисунках 4.13 - 4.14 представлен процесс обработки (сопоставления) 3D-моделей поврежденного и недеформированного состояний автомобиля Volkswagen Polo с целью определения параметров объемной деформации,

полученной в результате КСВ. Данная процедура происходит в автоматизированном режиме и не требует от эксперта дополнительных действий.



Рисунок 4.13 – Сопоставление 3D-моделей поврежденного и недеформированного состояний автомобиля Volkswagen Polo



Рисунок 4.14 – Сопоставление 3D-моделей поврежденного и недеформированного состояний автомобиля Volkswagen Polo

В результате производства расчетов с помощью разработанной ПРСА, экспертом было установлено, что скорость транспортного средства, в результате КСВ, в котором автомобиль Volkswagen Polo получил объемные деформации, составляла не менее $V_{v2}=86,9$ км/ч (производство расчетов с использованием ПРСА представлено на рисунке 4.15).

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

Количество точек: 10

Volkswagen
Polo
2014-2020 V
2014

Коэффициент вариации значений величин деформации:
CV = 14.85%

Ввести вручную
 Использовать результаты лазерного сканирования

Выбрать файл

Использовать сканирование/Volkswagen Polo.glb

Установить центр колес

Произвести расчет деформаций

Величины деформации:
 Неравный шаг

C1	0,637	м
C2	0,590	м
C3	0,431	м
C4	0,520	м
C5	0,598	м
C6	0,514	м
C7	0,401	м
C8	0,504	м
C9	0,587	м
C10	0,623	м

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

Ширина измеренной зоны объёмной деформации: 1.630 м

По всей ширине
 Произвольное расположение измеренной зоны

Колесная база: 2,700 м

Ширина игнорируемой зоны слева: 0,7 м

Ширина игнорируемой зоны справа: -0,2 м

Клиренс: м

Минимальная высота внедрения: м

Максимальная высота внедрения: 0,8 м

Масса авто: 1300 кг

Угол КСВ: 19 °

Энергия:	378987.56 Дж	Скорость:	86.93 км/ч
----------	--------------	-----------	------------

Очистить Расчет значений

Рисунок 4.15 – Результат расчета затрат кинетической энергии и соответствующей данным затратам скорость автомобиля Volkswagen Polo

Время, затраченное на проведение второго этапа – 8 минут.

Таким образом, в результате расчета традиционным способом было установлено, что автомобиль Volkswagen Polo двигался со скоростью $107,5 \pm 3$ км/ч, а при производстве расчетов по предлагаемой методике его скорость движения составляла $86,9 \pm 3$ км/ч, что на 19% меньше.

При проведении данной экспертизы, наличие у водителя автомобиля Volkswagen Polo технической возможности избежать исследуемого ДТП в данной дорожно-транспортной ситуации, может быть выражено следующим неравенством [28]:

$$S_{\text{ОП}} < S_{\text{УВ}},$$

где: $S_{\text{ОП}}$ – расстояние, которое преодолел автомобиля Toyota Camry в опасной для водителя автомобиля Volkswagen Polo зоне, согласно масштабной расчетной схемы ДТП (представленной на рисунке 4.16): $S_{\text{ОП}} \approx 10,5$ м – хорда дуги, т.е. от

момента пересечения правым габаритным углом автомобиля Toyota Camry правого края проезжей части дороги до положения правого габаритного угла в момент КСВ;
 $S_{УВ}$ – удаление автомобиля Volkswagen Polo от места КСВ с автомобилем Toyota Camry в момент возникновения опасности для движения.

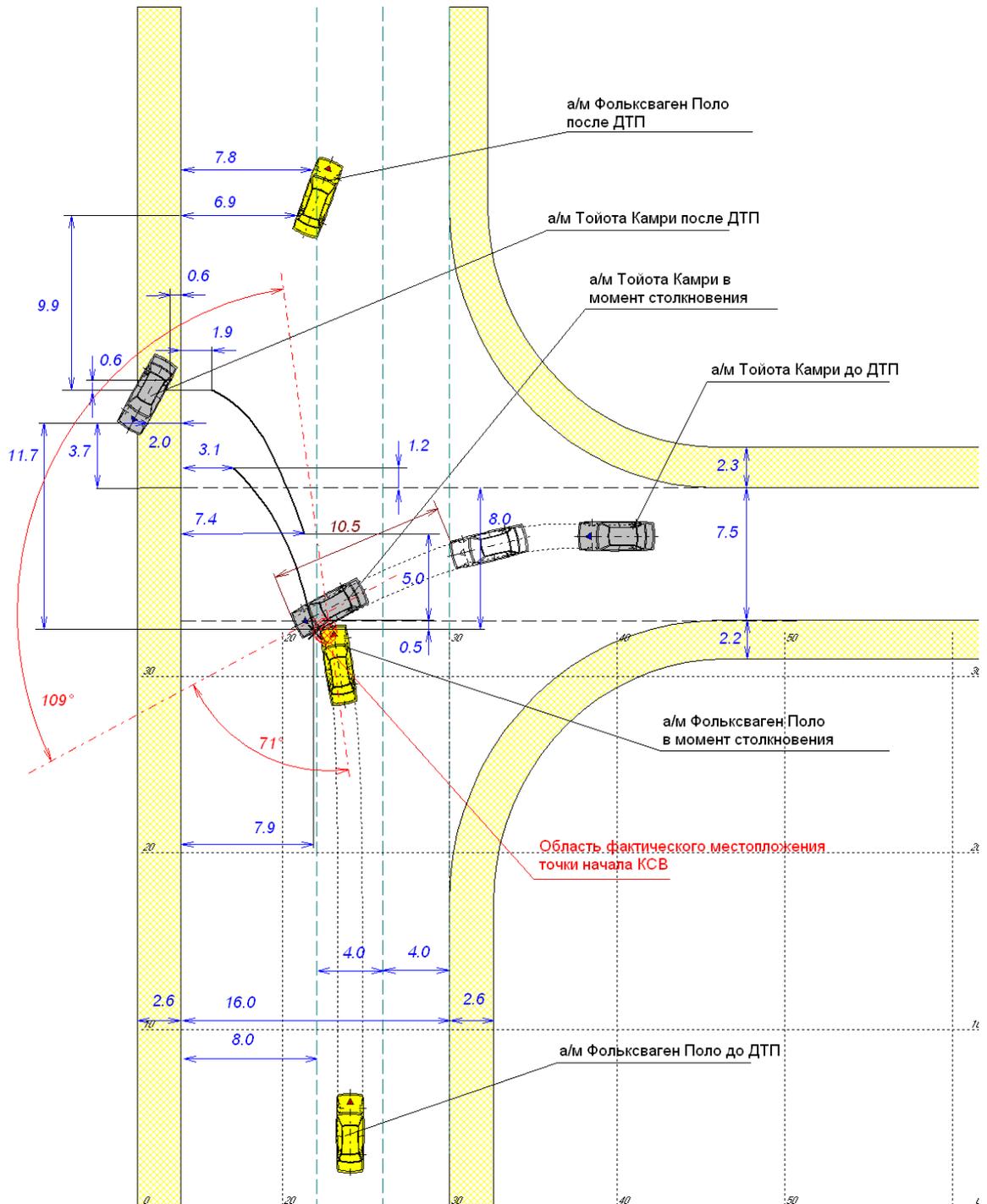


Рисунок 4.16 – Масштабная расчетная схема ДТП с участием автомобилей Volkswagen Polo и Toyota Camry

Так как при расчете по стандартной методике скорость движения автомобиля Volkswagen Polo превысила скоростное ограничение на данном участке автомобильной дороги равное 90 км/ч, для дальнейшего производства расчетов было определено, время, необходимое автомобилю Volkswagen Polo при движении с максимально допустимой в данной ДТС скоростью движения транспортных средств $V_D = 90$ км/ч для преодоления расстояния его удаления от места столкновения в момент начала маневра поворота налево автомобиля Toyota Camry при его фактической скорости движения – $V_{ТС}$ (определенной через расчет работы сил на перемещения и разворот по действующей методике расчета работы сил в рамках закона сохранения количества движения и равной не менее 21,8 км/ч):

$$t_{yvw1} = \frac{3,6 \times \left(\frac{S_{оп} \times V_{vw1}}{V_{ТС}} \right)}{V_D} = \frac{3,6 \times \left(\frac{10,5 \times 107,5}{21,8} \right)}{90} \approx 2,07 \text{ с}$$

Следовательно, за это время, автомобиль Toyota Camry при скорости $V_{ТС}=21,8$ км/ч проехал бы расстояние:

$$S_{yB1} = \frac{t_{yvw1} \times V_{ТС}}{3,6} = \frac{2,07 \times 21,8}{3,6} \approx 12,54 \text{ м}$$

В то же время, в случае установления скорости движения по разработанной методике (значение которой не превысило установленного ограничения), время для преодоления того же расстояния составило:

$$t_{yvw2} = \frac{3,6 \cdot \left(\frac{S_{оп} \times V_{vw2}}{V_{ТС}} \right)}{V_{vw2}} = \frac{3,6 \times \left(\frac{10,5 \times 86,9}{21,8} \right)}{86,9} \approx 1,73 \text{ с}$$

И соответственно, расстояние, которое проехал бы автомобиль Toyota Camry при скорости $V_{ТС}=21,8$ составило:

$$S_{yB2} = \frac{t_{yvw2} \times V_{ТС}}{3,6} = \frac{1,67 \times 21,8}{3,6} \approx 10,47 \text{ м}$$

Таким образом, по результатам проведения ДТЭ при использовании действующей методики определения скорости движения эксперт сделал бы следующие выводы: так как $S_{yB1} = 12,54 > S_{оп} \approx 10,5$ м, что с технической точки

зрения означает, что при движении автомобиля Volkswagen Polo с максимально допустимой в данной ДТС скоростью движения по центру своей полосы для движения, данное ДТП могло не иметь места, так как автомобиль Toyota Camry успевал полностью покинуть габаритный коридор движения автомобиля Volkswagen Polo.

С технической точки зрения, учитывая вышеизложенное, перемещение автомобиля Volkswagen Polo влево со скоростью не менее 107 км/ч находится в причинной связи с данным ДТП, а именно: если бы до ДТП водитель автомобиля Volkswagen Polo перемещался бы по центру своей полосы для движения с максимально допустимой в данной ДТС скоростью движения (90 км/ч), то данное ДТП могло не иметь места.

Учитывая вышеизложенное исследование, с технической точки зрения, в рамках проведения данной ДТЭ, водитель автомобиля Volkswagen Polo имел техническую возможность предотвратить исследуемое ДТП, в случае его движения на стадии сближения с максимально допустимой в данной ДТС скоростью движения по центру своей полосы.

Это также означает, что, двигаясь со скоростью движения не менее 107 км/ч (см. исследование выше), водитель автомобиля Volkswagen Polo сам поставил себя в такие условия, когда рабочая ситуация дорожного движения стала для него нерабочей, т.е. аварийной и требующей выполнения требований п.10.1ч.2 Правил дорожного движения РФ.

Следовательно, с учетом вышеизложенного, в данной дорожно-транспортной ситуации, действия водителя автомобиля Volkswagen Polo не соответствовали требованиям пп. 1.3, 1.5, 10.1, 10.3 Правил дорожного движения РФ, а это значит, что он имел объективную возможность предотвратить исследуемое дорожно-транспортное происшествие, своевременно выполнив требования пп. 1.3, 1.5, 10.1, 10.3 Правил дорожного движения РФ.

В свою очередь, при использовании предлагаемой методики, выводы эксперта, бы ли бы следующие: так как $S_{ybl} = 10,47 < S_{ол} \approx 10,5$ м, что с технической точки зрения, означает, что при движении автомобиля Volkswagen Polo со

скоростью движения равной 86 км/ч, данное ДТП не могло не иметь места, так как автомобиль Toyota Camry не успевал полностью покинуть габаритный коридор движения автомобиля Volkswagen Polo, создав опасность возникновения ДТП.

С технической точки зрения, учитывая вышеизложенное, перемещение автомобиля Volkswagen Polo со скоростью 86 км/ч не находится в причинно-следственной связи с данным ДТП, а именно:

Учитывая вышеизложенное исследование, с технической точки зрения, в рамках проведения данной ДТЭ, водитель автомобиля Volkswagen Polo не имел технической возможности предотвратить исследуемое ДТП.

Это также означает, что, водитель автомобиля Toyota Camry, не убедившись в безопасности выполняемого маневра создал аварийно-опасную ситуацию, нарушив пп. 1.3, 1.5, 8.1, 13.9 ПДД РФ, что находится в причинной связи с фактом возникновения изучаемого ДТП.

Следовательно, с учетом вышеизложенного, в данной дорожно-транспортной ситуации, действия водителя автомобиля Toyota Camry не соответствовали требованиям пп. 1.3, 1.5, 8.1, 13.9 Правил дорожного движения РФ, а это значит, что он имел объективную возможность предотвратить исследуемое дорожно-транспортное происшествие, своевременно выполнив требования пп. 1.3, 1.5, 8.1, 13.9 Правил дорожного движения РФ.

Таким образом, результаты проведения дорожно-транспортной экспертизы по действующей и предлагаемой методикам получились существенно отличающимися, что влияет на выводы эксперта при проведении данной ДТЭ.

Результаты сравнительного анализа результатов работы эксперта действующим общепринятым методом и по разработанной методике при расследовании обстоятельств 10 ДТП по административным, гражданским и уголовным делам Института безопасности дорожного движения СПбГАСУ представлены в таблице 4.2, таким образом, разница в установлении скорости движения составила от 9 до 22%, что является в ряде случаев принципиальным условием при проведении ДТЭ.

В большинстве рассмотренных случаев (8 из 10) определение скорости движения при проведении ДТЭ по предлагаемой методике привело к изменению

оценки действий водителей, а, следовательно, и их виновности в случившихся ДТП по сравнению с результатами экспертиз, выполняемых при помощи действующего методического аппарата. Выявленная разница в оценке скорости движения при проведении ДТЭ является существенной для обеспечения контроля за исполнением ПДД РФ и установления высокого уровня безопасности движения на российских дорогах [95].

Таблица 4.2 – Результаты сравнительного анализа проведения ДТЭ по действующей и разработанной методике

№ п/п	Автомобиль	Действующая методика			Разработанная методика		
		Установленная скорость движения, км/ч	Выявлено ли Нарушение п.10.2 (10.3) ПДД РФ, если выявлено, то находится ли оно в причинно-следственной связи с ДТП	Время, затраченное на производство измерений деформаций / расчетов	Установленная скорость движения, км/ч	Выявлено ли Нарушение п.10.2 (10.3) ПДД РФ, если выявлено, то находится ли оно в причинно-следственной связи с ДТП	Время, затраченное на производство измерений деформаций / расчетов
1	Subaru Impreza	58,6	Не выявлено	-/47 минут	71,9	Выявлено, находится в причинной связи	-/12 минут
2	Volkswagen Polo	107,5	Выявлено, находится в причинной связи	1 час 10 минут/ 52 минуты	86,9	Не выявлено	15 минут/ 8 минут
3	AUDI Q7	104,3	Не выявлено	1 час 27 минут/ 41 минута	127,1	Выявлено, находится в причинной связи	25 минут/ 10 минут
4	Opel Corsa	79,2	Выявлено, находится в причинной связи	45 минут/ 57 минут	86,1	Выявлено, находится в причинной связи	10 минут/ 9 минут
5	BMW 530	56,8	Не выявлено	1 час/ 1 час 10 минут	69,2	Выявлено, находится в причинной связи	15 минут/ 15 минут
6	Land Rover Discovery 4	74,3	Выявлено, находится в причинной связи	1 час 15 минут/ 48 минут	58,7	Не выявлено	20 минут/ 10 минут
7	Kia Optima	81,4	Не выявлено	55 минут/ 43 минуты	97,8	Выявлено, находится в причинной связи	10 минут/ 8 минут
8	Volkswagen Passat	81,6	Не выявлено	-/1 час	88,9	Не выявлено	-/10 минут

9	Ford Galaxy	103,6	Выявлено, находится в причинной связи	1 час 10 минут/ 40 минут	88,3	Не выявлено	15 минут/ 9 минут
10	AUDI A8	58,7	Не выявлено	1 час 20 минут/ 1 час	71,3	Выявлено, находится в причинной связи	30 минут/ 20 минут
Среднее:				1 час 8 минут/ 52 минуты	Среднее:		18 минут/ 11 минут

4.4 Оценка экономической эффективности результатов исследования, предлагаемых методов и инструментария

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 повышению производительности труда экспертов, что также целесообразно для государственных и других некоммерческих структур, деятельность которых непосредственно связана с выполнением ДТЭ.

Согласно апробации результатов применения разработанных методов и алгоритмов, представленной в таблице 4.2, время, затрачиваемое экспертом на получение необходимого объема данных о деформациях автомобилей-участников ДТП благодаря применению технологии Lidar, сократилось, в среднем, на 50 минут (с 68 до 18 минут), а выполнение расчетов с использованием разработанного ПО позволило снизить временные затраты, в среднем, на 41 минуту (с 52 до 11 минут).

В коммерческих организациях такая оптимизация работы эксперта и повышение производительности его труда приведет к положительному экономический эффекту, выраженному в увеличении объема полной суммы денежных средств, предъявляемых коммерческой организацией заказчиком экспертиз, в результате их выполнения.

Результаты расчетов экономического эффекта от применения предлагаемых методов и инструментария, разработанного при выполнении диссертационного исследования, для коммерческих организаций с различным количеством экспертов, выполняющих ДТЭ, представлены в таблице 4.3.

Вместе с тем, необходимо отметить о принятых допущениях в расчете:

1) экономический эффект в данном случае является показателем роста объема полной суммы денежных средств, полученных коммерческой организацией от заказчиков экспертиз (сумма всех полученных денежных средств), и не учитывает затрат на основные, накладные, общепроизводственные, общехозяйственные расходы и уплату налогов, связанных, с полученной суммой, и не является показателем чистой прибыли организации;

2) временные затраты на выполнение одной ДТЭ рассчитаны как сумма времени, затрачиваемого экспертом на: путь от местонахождения рабочего места и до места осмотра поврежденного автомобиля (оценочно для г. Санкт-Петербурга равное 1,5 ч.) и обратно, на измерение глубин внедрения или создание 3D-модели деформированного автомобиля при помощи технологии Lidar, на производство расчетов скорости движения по полученным транспортным средством деформациям, на оформление экспертизы (оценочно, равное 1,5 ч.); таким образом разница составила 1,5 часа: 6,5 часов на выполнение одной ДТЭ по действующей методике и 5 часов с применение результатов диссертационной работы;

3) расчеты произведены при условии полной загруженности эксперта при 40-часовой рабочей недели;

4) стоимость выполнения одной ДТЭ для заказчика, оценочно, для СЗФО равна 35 000 рублей;

5) рабочее время в месяц принято равным 175 часам (для марта 2022 г.), в год – 1 813 часов (для 2022 г. при 40-часовой рабочей неделе и с учетом 28 календарных дней отпуска).

Таблица 4.3 – Экономический эффект от внедрения в практическую деятельность результатов исследования

Показатель	Количество выполняемых экспертиз, шт.			Объем полной суммы денежных средств, полученных коммерческой организацией от заказчиков экспертиз, руб.		
	В неделю	В месяц	В год	В неделю	В месяц	В год
1 эксперт						
Действующими методами	6	26	278	210 000	910 000	9 730 000
Предлагаемыми методами и инструментарием	8	35	362	280 000	1 225 000	12 670 000
Разница	2	9	84	70 000	315 000	2 940 000
3 эксперта						
Действующими методами	18	78	834	630 000	2 730 000	29 190 000
Предлагаемыми методами и инструментарием	24	105	1 086	840 000	3 675 000	38 010 000
Разница	6	27	252	210 000	945 000	8 820 000
5 экспертов						
Действующими методами	30	130	1 390	1 050 000	4 550 000	48 650 000
Предлагаемыми методами и инструментарием	40	175	1 810	1 400 000	6 125 000	63 350 000
Разница	10	45	420	350 000	1 575 000	14 700 000

Таким образом, оптимизация труда с применением предлагаемых методов и функционала, позволила сократить временные затраты, связанные с проведением ДТЭ на 23 %, что для коммерческих организаций позволит увеличить годовой объем полной суммы денежных средств, полученных коммерческой организацией от заказчиков экспертиз, на 30 %.

Выводы по главе 4

1. Разработана База данных значений коэффициента Гука, модуля упругости I рода (Юнга) и аргумента поглощения автомобилей категорий M₁ для производства ДТЭ
2. Разработана Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций, направленная на повышение производительности и качества работы экспертов.
3. Произведен сравнительный анализ результатов работы эксперта действующим общепринятым методом и по разработанной методике при расследовании обстоятельств ДТП по административным, гражданским и уголовным делам, в результате чего разница в установлении скорости движения составила от 9 до 22%.
4. Доказана принципиальная важность определения фактической скорости движения для оценки действий водителей и определения степени их виновности в случившихся ДТП.
5. Подтверждено влияние результатов исследований на определение технической возможности водителя предотвратить возникновение аварийно-опасной ситуации,
6. Произведена оценка роста производительности труда и экономической эффективности от внедрения в практическую деятельность предлагаемых методики и инструментария проведения ДТЭ, выраженных в увеличении годового объема полной суммы денежных средств, полученных коммерческой организацией от заказчиков экспертиз, на 30% и снижении временных затрат, связанных с проведением ДТЭ, на 23 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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%.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

а/м	– автомобиль
АТС	– автотранспортное средство
БД	– база данных
БДД	– безопасность дорожного движения
ВОЗ	– Всемирная организация здравоохранения
ДД	– дорожное движение
ДТП	– дорожно-транспортное происшествие
ДТС	– дорожно-транспортная ситуация
ДТТ	– дорожно-транспортный травматизм
ДТЭ	– дорожно-транспортная экспертиза
ИБДД	– Институт безопасности дорожного движения
КСВ	– контактно-следовое взаимодействие
ЛО	– Ленинградская область
н/д	– нет данных
ОБДД	– организация безопасности дорожного движения
ПДД	– правила дорожного движения
ПО	– Программное обеспечение
ПРСА	– Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций
РФ	– Российская Федерация
СПбГАСУ	– Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
СЗФО	– Северо-Западный федеральный округ
США	– Соединенные Штаты Америки
ТС	– транспортное средство
УДС	– улично-дорожные сети
ЭВМ	– электронно-вычислительная машина
Euro NCAP	– The European New Car Assessment Programme
NHTSA	– National Highway Traffic Safety Administration (Национальное управление безопасностью движения на трассах Министерства Транспорта США)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С.С., Абрамов А.С., Зинин А.М. [и др.] Особенности проведения комплексных экспертиз по материалам видеозаписей: учебно-информационное пособие для экспертов КЭВ. Некоммерч. партнерство «Палата судеб. Экспертов» [и др.]. - Москва: СУДЭКС, 2011. - 222 с.
2. Автотехнические судебные экспертизы [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://pravorub.ru/articles/yekspertnaj_dejtnost/avtotehnicheskie_sudebnye_ykspertizy/
3. Агапов В.П. «Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций» Москва, 2004 г. – 248с.
4. Академик [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://academic.ru/>
5. Алгоритм CRASH3. Определяем жесткость передней части автомобиля [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pravorub.ru/articles/40186.html>
6. Андреев, А. П. Эффективность автоматизированных систем проектирования в сфере планирования безопасной дорожной среды / А. П. Андреев, Е. В. Голов, Е. В. Сорокина // Магистратура - автотранспортной отрасли : материалы V Всероссийской межвузовской конференции, Санкт-Петербург, 23 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 58-62.
7. Астанин В.В., Никонов В.Н., Сиренко А.А. Влияние реологических характеристик матрицы на формирование боралюминиевого композита. // Механика композиционных материалов. – 1988. – №5. – С. 878...883
8. Афанасьев, А. С. Безопасность дорожного движения: современные технические средства контроля транспортных средств / А. С. Афанасьев, Р. Н. Сафиуллин. – Санкт-Петербург : Свое издательство, 2020. – 162 с. – ISBN 978-5-4386-1894-2.
9. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1993. – 271с.

10. Балакин В.Д. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебное пособие. – Омск: Издательство СибАДИ, 2005. - 136с.
11. Басков, В. Н. Особенности экспертизы ДТП при наезде на пешехода / В. Н. Басков, Я. И. Литовченко // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Саратов, 25 апреля 2018 года. – Саратов: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2018. – С. 87-91.
12. Безопасность на автомобильном транспорте / Р. Р. Сафиуллин, Е. П. Доронина, Н. М. Моргунов [и др.]. – Москва-Берлин : ООО «Директ-Медиа», 2021. – 388 с. – ISBN 978-5-4499-2656-2. – DOI 10.23681/619033.
13. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта – Л.: Лениздат, 1984. – 304с.
14. Васильева Н. В. К вопросу обеспечения равномерности и безопасности движения автомобильного транспорта в городской среде / Н. В. Васильева // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 4(51). – С. 128-132.
15. Вахламов В.К. Подвижной состав автомобильного транспорта. – М.: Изд. центр «Академия», 2003. – 480с.
16. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.who.int/ru>.
17. Гасанов, Т. Г. К установлению характеристик динамики процесса столкновения транспортных средств и наезда на препятствие / Т. Г. Гасанов, М. Р. Гусейнов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2011. – № 2(21). – С. 77-82
18. Голов Е.В., Волков А.С., Маклаков Н.С. Моделирование дорожно-транспортных происшествий при помощи метода конечных элементов. - Сборник научных трудов молодых ученых кафедры Наземных транспортно-технологических машин – 2017 - 34-41 с.
19. Голов Е.В., Евтюков С.С. «Современный метод учета дорожно-транспортных происшествий как способ организации работы дорожных служб для повышения

общего уровня безопасности дорожного движения» - Материалы I всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания» Санкт-Петербург, 2017 - с.257 - 261

20. Голов, Е. В. Дифференцирование жесткости передней части автомобиля / Е. В. Голов, С. С. Евтюков, Я. В. Васильев // Информационные технологии и инновации на транспорте : Материалы VI Международной научно-практической конференции, Орёл, 20 мая 2020 года / Под общей редакцией А.Н. Новиков. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2020. – С. 293-299.

21. Голов, Е. В. Повышение точности расчета скорости движения в момент ДТП при столкновениях с неполным перекрытием части кузова автомобиля / Е. В. Голов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2021. – Т. 18. – № 3(79). – С. 306-316. – DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-3-306-316.

22. Голов, Е. В. Фактор скорости в системе безопасности дорожного движения / Е. В. Голов // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 3(86). – С. 139-148. – DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-3-139-148.

23. Гулай А.В., Зайцев В.М. Интеллектуальные мехатронные системы с дистанционным взаимодействием компонентов: структура и функции // Наука и техника. 2015. №4

24. Добромиров, В. Н. Организация безопасного дорожного движения на пешеходных переходах / В. Н. Добромиров, С. С. Евтюков, Е. В. Голов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6(65). – С. 265-270. – DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-265-270.

25. Добромиров, В. Н. Современные технологии первичного осмотра места дорожно-транспортного происшествия / В. Н. Добромиров, С. С. Евтюков, Е. В. Голов // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 2(61). – С. 232-239. – DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-232-239.

26. Домке Э.Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 288 с.

27. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2020 год. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России», 2021, 79 с.
28. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Дорожно-транспортные происшествия: расследование, реконструкция, экспертиза [учебно-практическое пособие] Санкт-Петербург 2008
29. Евтюков С.С. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз» Санкт-Петербург, 2020 г. – 355 с.
30. Евтюков С. С. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук «Оценка скорости транспортных средств при проведении дорожно-транспортных экспертиз» Санкт-Петербург, 2014 г. – 173 с.
31. Евтюков С.А., Васильев Я.В. «Справочник по экспертизе ДТП» Санкт-Петербург, 2015 г. - 512 с.
32. Евтюков С.А., Васильев Я.В., Евтюков С.С., Голов Е.В. Методы измерения и прогнозирования изменения температуры во времени и по глубине дорожной одежды (при оценке уровня безопасности дорожного движения) – Монография, ИД «Петрополис» - 2017 – 208 с. ISBN 978-5-9676-0877-3
33. Евтюков С.А., Васильев Я.В., Евтюков С.С., Голов Е.В. Прогнозирование изменения технико-эксплуатационных показателей подсистемы автомобильных дорог в системе ВАДС - Монография, ИД «Петрополис» - 2017 – 232 с. ISBN 978-5-9676-0878-0
34. Евтюков С.С., Голов Е.В., Коломеец А.А., Иванов Н.А. Технический мониторинг безопасности дорожного движения инженерных сооружений - Монография, ИД «Петрополис» - 2019 – 131 с. ISBN 978-5-9676-1080-6
35. Евтюков С.С., Голов Е.В., Направления определения затрат кинетической энергии на деформацию анизотропных тел - Сборник докладов XIV международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии в транспортных системах» - 543-547 с.

36. Евтюков, С. А. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / С. А. Евтюков, Я. В. Васильев ; С. А. Евтюков, Я. В. Васильев. – СПб. : ДНК, 2004. – ISBN 5-901562-47-X.
37. Евтюков, С. А. Совершенствование методики вычисления остановочного пути / С. А. Евтюков, Н. В. Подопригора // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 4(33). – С. 214-219.
38. Евтюков, С. С. Аудит безопасности дорожного движения на автомобильных дорогах регионального значения в Ленинградской области / С. С. Евтюков, Е. В. Голов // Транспорт Урала. – 2017. – № 2(53). – С. 85-89. – DOI 10.20291/1815-9400-2017-2-85-89.
39. Евтюков, С. С. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля / С. С. Евтюков, Е. В. Голов // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 1(72). – С. 152-157. – DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-152-157.
40. Евтюков, С. С. Роль человеческого фактора при возникновении дорожно-транспортного происшествия / С. С. Евтюков, Е. В. Голов, А. А. Коломеец // Транспортное дело России. – 2019. – № 2. – С. 196-199.
41. Ермолович М.В. Экспертиза по делам о ДТП. /Под ред. Басецкого И.И. Из-во «Амалфея», 2001. – 96 с.
42. Жанказиев, С. В. Анализ состояния дорожного движения методом экспертных оценок / С. В. Жанказиев, С. Х. Нгуен // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – № 1(87). – С. 7-10.
43. Зенкевич О. С. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир. – 1975. – 541с
44. Зотов Б.Л. Расследование и предупреждение автотранспортных происшествий. – М.: Юрид. лит., 1972 – 192с.
45. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 255.
46. Исследования аналитического агентства Автостат [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/research/>

47. Калявин В.П. Транспорт: толковый словарь. СПб.: Элмор, 2003. – 488с.
48. Капский Д.В. Прогнозирование аварийности в дорожном движении. – Мн.: БНТУ, 2008.–243с.
49. Квитчук, А. С. Государственная политика по созданию правового комплекса обеспечения безопасности дорожного движения / А. С. Квитчук // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2005. – № 2(26). – С. 97-104.
50. Квитчук, А. С. К вопросу о выявлении и привлечении к ответственности водителей, управляющих транспортными средствами в состоянии опьянения, в зарубежных странах / А. С. Квитчук, Е. В. Болотина // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2008. – № 1(37). – С. 51-56.
51. Квитчук, А. С. Статистико-правовой анализ в оценке безопасности дорожного движения / А. С. Квитчук, М. А. Квитчук // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 9-4(86). – С. 713-716.
52. Классификация легковых автомобилей по размер [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sdamzavas.net/2-61899.html>
53. Компьютерное моделирование обстоятельств ДТП [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pc-crash.sudexa.ru/>
54. Кравченко, П. А. Концепция обеспечения нулевой смертности на дорогах России как механизм борьбы с причинами дорожно-транспортных происшествий / П. А. Кравченко, С. В. Жанказиев, Е. М. Олещенко // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 3-7.
55. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы. М.: ЦНИИСЭ, 1971 – 112с.
56. Кристи Н.М. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы: справочное пособие для экспертов-автотехников. М.:ВНИИСЭ, 1988. – 72.
57. Куракина Е.В., Евтюков С.С., Голов Е.В., Реконструкция дорожно-транспортных происшествий - Монография, ИД «Петрополис» - 2017 – 204 с. ISBN 978-5-9676-0874-2

58. Куракина, Е. В. Повышение уровня безопасности дорожного движения в системе "Участник дорожного движения - Транспортное средство - Дорога - Внешняя среда" / Е. В. Куракина, А. А. Складорова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17. – № 4(74). – С. 488-499. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-4-488-499.
59. Кураксин, А. А. Мониторинг транспортных потоков путем обезличенного детектирования устройств, транслирующих сигнал Bluetooth / А. А. Кураксин, А. В. Шемякин // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 10(292). – С. 17-21.
60. Курганов, В. М. Статистический анализ роли "человеческого фактора" в аварийности транспортных потоков / В. М. Курганов // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2016. – № 1. – С. 87-90.
61. Курганов, В. М. Факторы региональных различий аварийности дорожного движения / В. М. Курганов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2017. – № 2. – С. 149-157.
62. Лаврентьева, И. С. Теоретико-правовые аспекты совершенствования административного законодательства в сфере безопасности дорожного движения и отдельных положений кодекса об административных правонарушениях / И. С. Лаврентьева, А. С. Квитчук // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. – 2019. – № 3(83). – С. 35-42. – DOI 10.35750/2071-8284-2019-3-35-42.
63. Лазарев, Д. А. Повышение эффективности проведения дорожно-транспортной экспертизы на основе теоретического подхода при изучении процесса торможения / Д. А. Лазарев, И. А. Новиков // Альтернативные транспортные технологии. – 2018. – Т. 5. – № 1(8). – С. 286-292.
64. Лазарев, Ю. Г. Методологические аспекты планирования сети автомобильных дорог / Ю. Г. Лазарев. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2018. – 75 с. – ISBN 978-5-7310-4324-3.

65. Лазарев, Ю. Г. Планирование развития дорожной сети с учетом принципов многокритериальной оптимизации / Ю. Г. Лазарев, Н. А. Ермошин, И. В. Сенцов // Путь навигатор. – 2019. – № 38(64). – С. 24-31.
66. Лазарев, Ю. Г. Показатели обеспечения безопасности транспортных систем в интересах реальной экономики / Ю. Г. Лазарев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2018. – № 1(43). – С. 61-65.
67. Лазарев, Ю. Г. Предложения по выявлению и сокращению опасных участков концентрации дорожно-транспортных происшествий / Ю. Г. Лазарев, Е. Е. Медрес // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2016. – № 3(37). – С. 56-60.
68. Лазарев, Ю. Г. Транспортная инфраструктура (автомобильные дороги) / Ю. Г. Лазарев. – Германия : LAP LAMBERT, 2015. – 173 с. – ISBN 978-3-659-32046-0.
69. Легковой автомобиль [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/140947>
70. Ложкин, В. Н. Прогнозирование и сервисная диагностика безопасности автотранспорта при неблагоприятных дорожных и метеорологических условиях / В. Н. Ложкин, О. В. Ложкина, И. А. Онищенко // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2018. – № 1(43). – С. 6-11.
71. Мавлютов Р.Р. Концентрация напряжений в элементах конструкций. – М.: Наука. – 1996. – 240с
72. Мардимасова Т.Н., Никонов В.Н. Моделирование процесса формирования качества деталей при больших пластических деформациях. – Уфа: Гилем. – 1997. – 38 с.
73. Медрес, Е. Е. Факторы, влияющие на равномерность движения автомобильного транспорта в условиях насыщенных транспортных потоков / Е. Е. Медрес, Е. В. Голов, Т. И. Бабенко // Транспортное дело России. – 2017. – № 2. – С. 89-90.
74. Мяченков В.И., Мальцев В.П., Майборода В.П. и др. «Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник» Москва, 1989. — 520 с.

75. Не гони: как влияет превышение скорости на тяжесть ДТП [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autocentre.ua/avtopravo/pdd-i-bezopasnost/ne-goni-kak-vliyaet-prevyshenie-skorosti-na-tyazhest-dtp-341049.html>
76. Никонов В. Н. Классификация методов реконструкции обстоятельств ДТП, применяемых в мировой практике, и их допустимость в качестве доказательства в суде // Материалы Всероссийской конференции «Реконструкция обстоятельств дорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Правовые и методические вопросы судебной экспертизы». Уфа, 24-25 апреля 2008 г.
77. Никонов В. Н. Метод конечных элементов и судебная инженерно-техническая прочностная экспертиза. – Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Реконструкция обстоятельств дорожно-транспортного происшествия при проведении судебных экспертиз. Правовые и методические вопросы судебной экспертизы». Уфа, 24-25 апреля 2008г.
78. Никонов В. Н. Реконструкция обстоятельств ДТП: Введение в современные методы экспертных исследований. Использование краш-тестов // Издательские решения, 2016 – 126 с.
79. Никонов В. Н., Куприянов А. А. Экспертиза механизма дорожно-транспортных происшествий // Уголовный процесс. 2005. № 6. С.53-57.
80. Никонов В.Н. Некоторые особенности алгоритмов расчетов больших пластических деформаций. // Механика и прочность авиационных конструкций. Сборник докладов Российской научно-технической конференции. – Уфа, 2001. – с.184-189
81. Никонов В.Н. Уравнения состояния среды с металлографической структурой и алгоритмы расчета больших пластических деформаций элементов конструкций. Уфа, УГАТУ – 1998. – 152с.
82. Никонов, В.Н. Классификация математических моделей ДТП и их допустимость в судебном процессе / В.Н. Никонов // Законность. – 2007. – № 5(871). – С. 30-34.

83. Новиков, А. Н. Разработка мероприятий по снижению дорожно-транспортной аварийности по вине водителей в состоянии алкогольного опьянения / А. Н. Новиков, М. В. Кулев, А. В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 4(55). – С. 97-104.
84. ОДМ 218.6.015-2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации»
85. Определение по видеозаписям, фиксирующим событие дорожно-транспортного происшествия, положения и параметров движения его участников : методические рекомендации для экспертов / С. М. Петров, А. Г. Бояров, О. О. Власов [и др.]. – Москва : Российский Федеральный центр судебной экспертизы при Министерстве юстиции Российской Федерации, 2016. – 88 с. – ISBN 978-5-91133-156-6.
86. Официальный веб-сайт европейской программы оценки новых автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.euroncap.com/ru>
87. Петров, С. М. Исследование материалов видеозаписи с целью установления обстоятельств дорожно-транспортного происшествия / С. М. Петров // Теория и практика судебной экспертизы. – 2013. – № 4(32). – С. 62-82.
88. Повышение безопасности движения автомобилей на основе анализа аварийности и моделирования ДТП / В. А. Корчагин, С. А. Ляпин, В. Э. Клявин, В. В. Ситников // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6-2. – С. 251-256.
89. Подопригора, Н. В. Методика оценки влияния содержания влаги в тормозной жидкости на эффективность срабатывания тормозной системы / Н. В. Подопригора, В. Н. Добромиров, П. А. Степина // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 3(68). – С. 179-183. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-179-183.
90. Подопригора, Н. В. Определение параметров процесса торможения автотранспортных средств при реконструкции и экспертизе ДТП / Н. В. Подопригора // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 1(48). – С. 93-102.

91. Подопригора, Н. В. Совершенствование методики определения тормозных параметров при реконструкциях и экспертизах ДТП / Н. В. Подопригора // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 6(35). – С. 143-150.
92. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gibdd.ru/stat/>
93. Постановление правительства Российской Федерации о Федеральной Целевой программе «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 - 2012 годах» от 20.02.2006 №100.
94. Постановление Правительства РФ «О федеральной целевой программе "Повышение безопасности дорожного движения в 2013 - 2020 годах» от 3 октября 2013 г. N 864
95. Правила дорожного движения Российской Федерации
96. Приказ ФДС РФ от 23.07.1998 N 168 – Правила учета и анализа дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации
97. Прудовский, Б. Д. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования / Б. Д. Прудовский, А. В. Терентьев // Записки Горного института. – 2015. – Т. 211. – С. 86-90.
98. Пучкин В.А., Лозовой В.И. Справочно-нормативные материалы для эксперта-автотехника. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002 г.
99. Русанов О.А. «Применение метода конечных элементов в расчётах конструкций автомобильной техники» Москва, 2006 – 56 с.
100. Сборник примеров заключений эксперта по объектам судебной автотехнической экспертизы : Практическое пособие для экспертов / В. Г. Григорян, И. В. Замараев, Д. А. Николаев, О. В. Попова. – Москва : Российский федеральный центр судебной экспертизы при Министерстве юстиции Российской Федерации, 2018. – 152 с. – ISBN 978-5-91133-188-7.
101. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021662158 Российская Федерация. Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций : № 2021661136 : заявл. 14.07.2021 : опублик. 23.07.2021 / Е. В. Голов ; заявитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

102. Сильянов В.В. Повышение безопасности движения на дорогах – Автомобильные дороги, 1980, № 4, с. 11.

103. Сильянов, В. В. Влияние на безопасность движения ограничения скорости в зоне пересечений автомобильных дорог / В. В. Сильянов, Д. В. Оськин // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2007. – № 5. – С. 59-61.

104. Сильянов, В. В. Научные проблемы повышения безопасности дорожного движения / В. В. Сильянов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2007. – № 1. – С. 103-105.

105. Сильянов, В. В. Приоритеты научных и практических работ в области безопасности дорожного движения / В. В. Сильянов // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 2(57). – С. 1-2.

106. Системы классификации легкового автотранспорта [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Системы_классификации_легкового_автотранспорта

107. Скорость автомобиля и безопасность [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://city4people.ru/post/blog_333.html

108. Смирнова С.А. Эксперт в правоприменительном процессе – СПб:, Питер, 2001. – 256 с.

109. Степина П.А. Разработка методики совершенствования автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий: Дисс. канд. техн. наук.- СПб, 2010.- 168 с.

110. Степина, П. А. Реакция водителя ТС на изменение внешней среды в состоянии алкогольного опьянения / П. А. Степина, Н. В. Подопригора // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5(70). – С. 196-200. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-196-200.

111. Тартаковский, Д. Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий / Д. Ф. Тартаковский ; Д. Ф. Тартаковский ; Ассоциация юридический центр. – Санкт-Петербург : Изд-во Р. Асланова "Юридический центр Пресс", 2006. – 266 с. – ISBN 5-94201-409-4.
112. Трофименко, Ю. В. Методические подходы к обеспечению транспортной безопасности в России и странах Европейского союза / Ю. В. Трофименко // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 6(37). – С. 24-29.
113. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru>
114. Федеральное дорожное агентство [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/>
115. Федоров, В. А. Кардинальное совершенствование законодательного обеспечения деятельности по предупреждению причин возникновения ДТП в России / В. А. Федоров, П. А. Кравченко // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 2(45). – С. 14-18.
116. Якимов А.Ю. Независимая техническая экспертиза транспортных средств. Материалы 8-ой международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». Санкт-Петербург, Россия, 2008.
117. Batista M. The study of traffic accidents-methods and their reliability. 2017 10.13140/RG.2.2.16893.67042.
118. Bringing you the best of automotive industry [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.caricos.com/>
119. Consolazio G.R., Chung J.H., Gurley K.R. Impact simulation and full scale crash testing of a low profile concrete work zone barrier. // Computers and Structures. – 2003. – V.81. – P.1359-1374
120. CRASH 3 Technical Manual. US Department of Transportation, Cambridge: NHTSA, 1986 – 458 с.
121. Databases and Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.nhtsa.gov/research-data/databases-and-software>

122. El-Tawil S., Severino E., Fonseca P. Vehicle Collision with Bridge Piers. // *Journal of Bridge Engineering*. – 2005. – May/June. – P.353
123. Euro NCAP [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Euro_NCAP
124. Evtiukov, S. Finite element method for reconstruction of road traffic accidents / S. Evtiukov, E. Golov, G. Ginzburg // *Transportation Research Procedia*, Saint Petersburg, 27–29 сентября 2018 года. – Saint Petersburg: Elsevier B.V., 2018. – P. 157-165. – DOI 10.1016/j.trpro.2018.12.058.
125. Evtukov, S. Adhesion of car tires to the road surface during reconstruction of road accidents / S. Evtukov, E. Golov // *E3S Web of Conferences : Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019, Moscow, 20–22 ноября 2019 года*. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202016403022.
126. Evtukov, S. Prospects of scientific research in the field of active and passive safety of vehicles / S. Evtukov, E. Golov, T. Sazonova // *MATEC Web of Conferences*, Novosibirsk, 16–19 мая 2018 года. – Novosibirsk: EDP Sciences, 2018. – P. 04018. – DOI 10.1051/matecconf/201823904018.
127. Evtukov, S. S. Innovative safety systems for modern vehicles / S. S. Evtukov, E. V. Golov, N. A. Ivanov // *T-Comm*. – 2019. – Vol. 13. – No 6. – P. 71-76. – DOI 10.24411/2072-8735-2018-10283.
128. Evtuyukov S., Vasilev Y., Voronin V., Golov E., Differentiating the stiffness of the side of the car [Дифференцирование жесткости боковой части автомобиля] – *MATEC Web of Conferences* 341, 00035 (2021) - 1-10 p.
129. Evtuyukov, S. Improving the accuracy of stiffness coefficient calculation when estimating the kinetic energy spent on vehicle deformation / S. Evtuyukov, E. Golov, Ja. Rajczyk // *Architecture and Engineering*. – 2020. – Vol. 5. – No 1. – P. 45-50. – DOI 10.23968/2500-0055-2020-5-1-45-50.
130. Kirkpatrick S.W., Simons J.W., Antoun T.H. Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models. // *IJCrash'98 – International Crashworthiness Conference*, Lan S., Crawford J.E., Xin X. Development of Shallow Footing Anti-ram

Bollard System Through Modeling and Testing. // 1-st International Conference on Analysis and Design

131. Kubiak P., Woźniak M., Karpushkin V., Jozwiak P., Ozuna G., Madziara S., Najbert M., Szosland A. (2015). Method of Velocity Determination Through Measurements of the Vehicle Body Deformation – Plane Approximation Method. 1091-1096. 10.13140/RG.2.1.5113.2005.

132. Mitunevicius V., Nagurnas S., Unarski J., Wojciech W. Evaluation of veracity of car braking parameters used for the analysis of road accidents. TRANSPORT. 2007, 22. p.307-311.

133. R.R. McHenry, Development of a computer program to aid the investigation of highway accidents. Tech.Rep.DOT/HS 800 621, Contact Number FH-11-7526, Cornell Aeronautical Laboratory, Inc. (CALSPAN Corp.), December 1971.

134. R.R. McHenry, Mathematical Reconstruction of highway accidents. Washington, D.C.: DOT HS 801-405, Calspan Report No. ZQ-5341-V-2, 1975.

135. Research of braking peculiarities of used cars – Transport - 2002. - № 3. - Vol. 17. - p. 85-90.

136. Wierciński J., Reza A. Wypadki drogowe Vademecum biegłego sądowego – Instytut Ekspertyz Sądowych, Krakow, 2010 1094 p.

137. Zagadnienia bezpieczeństwa samochodu. Jerzy Wicher/ Oficyna wydawnicza politechniki warszawskiej Warszawa 1998.

138. Zaouk A., Bedewi N., Kan C., Marzougui D. Validation of non-linear finite element vehicle model using multiple impact date. – The George Washington University, NCAC

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Унифицированные значения коэффициентов жесткости)

Таблица П.А.1 – Унифицированные значения коэффициентов жесткости по классическому алгоритму Crash 3 для классов легковых а/м (применимы для ТС до 1996 года выпуска)

Значение		Класс ТС				
		1	2	3	4	5
Колесная база, см		205 - 238	238 - 258	258 - 280	280 - 298	298 - 312
Масса, см		1000	1385	1609	1926	2206
Коэффициенты жесткости	Фронтальный А, Н/см В, Н/см ²	528.2	454.4	556	623.5	569.7
		32.4	29.8	38.6	23.3	25.5
	Задний А, Н/см В, Н/см ²	640.7	684.1	718.8	624.7	520
		26.3	28.1	30.1	38.83	48.3
	Боковой А, Н/см В, Н/см ²	135.2	246	303.6	250.5	309.2
		25.5	46	39.4	34.8	32.5

Таблица П.А.2 – Унифицированные значения коэффициентов жесткости для классов легковых а/м (применимы для ТС после 1996 года выпуска)

Значение		Класс ТС				
		1	2	3	4	5
Масса, кг		945	1119	1332	1669	1756
Колесная база, см		205 – 241	241 – 258	258 – 280	280 – 298	более 298
Габаритная длина, см		403	443	484	522	551
Габаритная ширина, см		165	172	177	188	189
Колея, см		140	144	149	152	152
Коэффициенты жесткости	Фронтальный А, Н/см В, Н/см ²	316	324	362	377	506
		49.7	45.1	48.3	46.0	78.2
	Задний А, Н/см В, Н/см ²	302	284	332	326	512
		37.5	34.1	35.7	32.4	95.2
	Боковой А, Н/см В, Н/см ²	155	175	170	240	240
		41.2	45.7	53.6	65.5	65.5

Таблица П.А.3 – Унифицированные значения коэффициентов жесткости для классов а/м других категорий (применимы для ТС после 1996 года выпуска)

Значение		Класс ТС						
		Микроавтобусы		Фургоны		Пикапы		Тягачи
Масса, кг		1520	2286	1587	2196	1283	2008	7883
Колесная база, см		< 293	> 293	< 265	>265	< 290	>290	Любая
Габаритная длина, см		454	479	400	487	454	484	582
Габаритная ширина, см		182	203	168	189	165	197	244
Колея, см		154	175	145	148	139	165	202
Коэффициенты жесткости	Фронтальный А, Н/см В, Н/см ²	541 93.1	628 106.7	466 75.1	385 47.2	466 75.1	385 47.2	1751 689.7
	Задний А, Н/см В, Н/см ²	492 81.7	547 97.8	453 75.1	509 84.8	453 75.1	509 84.8	1751 689.7
	Боковой А, Н/см В, Н/см ²	168 53.8	240 65.5	180 63.5	137 27.6	180 63.5	137 27.6	1751 689.7

Таблица П.А.4 – Фронтальные коэффициенты жесткости, унифицированные по классу и году выпуска ТС

Класс	Год выпуска	А, Н/см	В, Н/см ²
Легковые автомобили с колесной базой 2,05-2,41 м	1980-1989	329,8	59,7
	1990-1999	387,0	75,6
	2000-2009	-	-
	Унифицированное значение:	351,8	66,7
Легковые автомобили с колесной базой 2,41-2,58 м	1980-1989	-	-
	1990-1999	483,0	87,5
	2000-2009	533,6	102,0
	Унифицированное значение:	519,3	97,9
Легковые автомобили с колесной базой 2,58-2,80 м	1980-1989	438,0	57,6
	1990-1999	535,7	86,7
	2000-2009	602,3	99,3
	Унифицированное значение:	533,8	83,9
Легковые автомобили с колесной базой 2,80-2,98 м	1980-1989	548,7	82,6
	1990-1999	611,7	85,2
	2000-2009	639,7	94,7
	Унифицированное значение:	621,7	90,3
Легковые автомобили с колесной базой более 2,98 м	1980-1989	-	-
	1990-1999	592,8	80,4
	2000-2009	612,8	71,4
	Унифицированное значение:	595,1	74,0

Пикапы с колесной базой до 2,9 м	1980-1989	610,8	92,6
	1990-1999	643,4	93,1
	2000-2009	645,0	92,9
	Унифицированное значение:	637,6	93,0
Пикапы с колесной базой более 2,9 м	1980-1989	619,6	78,6
	1990-1999	629,4	69,2
	2000-2009	698,1	78,8
	Унифицированное значение:	658,1	73,9
Кроссоверы и внедорожники с колесной базой до 2,65 м	1980-1989	585,8	78,2
	1990-1999	598,8	82,0
	2000-2009	734,7	108,5
	Унифицированное значение:	658,1	93,2
Кроссоверы и внедорожники с колесной базой более 2,65 м	1980-1989	631,5	89,9
	1990-1999	712,6	90,3
	2000-2009	765,1	102,9
	Унифицированное значение:	739,0	97,0
Микроавтобусы и минивэны с колесной базой до 2,93 м	1980-1989	612,8	89,2
	1990-1999	623,1	78,4
	2000-2009	624,5	79,7
	Унифицированное значение:	621,2	80,9
Микроавтобусы и минивэны с колесной базой до 2,93 м	1980-1989	669,3	92,7
	1990-1999	670,7	81,2
	2000-2009	721,3	83,4
	Унифицированное значение:	686,7	83,5

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Графики изменения коэффициентов фронтальной и боковой жесткости для различных классов автомобилей в зависимости от их года выпуска)

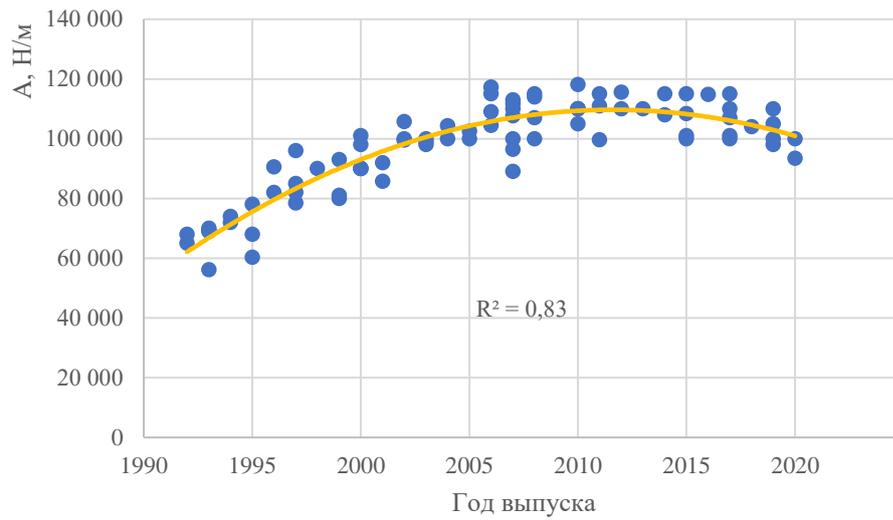


Рисунок П.Б.1 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Supermini в зависимости от года выпуска автомобиля

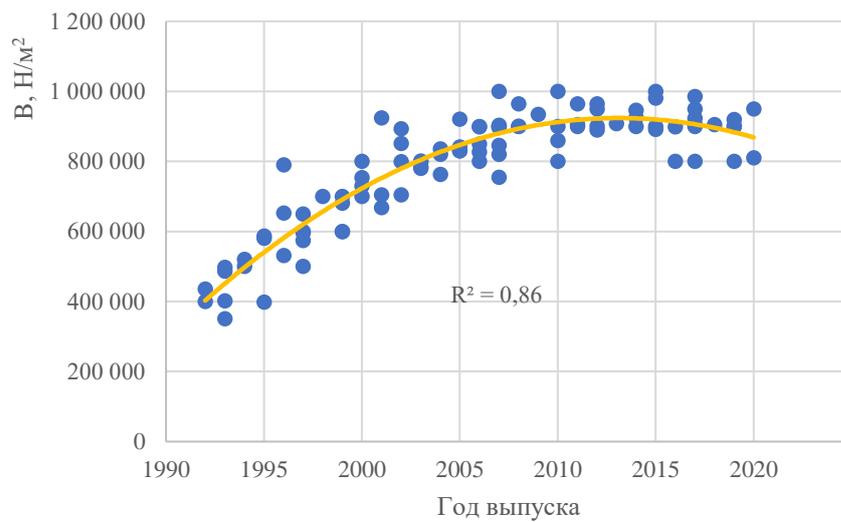


Рисунок П.Б.2 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Supermini в зависимости от года выпуска

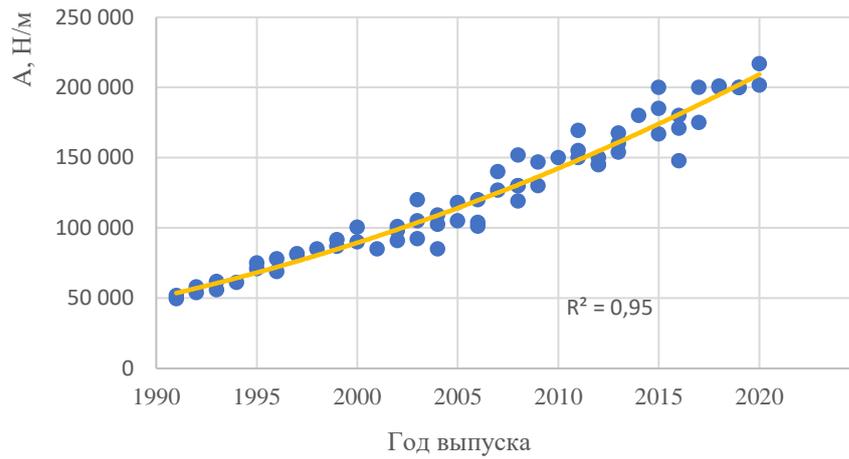


Рисунок П.Б.3 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Supermini в зависимости от года выпуска

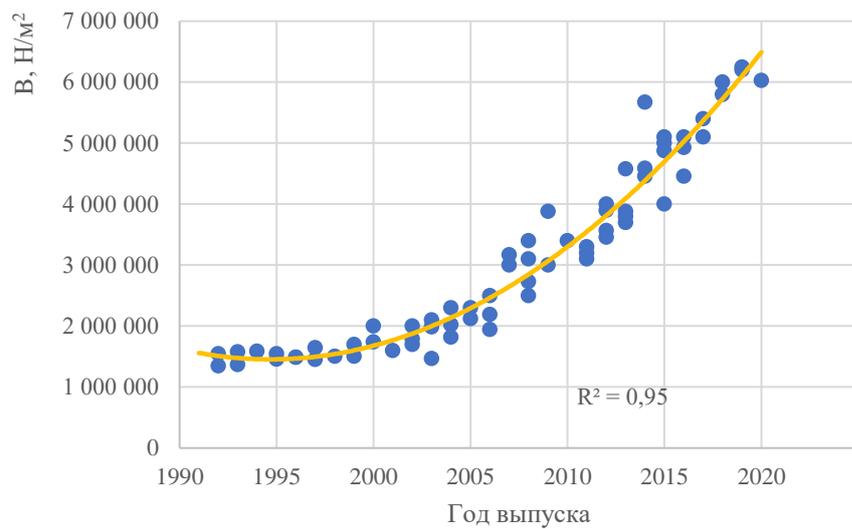


Рисунок П.Б.4 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Supermini в зависимости от года выпуска

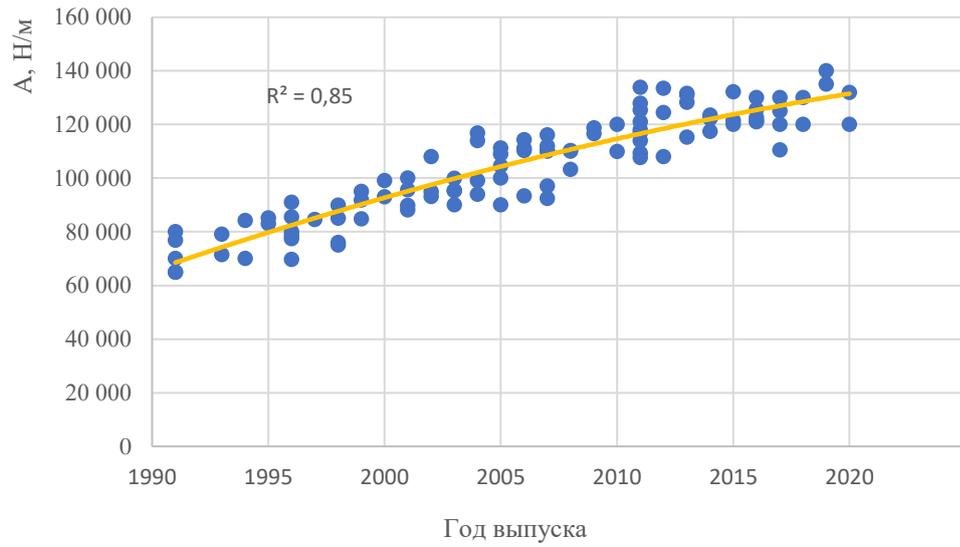


Рисунок П.Б.5 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Small family car в зависимости от года выпуска

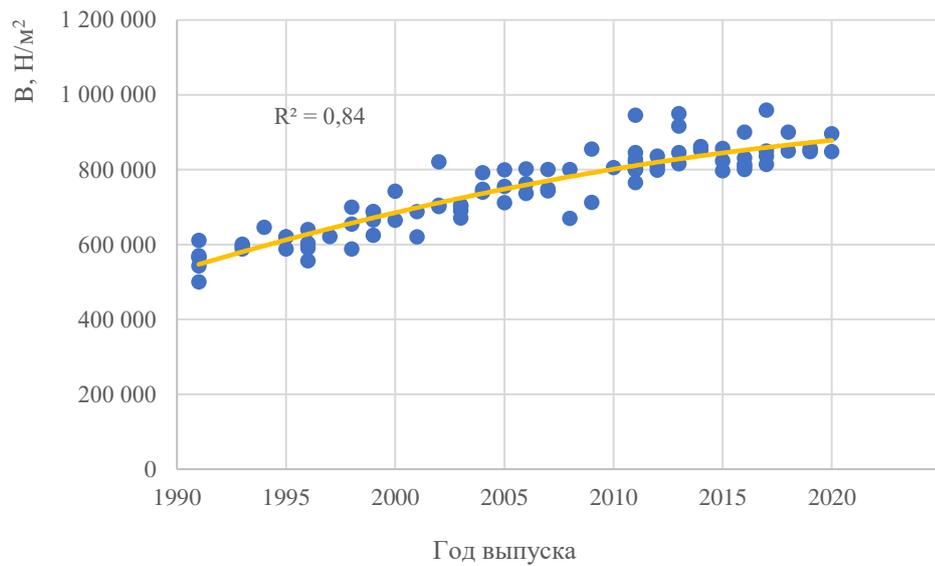


Рисунок П.Б.6 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Small family car в зависимости от года выпуска

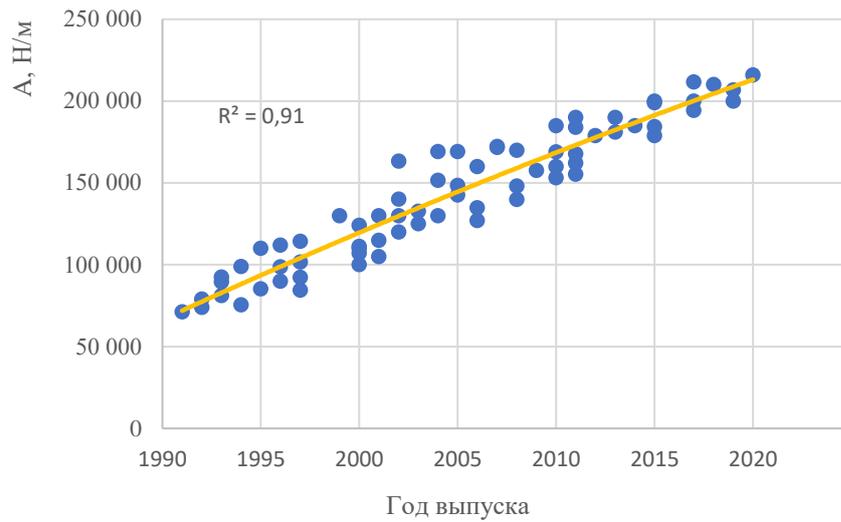


Рисунок П.Б.7 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Small family car в зависимости от года выпуска

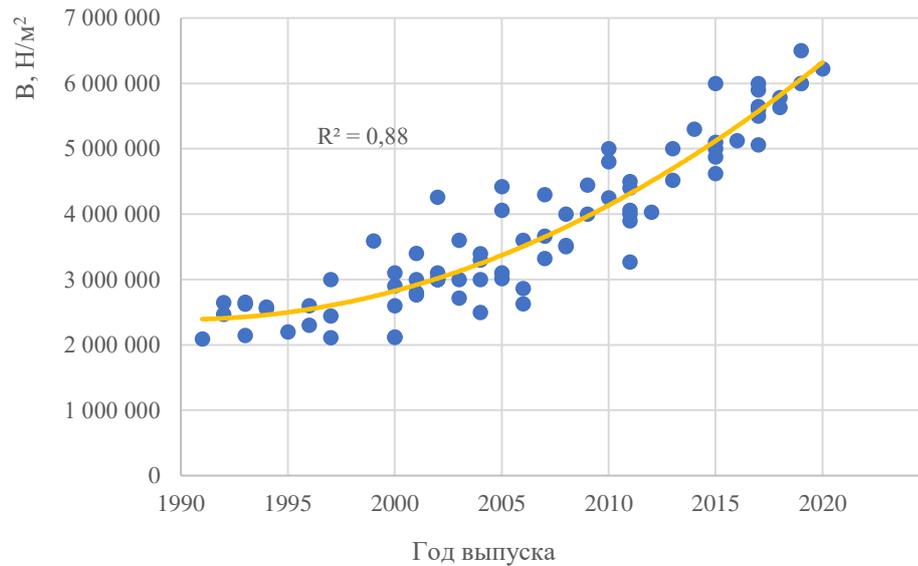


Рисунок П.Б.8 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Small family car в зависимости от года выпуска

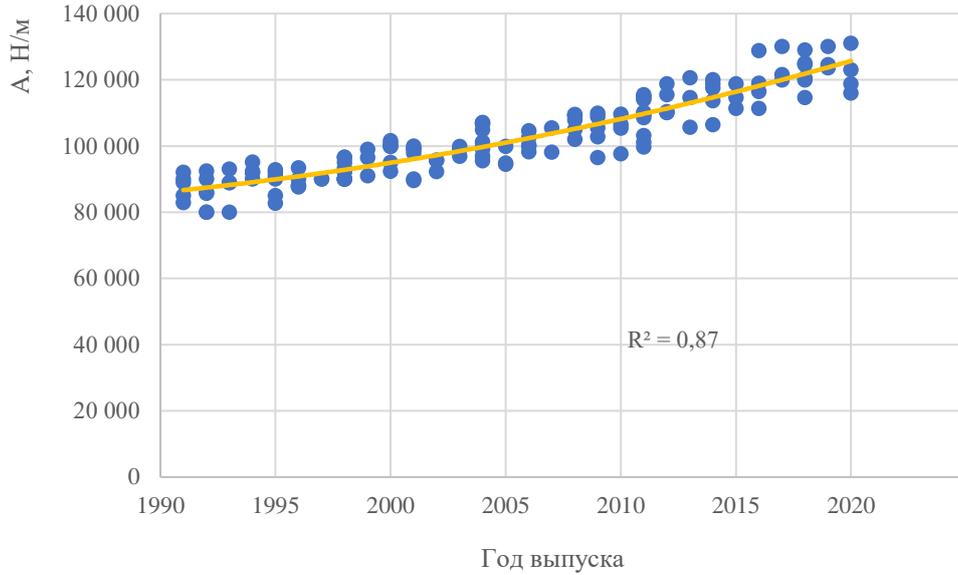


Рисунок П.Б.9 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Large family car в зависимости от года выпуска

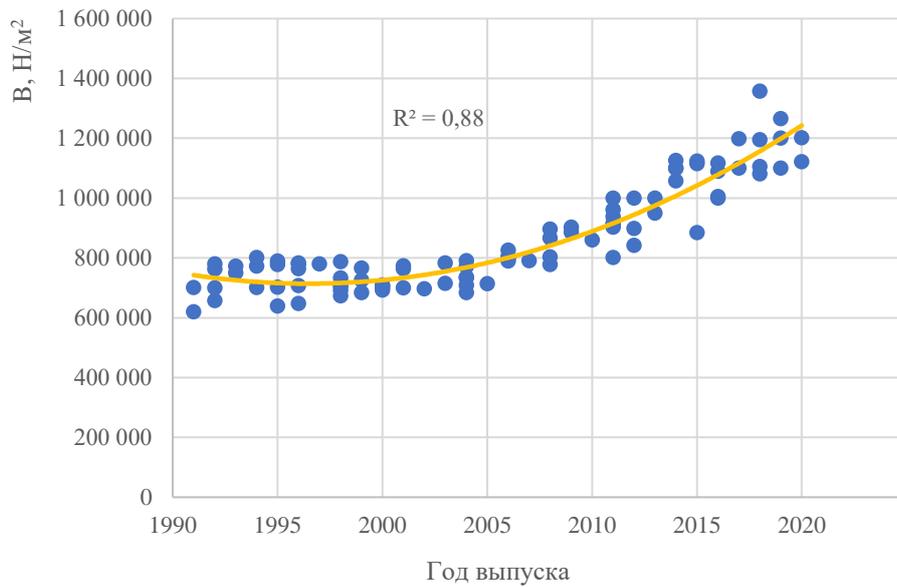


Рисунок П.Б.10 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Large family car в зависимости от года выпуска

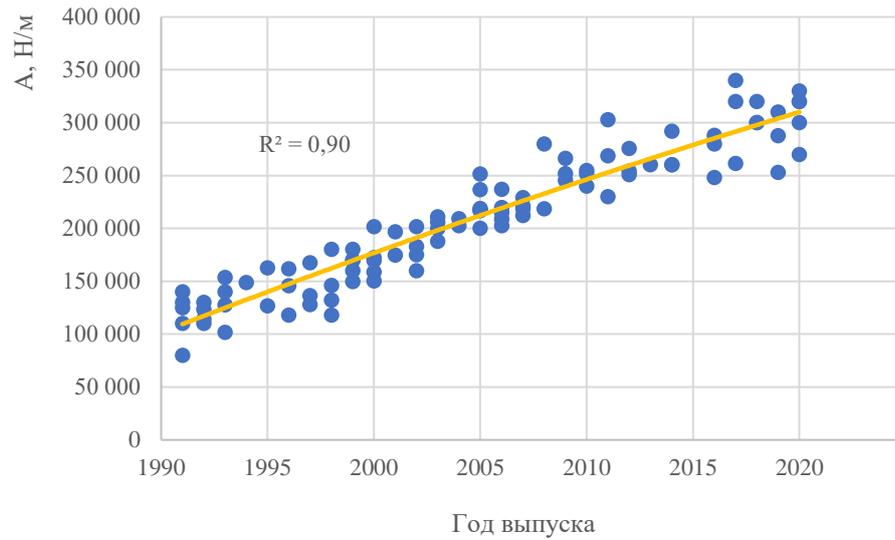


Рисунок П.Б.11 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Large family car в зависимости от года выпуска

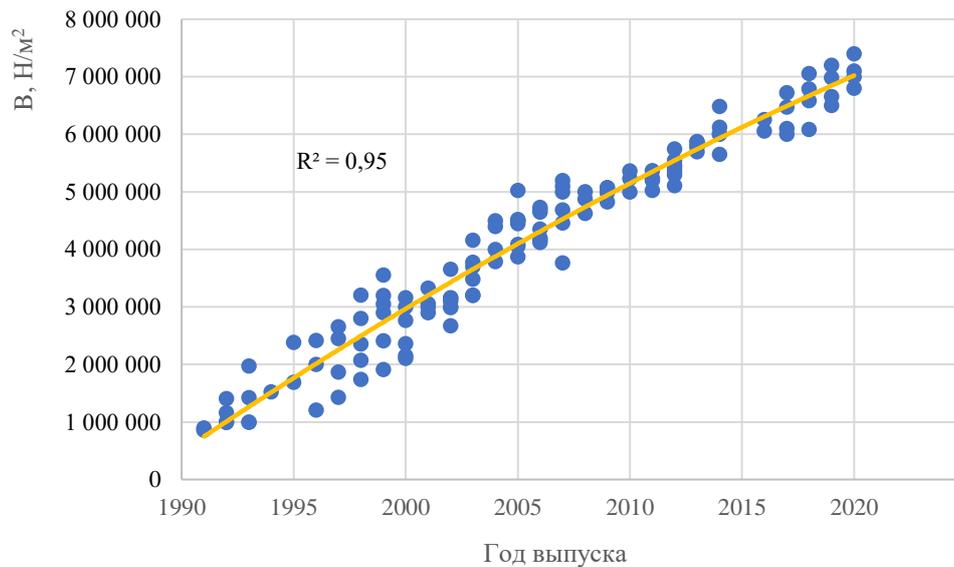


Рисунок П.Б.12 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Large family car в зависимости от года выпуска

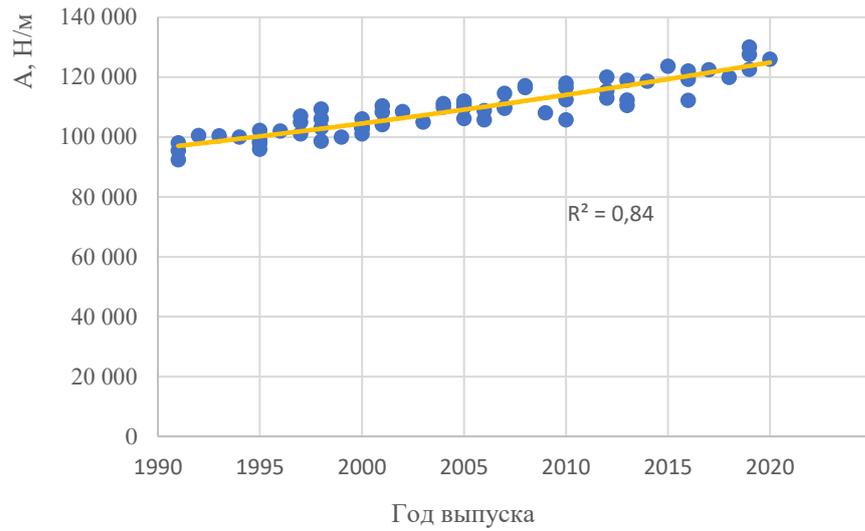


Рисунок П.Б.13 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Executive car в зависимости от года выпуска

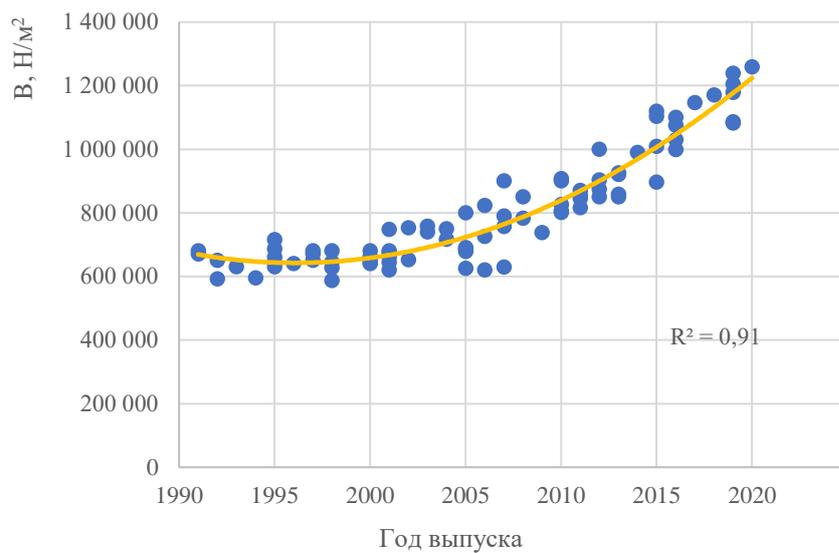


Рисунок П.Б.14 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Executive car в зависимости от года выпуска

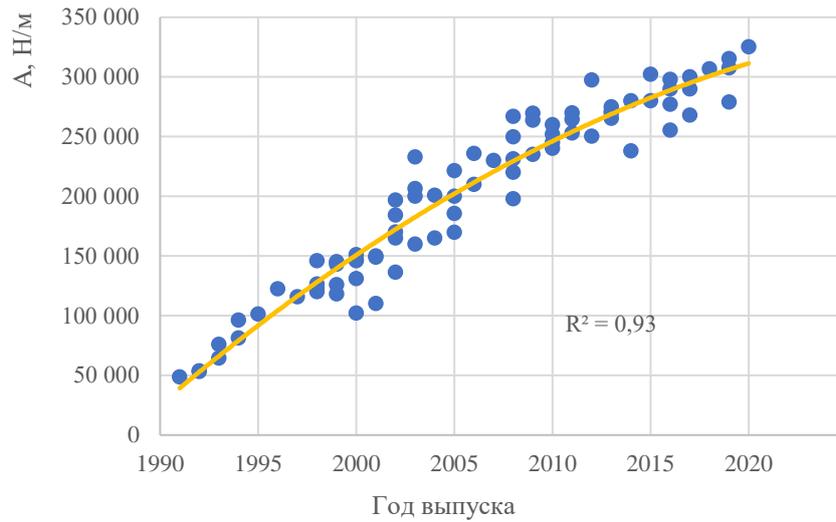


Рисунок П.Б.15 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Executive car в зависимости от года выпуска

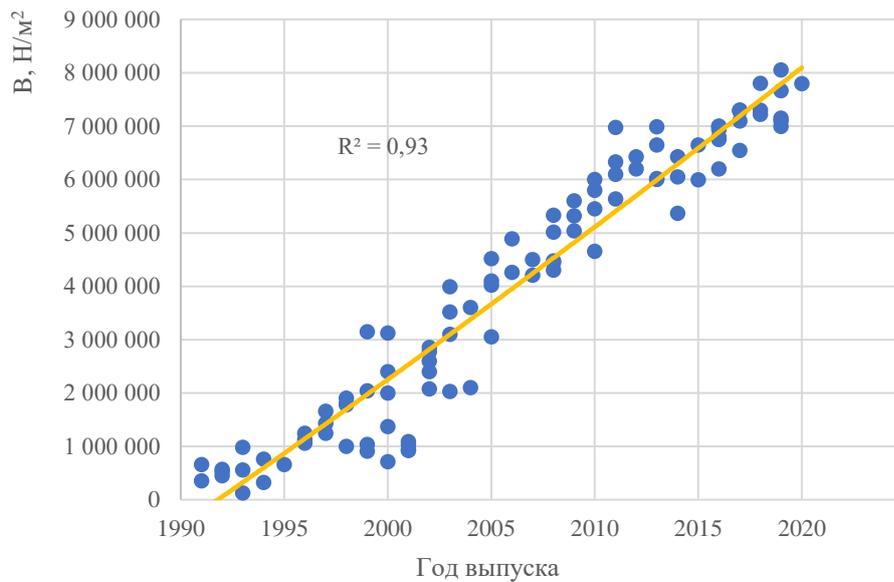


Рисунок П.Б.16 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Executive car в зависимости от года выпуска

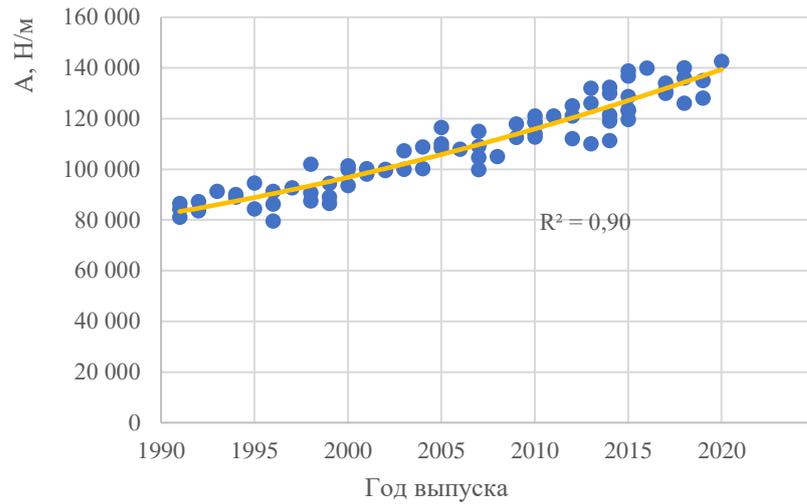


Рисунок П.Б.17 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Roadster sports в зависимости от года выпуска

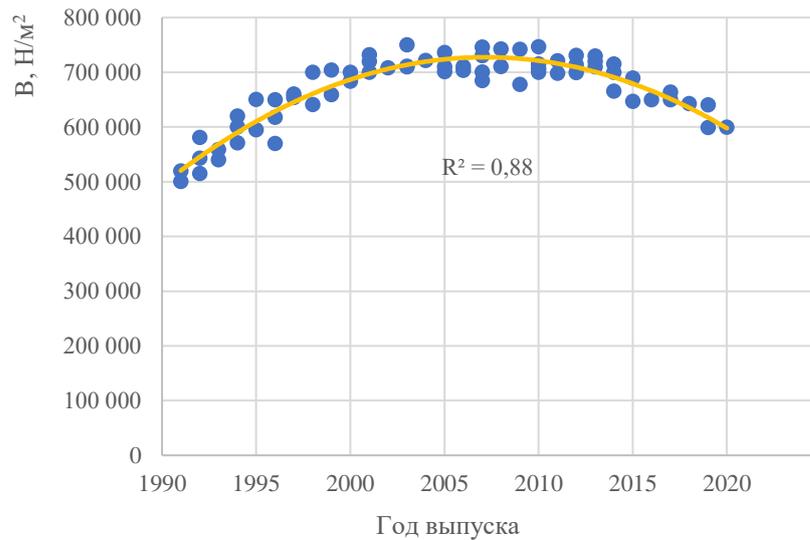


Рисунок П.Б.18 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Roadster sports в зависимости от года выпуска

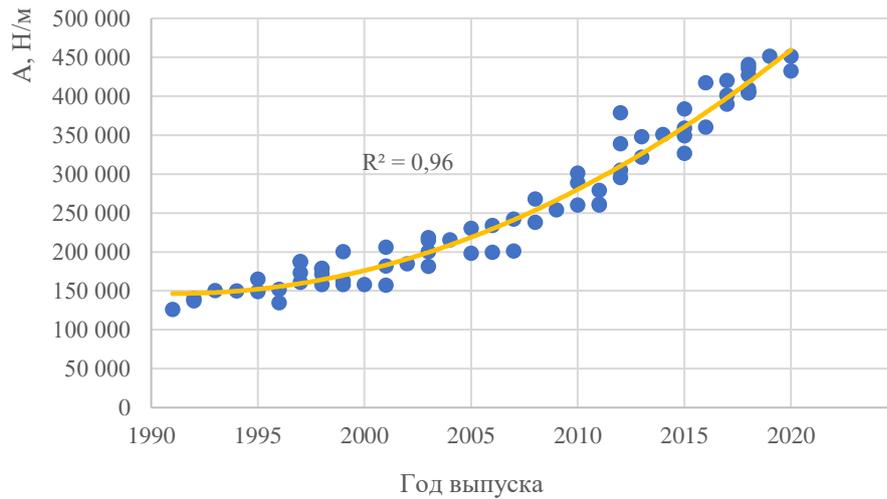


Рисунок П.Б.19 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Roadster sports в зависимости от года выпуска

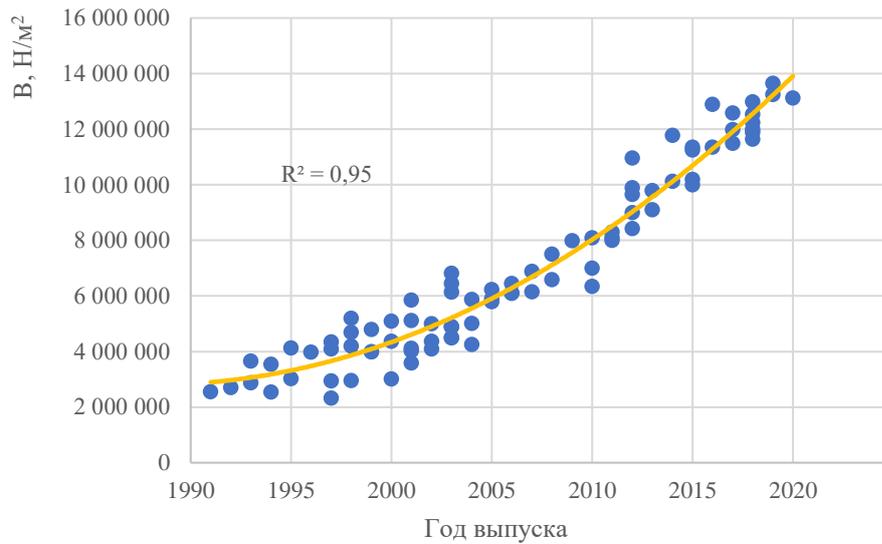


Рисунок П.Б.20 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Roadster sports в зависимости от года выпуска

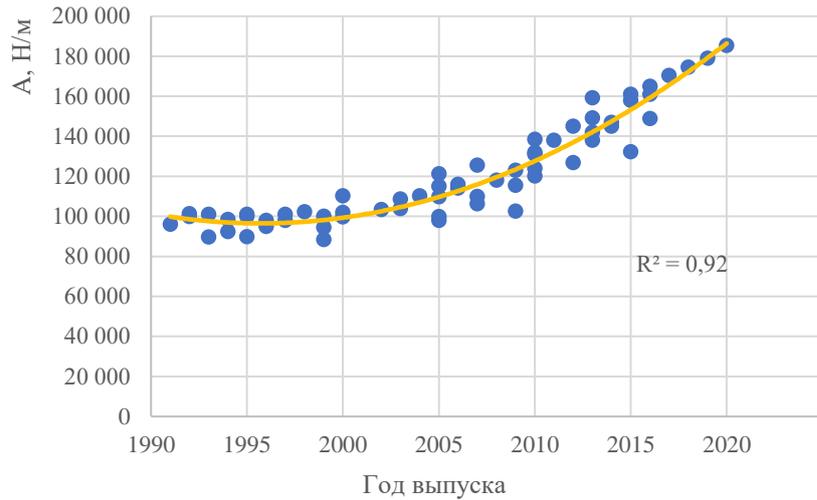


Рисунок П.Б.21 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Small MPV в зависимости от года выпуска

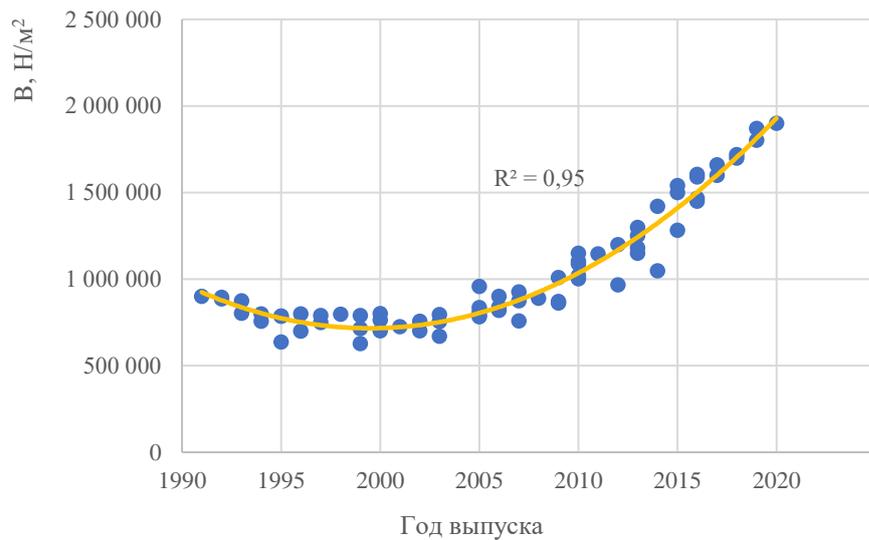


Рисунок П.Б.22 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Small MPV в зависимости от года выпуска

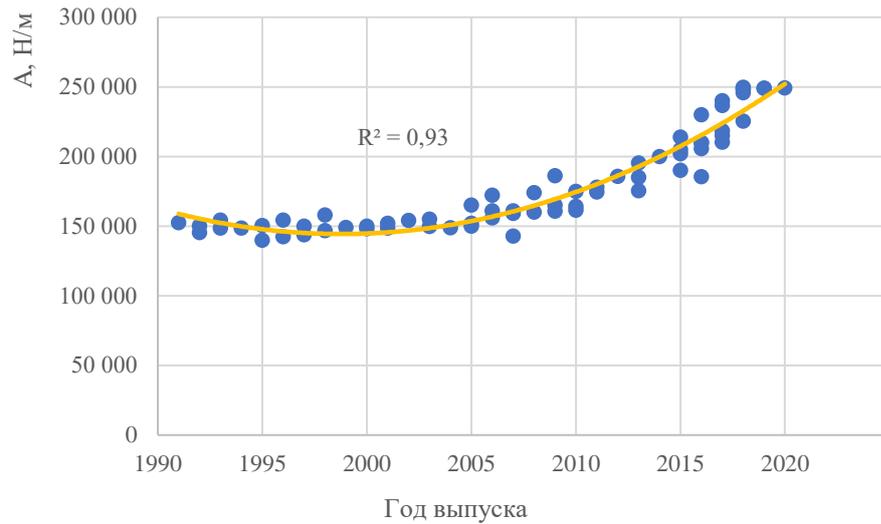


Рисунок П.Б.23 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Small MPV в зависимости от года выпуска

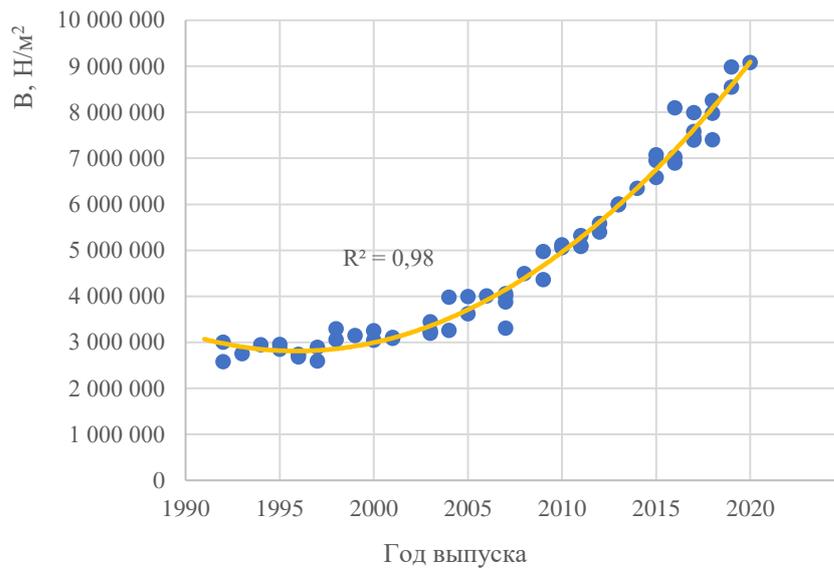


Рисунок П.Б.24 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Small MPV в зависимости от года выпуска

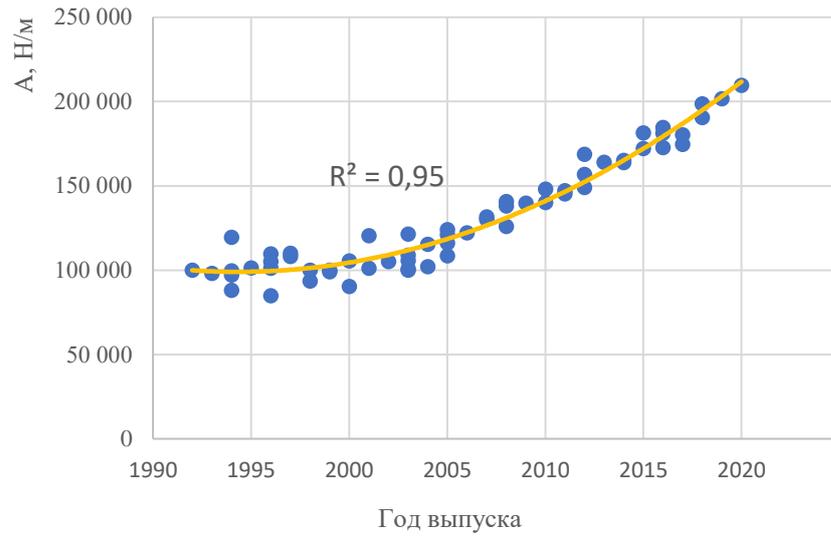


Рисунок П.Б.25 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Large MPV в зависимости от года выпуска

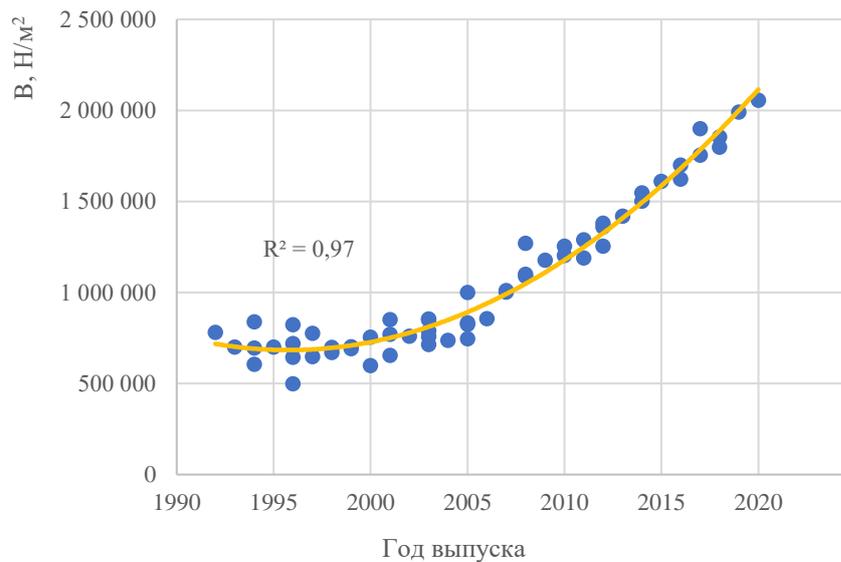


Рисунок П.Б.26 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Large MPV в зависимости от года выпуска

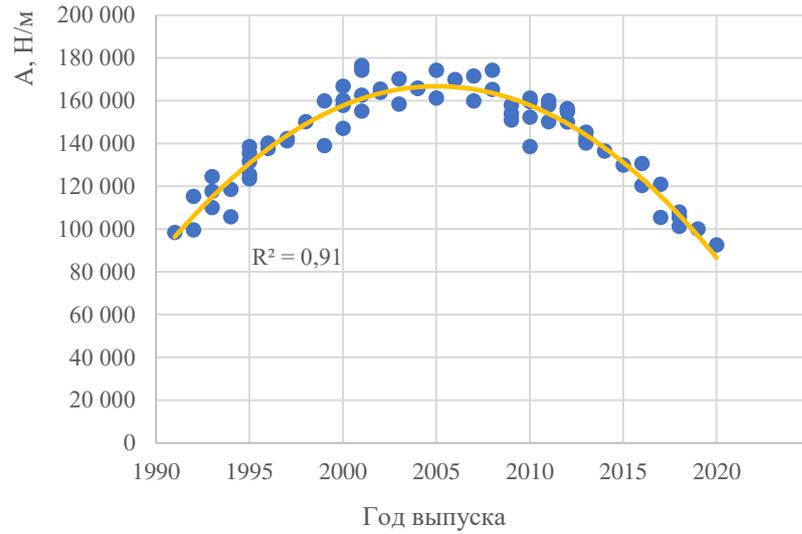


Рисунок П.Б.27 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Large MPV в зависимости от года выпуска

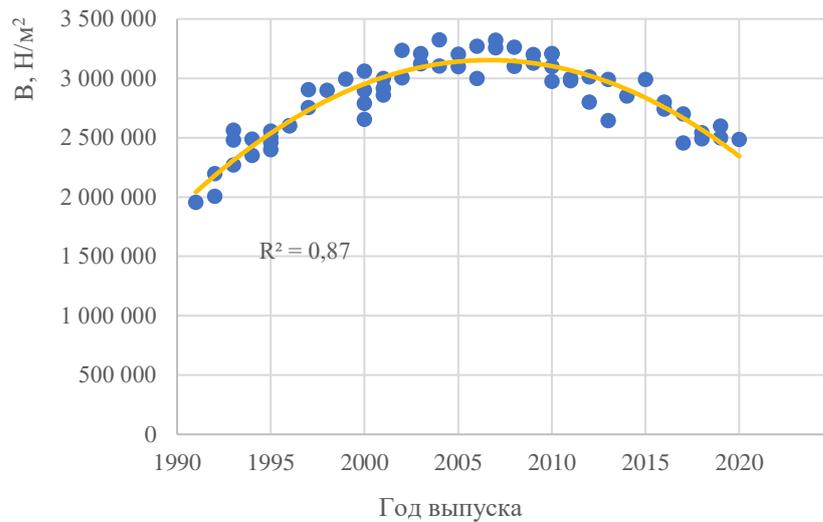


Рисунок П.Б.28 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Large MPV в зависимости от года выпуска

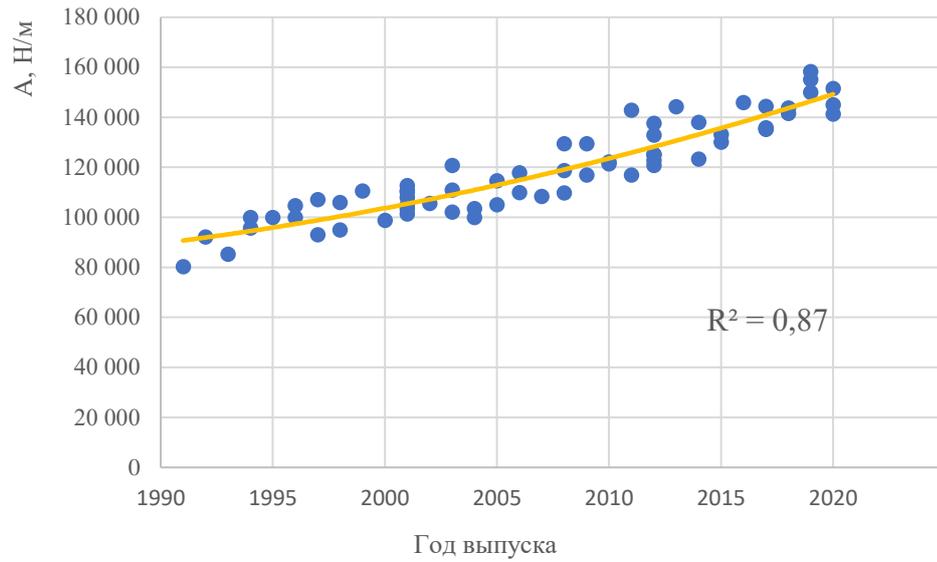


Рисунок П.Б.29 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Small Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

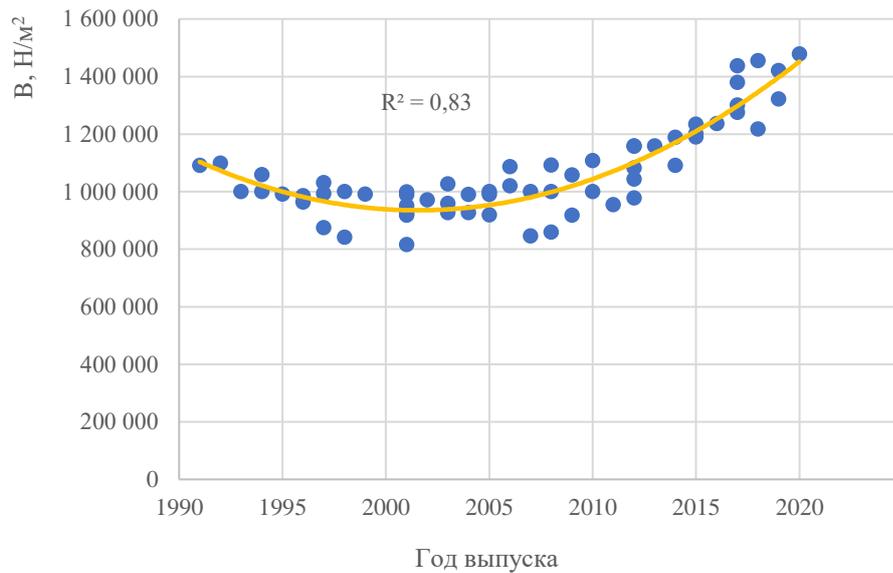


Рисунок П.Б.30 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Small Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

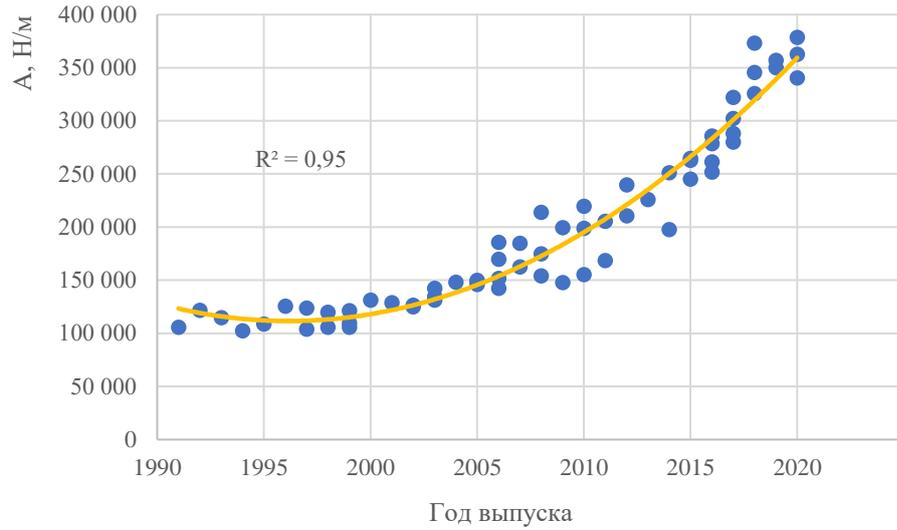


Рисунок П.Б.31 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Small Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

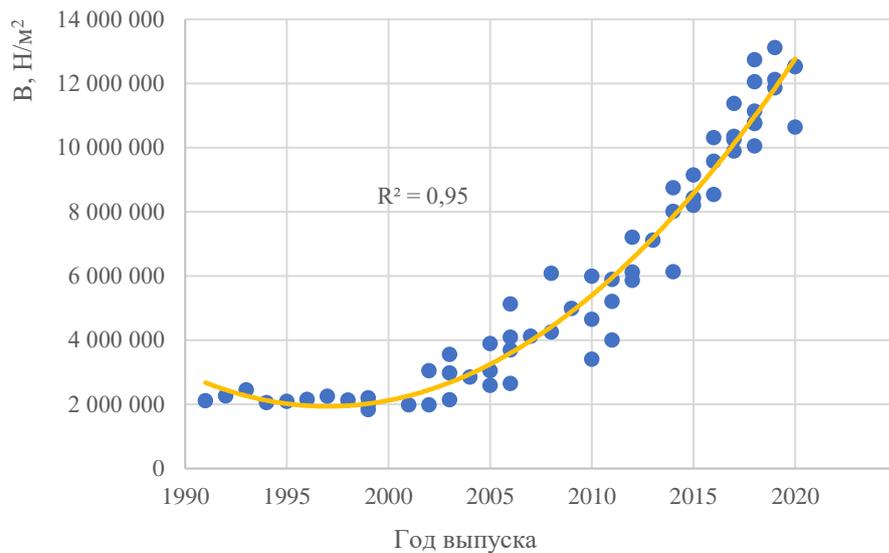


Рисунок П.Б.32 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Small Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

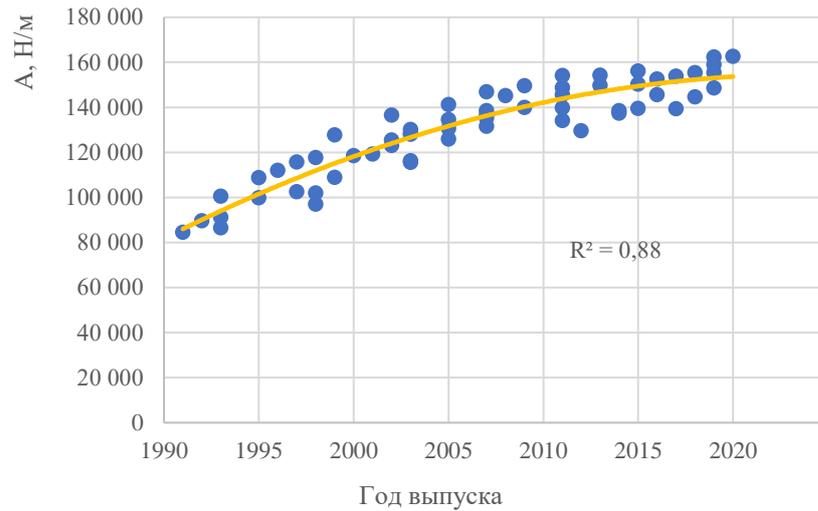


Рисунок П.Б.33 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Large Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

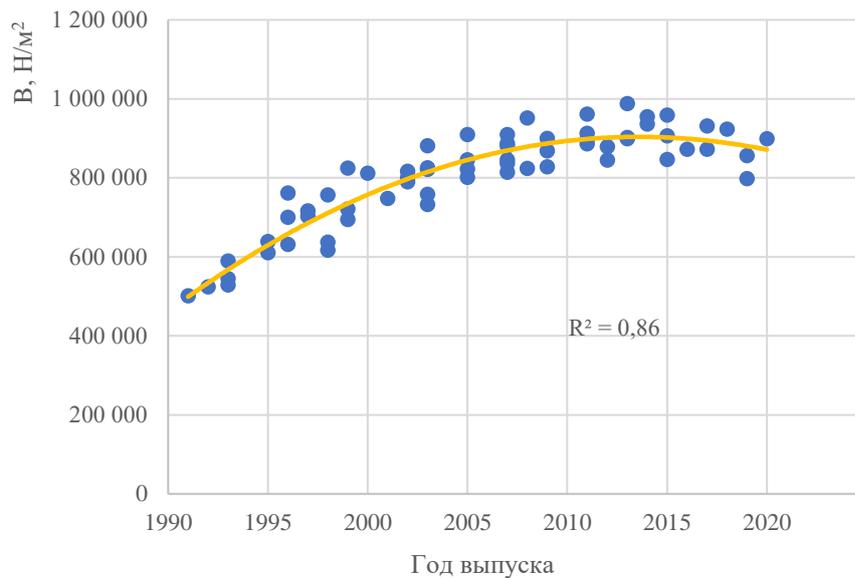


Рисунок Б.2.34 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Large Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

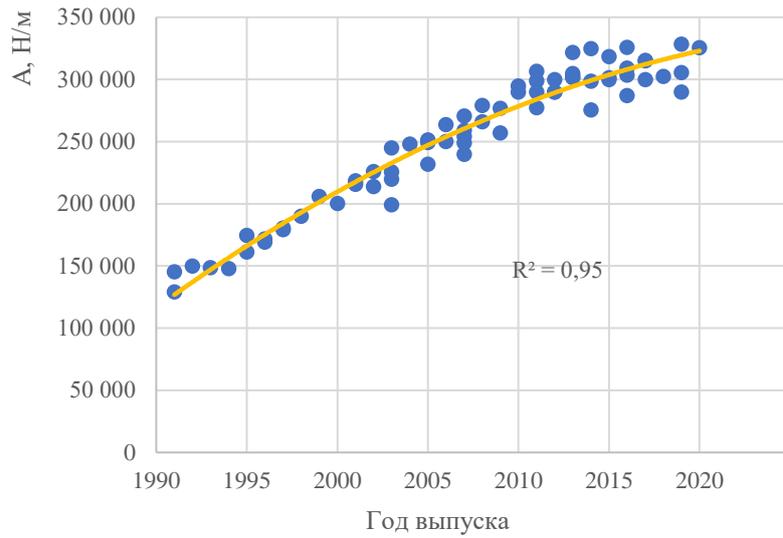


Рисунок П.Б.35 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Large Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

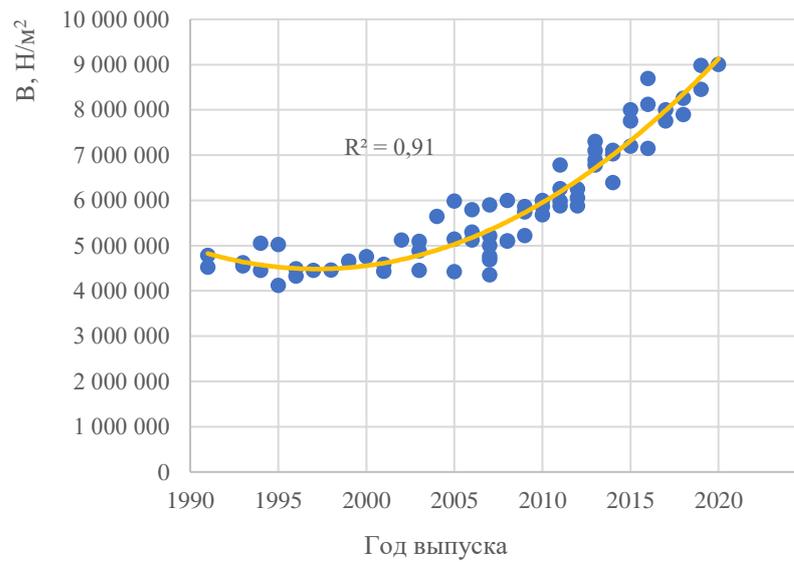


Рисунок П.Б.36 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Large Off-Road 4×4 в зависимости от года выпуска

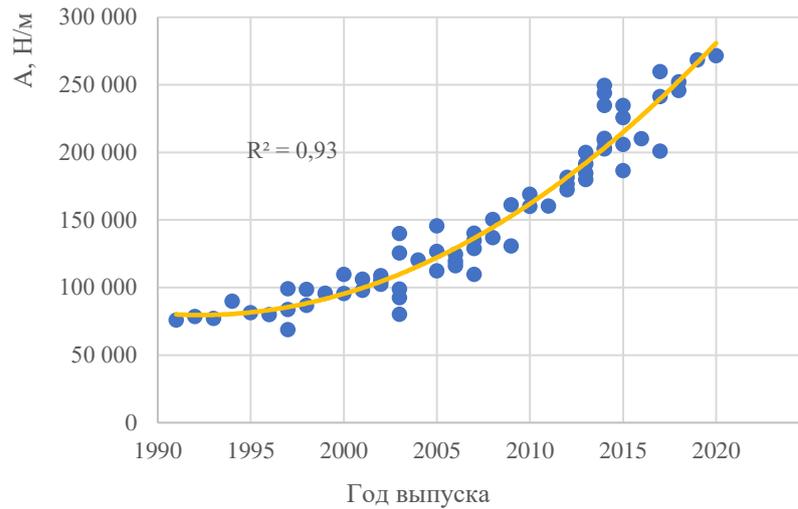


Рисунок П.Б.37 – Изменение значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей класса Pick-up в зависимости от года выпуска

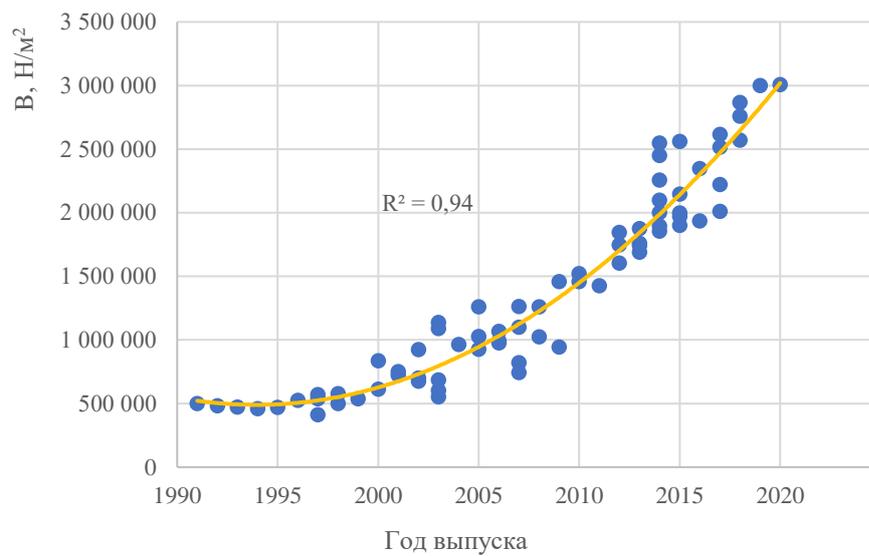


Рисунок П.Б.38 – Изменение значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей класса Pick-up в зависимости от года выпуска

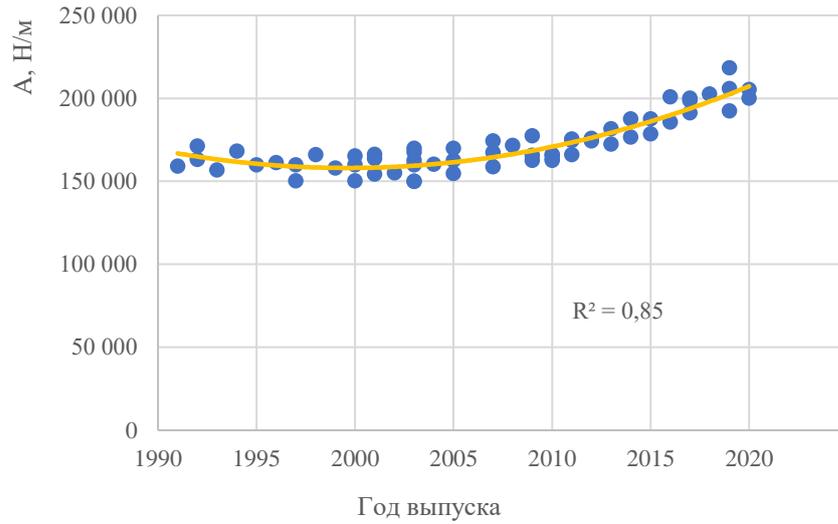


Рисунок П.Б.39 – Изменение значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей класса Pick-up в зависимости от года выпуска

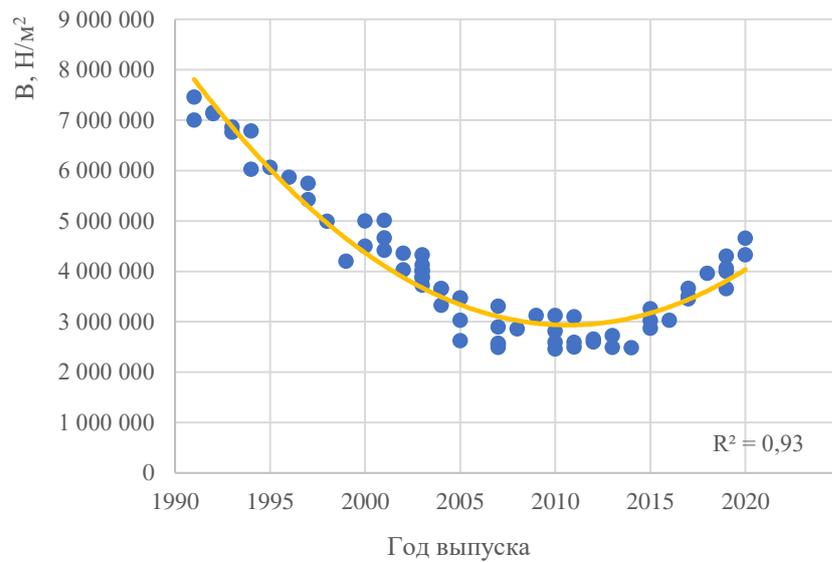


Рисунок П.Б.40 – Изменение значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей класса Pick-up в зависимости от года выпуска

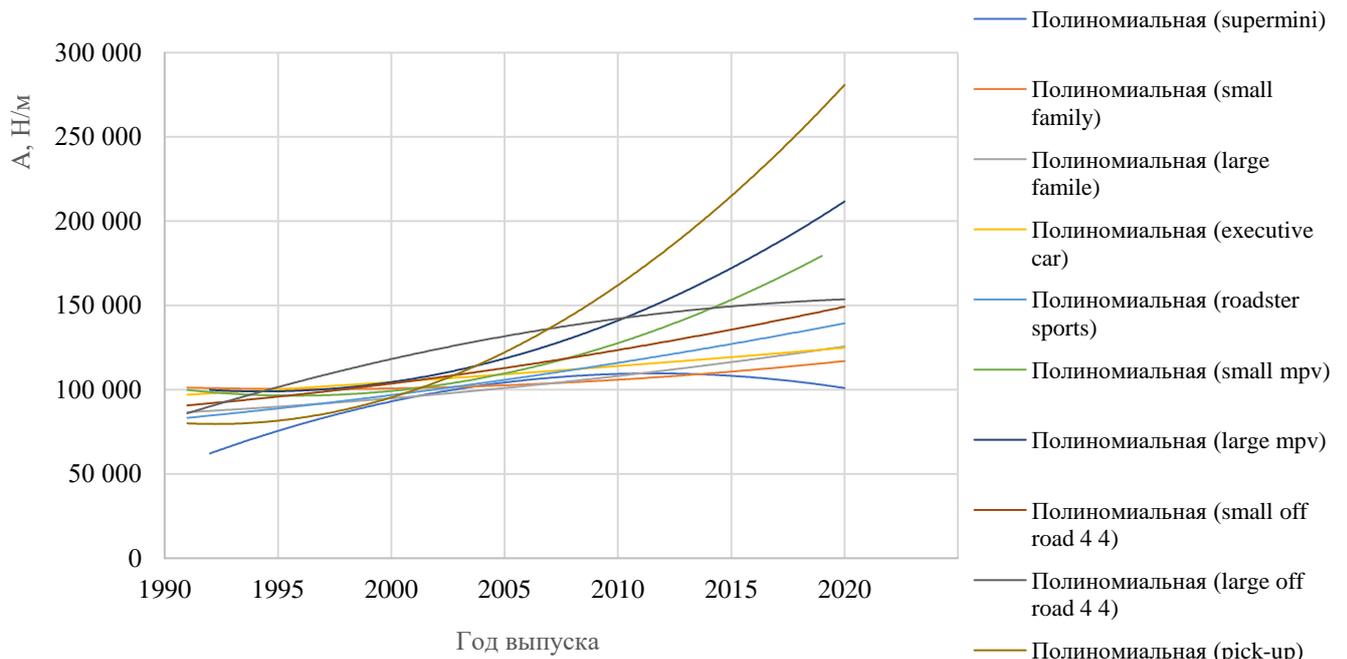


Рисунок П.Б.41 – График изменения значений коэффициента Гука фронтальной части кузова автомобилей разных классов в зависимости от года выпуска

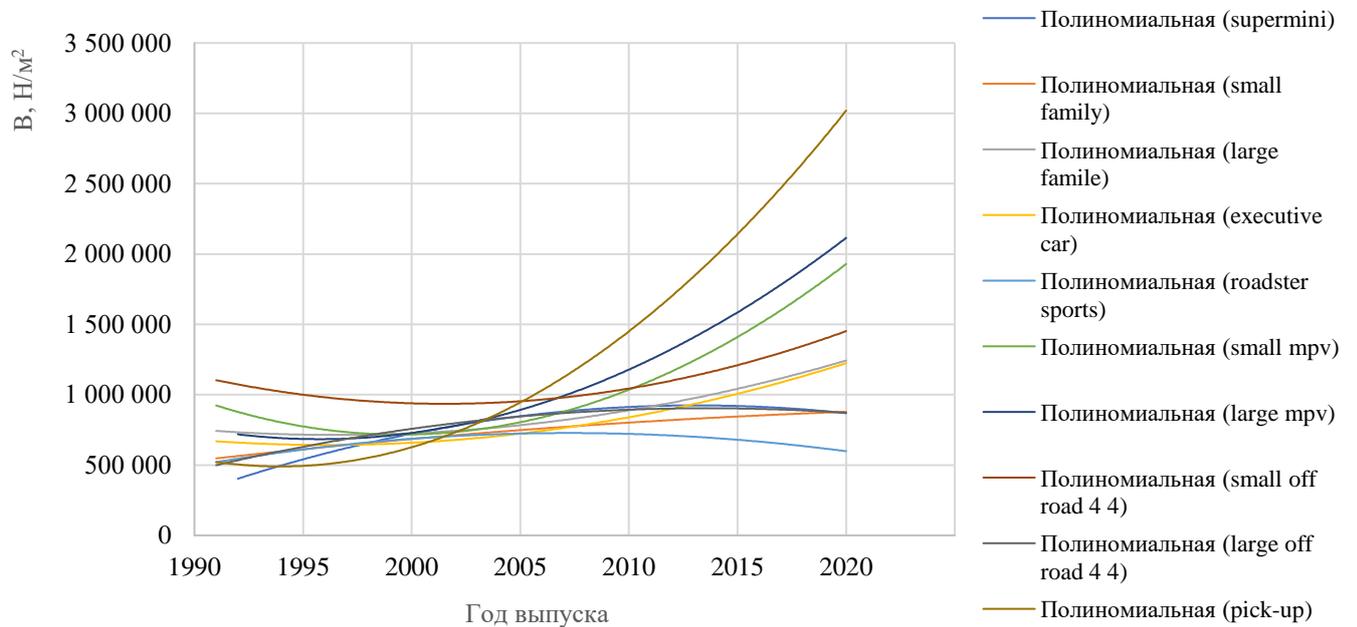


Рисунок П.Б.42 – График изменения значений модуля упругости I рода фронтальной части кузова автомобилей разных классов в зависимости от года выпуска

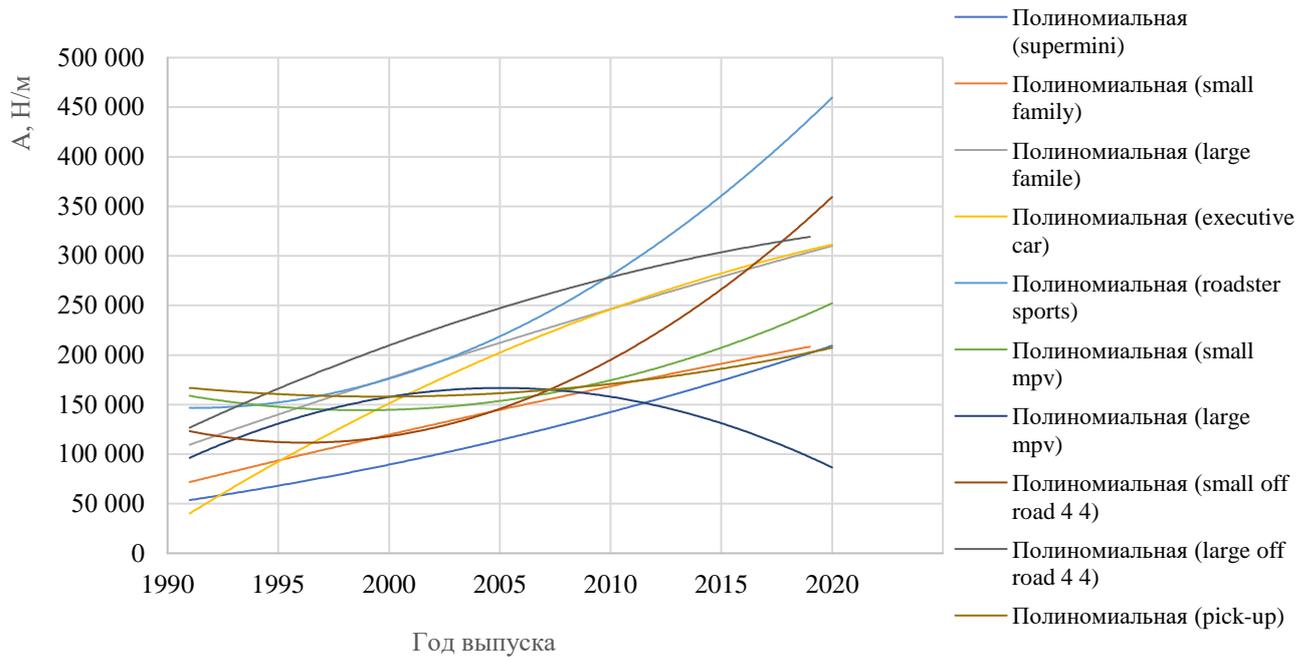


Рисунок П.Б.43 – График изменения значений коэффициента Гука боковой части кузова автомобилей разных классов в зависимости от года выпуска

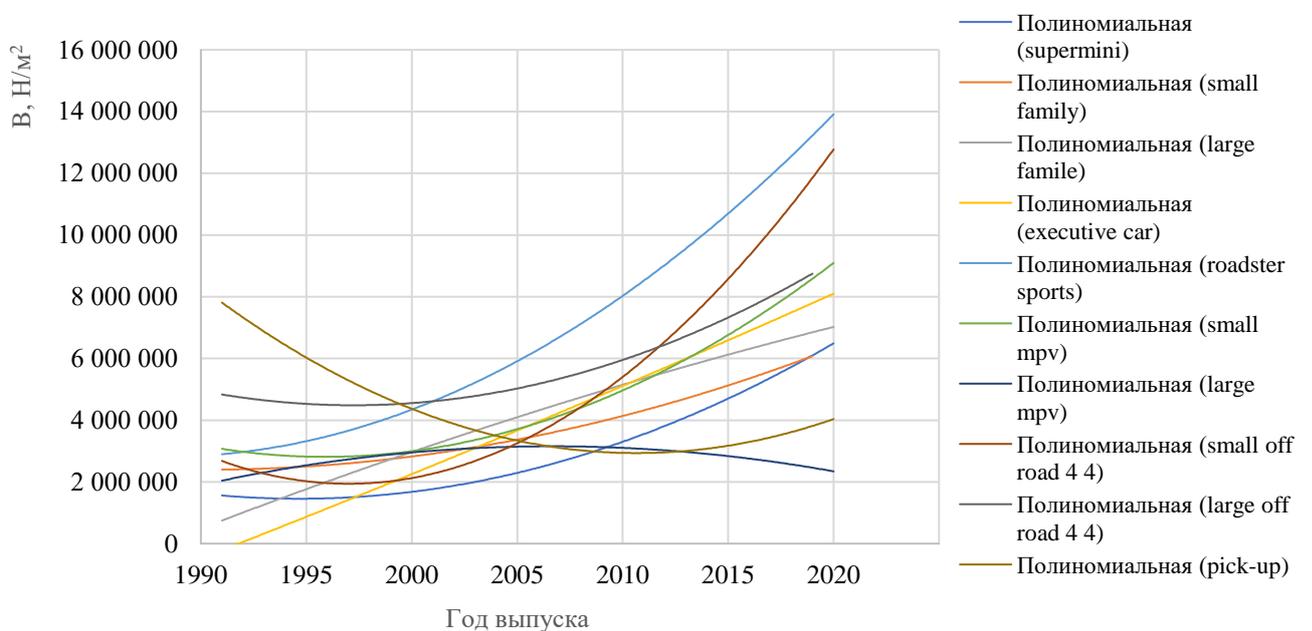


Рисунок П.Б.44 – График изменения значений модуля упругости I рода боковой части кузова автомобилей разных классов в зависимости от года выпуска

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(3D-модели деформированных автомобилей, созданные с
использованием технологии Lidar)

Для наглядности удобства использования представлены 3D-модели автомобилей, получивших повреждения в результате ДТП, а также для подтверждения точности измерений по созданным 3D-модели были произведены исследования глубин внедрения классическим способом, также демонстрируемым в данном Приложении.



Рисунок П.В.1 – Измерение деформаций автомобиля Kia Picanto

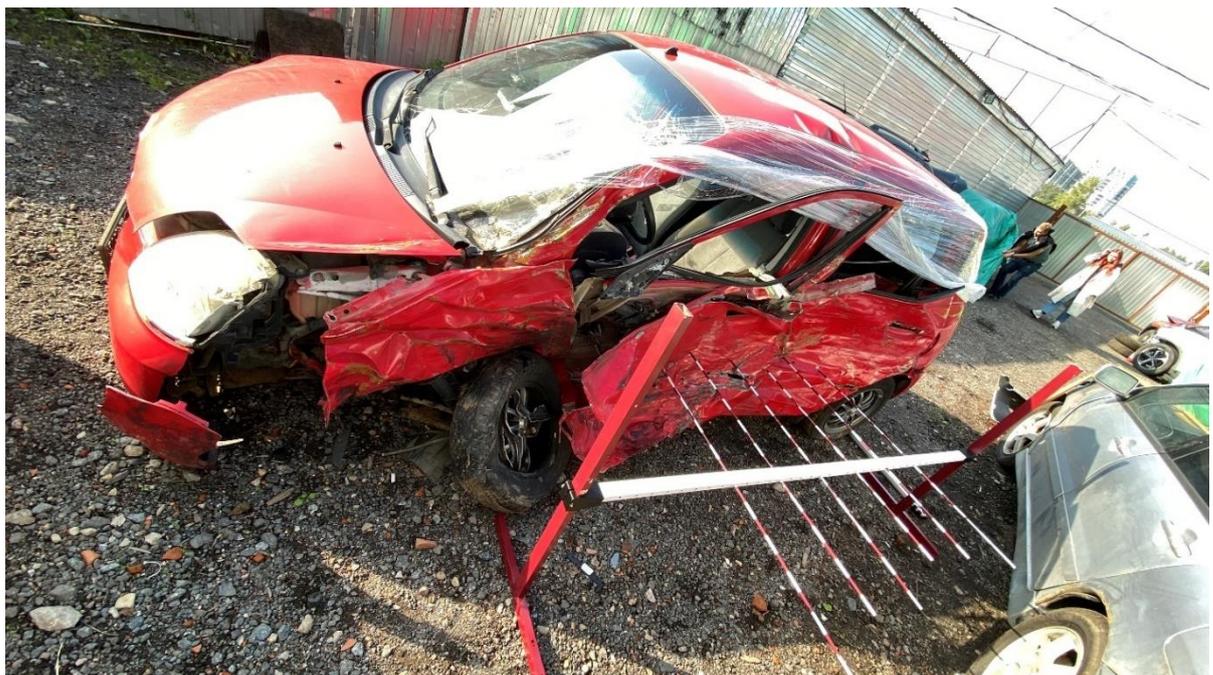


Рисунок П.В.2 – Измерение деформаций автомобиля Kia Picanto



Рисунок П.В.3 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Kia Picanto



Рисунок П.В.4 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Kia Picanto



Рисунок П.В.5 – Измерение деформаций автомобиля Volkswagen Polo



Рисунок П.В.6 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Volkswagen Polo



Рисунок П.В.7 – Измерение деформаций автомобиля Kia Rio



Рисунок П.В.8 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Kia Rio



Рисунок П.В.9 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Mercedes-Benz E class



Рисунок П.В.10 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Lada Granta



Рисунок П.В.11 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Mitsubishi Carisma



Рисунок П.В.12 – Lidar 3D-модель деформированной задней части автомобиля Mitsubishi Carisma



Рисунок П.В.13 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля ГАЗель NEXT



Рисунок П.В.14 – Lidar 3D-модель деформированного автомобиля Skoda Octavia

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(Акты реализации результатов диссертационного исследования)



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)
ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

№ _____

[Акт внедрения материалов диссертации]
в учебный процесс

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО СПбГАСУ
С.Г. Головина



АКТ

внедрения материалов, содержащихся в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы» Голова Егора Викторовича в учебный процесс Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

Комиссия в составе:

Председателя: кандидата технических наук, доцента А.В. Зазыкина – декана автомобильно-дорожного факультета;

Членов комиссии:

доктора экономических наук, доцента А.И. Солодкого – профессора кафедры Транспортных систем;

доктора технических наук, доцента А.В. Тереньтева – профессора кафедры Наземных транспортно-технологических машин;

кандидата технических наук, доцента И.О. Черняева – заведующего кафедрой Технической эксплуатации транспортных средств;

кандидата экономических наук В.В. Виноградовой – директора Института повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов;

Настоящим подтверждает внедрение материалов содержащихся в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы» старшего преподавателя кафедры Транспортных систем Голова Егора Викторовича (научный руководитель: доктор технических наук, доцент Евтюков Станислав Сергеевич) в учебный процесс выпускающих кафедр автомобильно-дорожного факультета (Транспортных систем, Наземных транспортно-технологических машин,

Технической эксплуатации транспортных средств) и Института повышения квалификации и профессиональной переподготовки специалистов по программе: «Судебная инженерно-техническая экспертиза» (специализация «Судебная автотехническая экспертиза»), со студентами направлений подготовки: 23.03.01, 23.04.01 «Технология транспортных процессов», 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» и аспирантами по направлению подготовки 23.06.01 «Техника и технология наземного транспорта» (профиль «Эксплуатация автомобильного транспорта»).

Результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы» Голова Егора Викторовича также нашли практическое применение в экспертной деятельности при выполнении сотрудниками выпускающих кафедр и экспертами Института безопасности дорожного движения при выполнении заключений: «специалиста» и «эксперта» по дорожно-транспортным происшествиям.

Внедрение результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы» старшего преподавателя кафедры Транспортных систем Голова Егора Викторовича (научный руководитель: доктор технических наук, доцент Евтюков Станислав Сергеевич) обсуждено на заседании учебно-методической комиссии автомобильно-дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета 23 сентября 2021 г., Протокол №1.

Основные положения диссертации (новые алгоритмы, методы и методики повышения достоверности и оперативности выполнения дорожно-транспортных экспертиз) для экспертной деятельности в области безопасности дорожного движения изложены в основных работах (монографиях) автора:

1. 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.

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

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.

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.

Председатель комиссии:

Декан АДФ, к.т.н., доцент

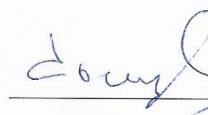


А.В. Зазыкин

Члены комиссии:

Профессор кафедры ТС,

д.т.н., доцент



А.И. Солодкий

Профессор кафедры НТТМ,

д.т.н., доцент



А.В. Терентьев

Заведующий кафедрой ТЭТС

к.т.н., доцент



И.О. Черняев

Директор ИПК

к.э.н.



В.В. Виноградова



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор
ФГАОУ ВО «СПбПУ»

В.В. Сергеев



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

В учебный процесс результатов научно-исследовательской (диссертационной) работы
«Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении
дорожно-транспортной экспертизы»

Настоящим актом подтверждается внедрение результатов научно-исследовательской (диссертационной) работы на тему «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы», выполненной на кафедре Наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Головым Егором Викторовичем, в учебный процесс Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого при обучении бакалавров по направлению подготовки: 23.03.01 «Технология транспортных процессов», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», магистров по направлению подготовки 23.04.01 «Технология транспортных процессов», 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы».

Результаты научно-исследовательской (диссертационной) работы на тему «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы» Голова Е.В. (научный руководитель – д.т.н., доцент Евтюков С.С.) в области безопасности дорожного движения изложены в основных работах (монографиях) автора:

1. Голов Е.В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий / Е.В. Голов, Е.В. Куракина, С.С. Евтюков // СПб.: ИД «Петрополис», 2017. – 204 с.
2. 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.
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.
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.

и.о. Директор Высшей школы транспорта

А.А. Грачев



ОГРН 1147847005349 ИНН 7816577934 КПП 781601001 192102, Санкт-Петербург, ул.Бухарестская, д.1 каб..725
 тел: +7 |812| 703-67-98, +7 |921| 436-98-98 факс: +7 |812| 458-43-01 www.expert98.ru e-mail: 9879487@mail.ru

АКТ

**о практической реализации результатов диссертационного исследования
 на тему «Методика оценки скорости движения автомобилей по их
 деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы»
 Голова Е.В.**

Настоящий акт выдан в качестве подтверждения использования в деятельности ООО «Деловой Эксперт» результатов, полученных Головым Е.В. в процессе работы над диссертационным исследованием на тему «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при проведении дорожно-транспортной экспертизы». Разработанные автором алгоритмы определения коэффициентов жесткости автомобилей, необходимые для установления энергетических затрат на их деформацию при ДТП внедрены в практическую деятельность ООО «Деловой Эксперт» при производстве автотехнических экспертиз. Применение данных алгоритмов позволяет более точно определить скорость движения транспортных средств в момент ДТП, что повышает объективность результатов проведения экспертиз по административным, гражданским и уголовным делам о ДТП.

Также предложенный автором способ определения объемов деформации автомобилей на основе создания их 3D-моделей с использованием технологии Lidar позволил значительно сократить временные затраты на получение необходимых сведений для проведения экспертизы, что привело к росту производительности работы экспертов.

С уважением,

Исполнительный директор


 Н.И.ЕГОРОВА



Общество с ограниченной ответственностью
«СПбГАСУ-Дорсервис»

«15» августа 2021 г.

№ 68.06.03/57

УТВЕРЖДАЮ:
 Генеральный директор малого
 инновационного предприятия
 ООО «СПбГАСУ-Дорсервис»
 к.э.н., доцент
 Е.Е. Медрес

**АКТ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО
 ИССЛЕДОВАНИЯ**

На тему: «Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям при
 проведении дорожно-транспортной экспертизы»

Автор: ассистент кафедры наземных транспортно-технологических машин автомобильно-
 дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного
 университета

ГОЛОВ ЕГОР ВИКТОРОВИЧ

Настоящий акт подтверждает, что полученные ассистентом кафедры наземных
 транспортно-технологических машин автомобильно-дорожного факультета Санкт-
 Петербургского государственного архитектурно-строительного университета Головым Е.В.
 результаты диссертационного исследования применяются в экспертной работе малого
 инновационного предприятия ООО «СПбГАСУ-Дорсервис», а именно:

– Метод определения объектов деформаций автомобилей на основе данных, полученных с
 применением технологии Lidar, в производстве дорожно-транспортных экспертиз;

– Метод учета вариативности измерений показателей объема деформаций для случаев
 нецентральных контактно-следовых взаимодействий с неполным перекрытием, который
 включает в себя два способа:

- а) использование коэффициента вариации исходных данных для верификации
 результатов расчета скорости столкновения транспортных средств по объемным
 деформациям;
- б) использование неравного шага измерения деформаций при изучении
 повреждений автомобилей, образовавшихся в результате ДТП, с
 концентрированным деформирующим воздействием на кузов;



**Общество с ограниченной ответственностью
«СПБГАСУ-Дорсервис»**

– Алгоритмы определения коэффициентов жесткости автомобилей в зависимости от года выпуска и класса автомобиля.

Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций, разработанная Головым Е.В. (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021662158), позволяет экспертам оперативно и с высокой точностью произвести расчеты затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля и эквивалентную данным затратам скорость движения. Необходимо также отметить, что реализация в Программе полученных автором результатов научных исследований позволила учесть при производстве расчетов аспекты, методический аппарат определения которых был недоступен прежде для широкого круга экспертов, а именно:

– определение величин деформации в автоматизированном режиме работы Программы по загруженным результатам лазерного сканирования и сопоставлении исследуемого автомобиля с его 3D-моделью недеформированного состояния, выбранной пользователем из 1170 имеющихся в базе Программы;

– определение коэффициента вариации введенных для производства расчетов значений глубин внедрения;

– возможность расчета затрат кинетической энергии на участках деформации с неравным шагом;

– расчет коэффициента Гука и модуля упругости I рода (Юнга) в зависимости от года выпуска автомобиля и его классификации в соответствии с классификацией Euro NCAP.

В целом, предложенные Головым Е.В. методы, алгоритмы и инструментарий позволили повысить достоверность результатов проводимых дорожно-транспортных экспертиз и оперативность их выполнения, сократив временные затраты на их производство.

Руководитель отдела
по научному сопровождению,
к.т.н., доцент, Лауреат премии
Правительства Санкт-Петербурга

Я.В. Васильев



пр. Непокоренных, 49А, С-Петербург, 195220
тел. (812) 346-85-23. факс. (812) 449-61-04
e-mail: nwrm@spb.reso.ru www.reso.ru

Акт об использовании результатов диссертационной работы на тему
«Методика оценки скорости движения автомобилей по их деформациям
при проведении дорожно-транспортной экспертизы»
старшего преподавателя ФГБОУ ВО СПбГАСУ Голова Егора Викторовича

Настоящим сообщаем, что результаты диссертационной работы старшего преподавателя ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» Голова Е.В. приняты к внедрению Страховым акционерным обществом «РЕСО-Гарантия» и используются экспертами в расчетно-исследовательских работах, а также в практической деятельности при решении вопросов, связанных с реконструкцией механизмов ДТП с участием транспортных средств.

Разработанные автором Программа расчета скорости автомобиля-участника ДТП в момент столкновения с учётом полученных деформаций (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021662158) и База данных жесткостных характеристик автомобилей категории М1 для проведения ДТЭ и, в целом, применение результатов диссертационной работы Голова Егора Викторовича позволяет повысить точность расчетов и качество экспертных заключений.

Начальник Правового управления

РУ по СЗФО САО «РЕСО-Гарантия»



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021662158

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

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет» (RU)*

Автор(ы): *Голов Егор Викторович (RU)*

Заявка № **2021661136**

Дата поступления **14 июля 2021 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **23 июля 2021 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев

