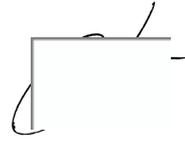


На правах рукописи



Тюлькин Евгений Викторович

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ТРИГГЕРА
ЗАПИСИ ДАННЫХ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО
ПРОИСШЕСТВИЯ В БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ
АВТОМОБИЛЯ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ
Евтюков Сергей Аркадьевич

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

Афанасьев Александр Сергеевич
кандидат военных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», кафедра «Транспортно-технологические процессы и машины», завуч;

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

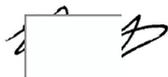
Защита диссертации состоится «17» июня 2021 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, (аудитория № 220).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

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

Автореферат разослан «29» апреля 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент



Олещенко Елена Михайловна

I ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Количество дорожно-транспортных происшествий на автомобильном транспорте, а также их последствия, ставят автомобильный транспорт на первое место по уровню опасности для человека. По данным ГИБДД, только за 2020 год зарегистрировано 131776 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), в которых погибло 14587 человек и более 166 тысяч человек получили ранения. Экономические, социальные и медицинские проблемы, порождаемые дорожно-транспортными происшествиями, являются серьезной проблемой государственного уровня.

Использование статистических данных о факторах, оказывающих наибольшее влияние на процесс ДТП в той или иной дорожно-транспортной ситуации (ДТС), более достоверно при обобщении большого количества качественно выполненных экспертиз, что позволяет улучшить процесс анализа причин ДТП и разработать меры к уменьшению влияния выявленных факторов ДТП на каждом конкретном сегменте дорожной сети. Использование компьютерных технологий может рассматриваться как способ автоматизации процесса реконструкции и анализа, а также обработки полученных данных о факторах ДТП. При должном уровне автоматизации процесса реконструкции ДТП компьютерные технологии позволяют не только ослабить влияние ошибок экспертов на достоверность исследования, но и снизить требования к специалисту путем ввода объективных первичных данных и существенно расширить возможность получения и использования статистических данных о ДТП.

Проблема достоверности исходных данных, в том числе представленных для проведения автотехнических экспертиз в материалах по факту ДТП относится к объективным недостаткам существующего уровня анализа и реконструкции ДТП. Наибольшее влияние эта проблема оказывает на реконструкцию ДТП, связанных с наездом на пешеходов, т.к. невозможно точно определить фактическую скорость движения пешехода в момент наезда, а существующие данные, применяемые в экспертной практике существенно не менялись с 2013 года (исследования скорости передвижения пешеходов Ленинградский НИЛСЭ). Аналогичная ситуация наблюдается в практике определения параметров движения ТС при их столкновении. Таким образом, сам алгоритм проведения экспертизы ДТП требует дальнейшего изучения и улучшения для получения оценки достоверности полученных выводов. Учитывая тот факт, что в большинстве случаев, полученные при анализе ДТП результаты имеют погрешности, существенно превышающие точность измерения экспериментальных точек исследуемого параметра, либо

их значения выходят за пределы классификационного интервала признака, то фактически любую полученную модель ДТП можно считать приближенной. Таким образом, получение статистических данных о максимальном количестве параметров для каждой конкретной ДТС позволит существенно повысить качество и достоверность экспертиз при анализе и реконструкции ДТП устраняя субъективное восприятие эксперта, а автоматизация процесса обработки информации позволит сократить время расчетов. Кроме того, полученные данные о факторах, оказывающих наибольшее негативное воздействие на процесс ДТП, возможно систематизировать и использовать для разработки и реализации мер, направленных на снижение тяжести и количества ДТП для каждого сегмента дорожной сети.

Методика определения границ триггера записи данных в электронные блоки управления (ЭБУ) современного автомобиля, позволит существенно повысить качество, достоверность и объективность исследований в области дорожно-транспортных экспертиз.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиями в области реконструкции ДТП занимались известные ученые: Иларионов В. А., Бекасов В. А., Суворов Ю. Б., Зотов Б. Л., Боровский Б. Е., Балакин В. Д., Кристи Н. М., Евтюков С. А., Добромиров В. Н., Васильев Я. В., Сильянов В. В., Рябокони Ю. А., Федотов В. Н., Грушецкий С. М., Стёпина П. А, Евтюков С. С., а также зарубежные специалисты: Brink, Ph. D. Eng. De La Fuente, Rosén, E., Stigson, H. & Sander, U, Hurt, H. H., Ouellet, J. V., Thom, D. R., Fricke, Lynn B., Riley, Brown, John F., Obenski, Kenneth S., Severy, D., Niederer, Ph.D. Eng. Kubiak P., Ph.D. Eng. Wozniak M., Eng. Jablonski R., Prof. Ozuna G., P H., Blaisdell, Warner W. и многие другие. Однако разные подходы к проблемам определения скорости движения транспортных средств (ТС) в момент ДТП, возникающим при их реконструкции, в работах перечисленных авторов дают возможность получить разные результаты, требующие улучшения методов расчета с применением новых данных.

Применяемая до сих пор методика расчета скорости движения ТС при торможении, созданная в 80-х годах прошлого века, состоит в том, что расчет скорости ТС осуществляется по следам тормозного юза, однако современные автомобили, оснащенные системами ABS, ESP и т.д., препятствующими блокировке колес при торможении таких следов не оставляют, что на практике делает существующую методику неприменимой. Кроме того, заведомое занижение оценки расчетной скорости движения, вследствие отсутствия расчета затрат кинетической энергии на деформацию кузова при столкновении ТС, при проведении автотехнической экспертизы, препятствует установлению истинной картины ДТП. Аналогичная ситуация склады-

вается при определении скорости движения ТС в момент наезда на пешехода, большая часть исходных данных о скорости движения ТС перед ДТП в этом случае состоит из субъективных данных участников и свидетелей.

Экспертная практика показывает, что фактическая скорость движения ТС в момент ДТП, оказывается выше расчетной, т.к. большинство экспертов лишены возможности использовать данные вне задания на проведение экспертизы, т.е. самостоятельно собирать данные блоков управления ТС, учитывать статистическую информацию об аналогичных ДТП на месте происшествия и пр. С точки зрения оценки самого ТС, современные ТС оборудованы устройствами, содержащими информацию о скорости в момент столкновения, значения установившегося замедления и времени его нарастания до установившегося значения замедления и многие другие параметры. Однако до сих пор не ясно, возможно ли получать такие же данные при наезде на пешехода, как при столкновении или наезде на жесткое препятствие. В существующей методике расчёта скорости движения при наезде на пешехода не учитываются особенности кузова ТС, отсутствуют данные о фазах перемещения тела пострадавшего после удара.

Опыт экспертной деятельности позволяет утверждать, что в вышеприведенном контексте, методика оценки скорости движения ТС при реконструкции ДТП, учитывающая данные блоков управления ТС и возможность получения статистических данных о скорости движения при аналогичных ДТП на данном сегменте дороги, при применении кинематических моделей с учетом деформации кузова ТС к исследуемому ДТП в целом, дает возможность получения точных данных о скорости, что существенно повышает точность оценки самой исследуемой ДТС в целом.

Цель диссертационного исследования – разработка методики определения границ триггера записи данных дорожно-транспортного происшествия в ЭБУ автомобиля.

Предполагается что полученная методика позволит проводить дальнейшие исследования в целях улучшения кинематической модели определения скорости движения ТС с учетом энергии, затраченной на деформацию кузова ТС и отброс тела пешехода при фронтальном наезде.

Объектом исследования – является ЭБУ транспортных средств для производства автотехнических экспертиз дорожно-транспортных происшествий.

Предмет исследования – методика определения границ триггера записи данных о дорожно-транспортном происшествии в электронный блок управления автомобиля.

Задачи исследования.

1. Выполнить обзор и анализ существующих методов исследования основных параметров движения ТС при ДТП.

2. Создать алгоритм и написать программу автоматизированного анализа затрат кинетической энергии на деформацию кузова ТС, отброса ТС после столкновения, отброса тела пешехода при фронтальном наезде ТС.

3. Обосновать математическую модель алгоритма триггера записи данных о ДТП в ЭБУ, связанных с наездом на пешехода для ТС категории М1.

4. Экспериментально определить ускорения/замедления автомобиля при фронтальном наезде на пешехода с проверкой данных о скорости автомобиля в момент ДТП непосредственно из памяти блоков управления, соответствующих стандарту OBD II либо содержащих функцию EDR и провести эксперименты по уточнению коэффициента сцепления тела человека на различных поверхностях.

5. Сравнить экспериментальные данные с данными расчета кинематической модели ДТП по отбросу тела пешехода, и уточнить модель расчета затрат кинетической энергии на деформацию кузова автомобиля при наезде на пешехода.

Рабочей гипотезой послужило представление о том, что объективность выводов автотехнической экспертизы ДТП, можно повысить, путем получения всех параметров движения ТС в процессе столкновения или наезда на пешехода непосредственно по показаниям датчиков записанных в ЭБУ ТС, а также понимание того, что значения параметров и функций, которые эксперт обычно определяет на основе интуиции и опыта, обычно получаемых традиционными методами, можно усилить повысив их качество и объективность, полностью получив таковые непосредственно из памяти блоков управления транспортного средства. В ином случае, при невозможности получения данных блоков управления, посредством использования в кинематических моделях ДТП алгоритмов расчета затрат энергии на деформацию кузова ТС и проверки статистических данных о скоростях на месте ДТП, полученных путем микромоделирования процессов ДТП с использованием разработанного автором специального программного обеспечения. Таким образом, изложенное выше придает задаче разработки «методики определения границ триггера записи данных о ДТП в ЭБУ автомобиля» большую практическую значимость и точность экспертных расчетов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

– получены данные о коэффициенте сцепления тела пешехода для разных дорожных условий;

– решена задача по анализу условий возникновения погрешностей расчета скорости движения ТС ЭБУ автомобиля при расшифровке данных блока управления подушками безопасности. Разработана система управления эффективностью производства автотехнических расчетов при анализе и реконструкции ДТП, автоматизировано рабочее место автотехнического эксперта в разработанном программном продукте, отличающееся от известных структурой его сервисов, функциональных блоков и баз данных обеспечения расчетов, автоматизированных алгоритмов анализа, в том числе с использованием данных блоков управления автомобилями различных марок;

– получена методика определения наличия записи данных о ДТП в ЭБУ ТС позволяющая включать ЭБУ в перечень исходных данных без вмешательства в работу блоков по проведению дорожно-транспортных экспертиз;

– подтверждена методика определения скорости движения ТС при фронтальном наезде по расстоянию отброса пешехода.

Теоретическая ценность исследования состоит в расширении области математического моделирования физических процессов взаимодействия пешеходов и ТС, а также во взаимодействии ЭБУ ТС при ДТП. Анализе допустимых при проведении экспертиз доверительных интервалов погрешности инженерных методов расчета скорости автомобиля в момент столкновения ТС; представленных теоретических и экспериментальных исследований коэффициента сцепления тела пешехода для различных поверхностей и экспериментальных исследованиях осевых ускорений кузова автомобиля в момент фронтального наезда на пешехода приводящие к срабатыванию ЭБУ ТС.

Следует также отметить развитие теоретических методов получения исходных данных о ДТП. Полученные расчетные значения о параметрах движения ТС как до, так и после аварии позволяют более точно определить влияние ущерба исходных данных на моделирование процесса ДТП. Созданная на основании полученных данных методика определения границ триггера записи данных ЭБУ ТС впервые позволила применить расчетный метод для определения исходных данных без вскрытия электронных носителей.

Впервые представлены теоретические и экспериментальные исследования процесса наезда на пешехода с использованием акселерометров аналогичных установленным в блоках управления ТС, а также исследования коэффициентов сцепления тела пешехода с опорной поверхностью в различных дорожных условиях.

Достоверность полученных научных результатов, выводов и рекомендаций обоснована теоретически и подтверждена результатами расчетов специально разработанной компьютерной программы для реальных про-

изводственных условий и положительным опытом внедрения разработок в практическую деятельность.

Практическая значимость исследования заключается в том, что:

– использование разработанной методики в практической сфере деятельности служб ГИБДД, экспертных учреждений, страховых компаний и т. д., позволяет существенно увеличить точность результатов заключений автотехнических экспертов;

– для органов дознания ГИБДД и следствия обеспечивает сбор дополнительных исходных данных при реконструкции ДТП, связанных с наездом на пешеходов и столкновением ТС;

– использование в учебном процессе образовательных учреждений по направлениям «Эксплуатация транспортных средств» и «Безопасность дорожного движения» «Транспортных систем» расчетов по предлагаемой методике, реализованной в виде программы для ЭВМ, позволяет в том числе повысить качество подготовки специалистов.

Методы исследования. В диссертационном исследовании качестве методической основы использовалась практика реконструкции механизмов дорожно-транспортных происшествий с участием пешеходов и ТС, математические и статистические методы обработки данных экспериментальных исследований, а также рекомендуемые методы расчета скорости ТС.

Положения, выносимые на защиту:

– Метод расчета границы триггера запуска систем пассивной безопасности, позволяющий получить данные ЭБУ при фронтальном наезде на пешехода и влияние массы его тела на мгновенное снижение скорости ТС.

– Обоснованные и полученные коэффициенты сцепления тела человека в различных погодных и дорожных условиях для разных типов одежды.

– Усовершенствованную методику определения скорости ТС при фронтальном наезде.

– Методику получения исходных данных в ЭБУ о скорости движения ТС, при их столкновении.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно 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 учетом технического состояния автомобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

Степень достоверности результатов проведенных исследований обосновывается использованием актуальных исследований современных российских и зарубежных ученых. Планированием и проведением полнофакторных экспериментов, с формированием соответствующих ограничений и допущений, общепринятых в ходе проведения исследований, оценки полученных результатов экспериментов. При оценке погрешности измерений применением методов математического, статистического и качественного анализа, проверкой допустимой сходимости полученных результатов экспериментов, применением поверенного специального оборудования, подтверждением результатов путем проведения сравнительных расчетов скорости ТС, при реконструкции реальных ДТП.

Апробация работы. Основные положения диссертации и отдельные ее результаты докладывались и обсуждались на IV Международной научно-практической конференции «Реконструкция и анализ ДТП» (2012г.) 11-й Международной научно-практической конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (2014) г. Санкт-Петербург и на V международной конференции «Расследование, реконструкция и Экспертиза ДТП». На 9-й Международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (2015г.) г. Санкт-Петербург. На 10-й Международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» (2018г.) г. Санкт-Петербург, круглый стол посвященный 10-летию кафедры криминалистики УМВД

Разработанная методика определения скорости ТС используется в экспертной практике ООО «Кит оценка», ГСУ СК РФ на транспорте по СЗ и ЮФО, институт безопасности дорожного движения (ИБДД) СПбГАСУ, лаборатория безопасности дорожного движения ООО «Кит оценка», ООО «Центр судебной экспертной помощи» г. Вологда, НЧЭУ «Межрегиональный центр независимой экспертизы» для использования в практике при производстве автотехнических исследований. ГИБДД. Результаты работы также используются в учебном процессе СПбГАСУ при подготовке студентов по направлениям «Организация и безопасность движения», «Эксплуатация автомобильного транспорта», что подтверждается актами внедрения научных результатов диссертационной работы.

Публикации. Основное содержание диссертационного исследования отражено в 12 печатных работах. Из них 6 статей в журналах входящих в перечень ВАК. Одна статья в журнале, входящем в перечень Scopus. Написана 1 монография. Снят один учебный фильм. Создана 1 компьютерная программа.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, обзора литературы. Основной текст дис-

сертации изложен на 156 страницах, содержит 10 таблиц, 80 рисунков. Список литературы содержит 116 источников.

Во введении обосновываются задачи, требующие решения, актуальность темы, излагается цель исследования, научная новизна, практическая ценность, а также основные положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе проведен анализ уровня обеспеченности автомобилей системами пассивной безопасности, оборудованными функциями записи данных о ДТП, параметров движения ТС, фиксируемых системами пассивной безопасности, доступные при производстве автотехнических экспертиз. Описание влияния скорости, как основного фактора на тяжесть последствий ДТП. Анализ проблемы использования кинематических моделей при определении скорости движения ТС. Описание проблемы определения скорости движения ТС при фронтальном наезде на пешехода и методов ее решения. Описание проблемы получения данных о ДТП из памяти блоков управления ТС. Описание проблемы определения погрешности расчетов при проведении автотехнических экспертиз. Описание проблемы применимости метода использующего следы юза ТС. Описание проблемы исследований электронных данных о работе узлов и механизмов ТС. Проведен анализ доступного эксперту автотехнику программного обеспечения для реконструкции и моделирования процесса ДТП.

Проведены теоретические исследования методов определения скорости движения ТС при ДТП, рассмотрено применение нормативных и экспериментально-расчетных значений определения скорости движения ТС в экспертной практике, определена необходимость экспериментального уточнения методов расчета скорости ТС для получения ее точного значения.

Во второй главе проанализированы существующие способы технической экспертизы блоков управления ТС, содержащие данные о параметрах движения ТС в момент ДТП. Описаны теоретические и полученные экспериментальные данные исследования коэффициента сцепления тела человека для различных дорожных условий в разных типах одежды (табл. 2). Описаны экспериментальные данные полученные из ЭБУ ТС при ДТП, в том числе связанных с фронтальным наездом на пешехода. Описаны экспериментальные данные о замедлении ТС при фронтальном наезде на пешехода (табл. 1). Описана разработка программы для автоматизации рабочего места эксперта автотехника.

Использование программы автоматизированного рабочего места эксперта автотехника позволяет снизить стоимость работ и требования к квалификации эксперта (рис. 1).

Проверка скорости столкновения по деформациям кузова

Марка														
Лада Калина														
Регистрационный номер														
У101MP														
Год выпуска														
2017														
Категория (колесная база, см)														
Средний (280-298 см) ▼														
Направление удара														
Фронтальный удар ▼														
Результаты замеров, мм														
														
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>L, мм:</td> <td>C₁, мм:</td> <td>C₂, мм:</td> <td>C₃, мм:</td> <td>C₄, мм:</td> <td>C₅, мм:</td> <td>C₆, мм:</td> </tr> <tr> <td>1610</td> <td>347</td> <td>429</td> <td>487</td> <td>490</td> <td>429</td> <td>353</td> </tr> </table>	L, мм:	C ₁ , мм:	C ₂ , мм:	C ₃ , мм:	C ₄ , мм:	C ₅ , мм:	C ₆ , мм:	1610	347	429	487	490	429	353
L, мм:	C ₁ , мм:	C ₂ , мм:	C ₃ , мм:	C ₄ , мм:	C ₅ , мм:	C ₆ , мм:								
1610	347	429	487	490	429	353								

Рис. 1 Внесение данных о деформации кузова и ее направлении в модуль расчета затрат кинетической энергии ТС на деформацию кузова ТС в разработанной программе «PomoshnikOSAGO».

Программный комплекс реализован на языке программирования PHP и имеет модульную структуру, позволяющую включать в программу новые скрипты и приложения в случае необходимости. В качестве среды разработки использовался собственный продукт nhub. Данная среда позволяет интегрировать программу на сервер и поддерживать одновременную работу множества виртуальных хостов, что делает ее доступной множеству пользователей одновременно и позволяет записывать данные уникальных пользователей в базу данных для дальнейшей обработки.

Программа прошла проверку на совместимость с операционными системами и используемыми интернет-браузерами, в том числе мобильных устройств. В работу программы интегрирована интернет-карта Яндекс, позволяющая пользователю отмечать место ДТП. Базовая часть комплекса содержится в подпрограмме scriptv12.php. Данная подпрограмма является логическим ядром и служит для координации работы всех приложений. Так же программа снабжена модулем datadtp.dbx, который содержит в себе все табличные постоянные, используемые при расчетах, а также хранит информацию, полученную от пользователей программы.

В третьей главе описана методика определения границ триггера записи данных в ЭБУ ТС при ДТП. Определение значений параметров ускорений ТС в момент ДТП, и их влияния на мгновенное изменение скорости и направление движения позволяющий решить вопрос о наличии данных о ДТП в виде дополнительных вещественных доказательств – записей в ЭБУ ТС, в том числе, когда не сработали приборы пассивной безопасности.

В четвертой главе

Рассмотрена экономическая эффективность применения полученной методики и созданного на ее основе программного продукта при условии дисконтирования чистого операционного дохода. Приведены примеры вопросов и выводов автотехнических экспертиз. Показан пример электронного справочника автотехника по ТС. Доказана связь между цифровизацией процесса оказания услуг автотехнической экспертизы и переходом данных услуг в область использования общедоступных.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Обоснован метод расчета границы триггера запуска систем пассивной безопасности, позволяющие получить данные ЭБУ при фронтальном наезде на пешехода. Рассмотрено влияние массы тела пешехода на мгновенное замедление ТС при фронтальном наезде.

2. Обоснован метод расчета границы триггера запуска систем пассивной безопасности, позволяющие получить данные ЭБУ при фронтальном наезде на пешехода. Рассмотрено влияние массы тела пешехода на мгновенное замедление ТС при фронтальном наезде.

В общем случае решение поставленной задачи производится сравнением затрат кинетической энергии на деформацию кузова автомобиля $E_{\text{деф}}$ с пороговыми значениями мгновенного изменения скорости при ударе ΔV для столкновения ТС или наезда на препятствие, а в случае фронтального наезда на пешехода путем сравнения энергии отброса $E_{\text{отб}}$ для взрослых пешеходов и замедлений ТС (табл. 1).

Для случая фронтального наезда на пешехода при выполнении следующего неравенства возможно срабатывание систем пассивной безопасности:

$$\frac{m_p}{m_a} \left(\frac{\sqrt{2\mu g [(D_2 + D_3) - \mu H_2]}}{\sqrt{1 + \mu^2}} \right) \cdot t_0 \geq g_{\min}, \quad (1)$$

где g_{\min} – минимальное значение замедления ТС необходимое для срабатывания систем пассивной безопасности, μ – коэффициент сцепления тела человека с опорной поверхностью, H – высота падения тела пешехода, t_0 – время взаимодействия тела пешехода с кузовом ТС, D_2 – дистанция отброса тела пешехода до момента падения на опорную поверхность, D_3 – дистанция скольжения тела пешехода.

Таблица 1. Экспериментальные данные о замедлении γ_3 ТС при фронтальном наезде на пешехода

№	v_a , км/ч	γ_3 , м/с ² ,		
		Масса ТС, кг		
		1100	2580	12300*
1	20	(0,17–0,48)	(0,11–0,31)	0,05
2	30	(0,32–0,62)	(0,14–0,36)	««
3	40	(0,48–0,83)	(0,22–0,61)	««
4	50	(0,59–0,91)	(0,28–0,64)	««
5	60	(0,59–0,93)	(0,28–0,65)	

* Влияние тела манекена массой 80 кг на движение автомобиля массой свыше 5 тонн в ходе проведения экспериментов не выявлено.

Для случая столкновения ТС или наезда на препятствие согласно сравнению параметра эквивалентных затрат кинетической энергии на деформацию кузова ТС и данных завода изготовителя о минимальном пороге срабатывания систем пассивной безопасности исследуемого блока SRS.

При этом наиболее достоверным при проведении автотехнической экспертизы будет считаться расчет с использованием значения замедления тела человека максимально приближенные к условиям места происшествия, представленным в таблице 2.

Расчет скорости движения автомобиля при фронтальном наезде на пешехода по отбросу пешехода:

– перед торможением по уточненной формуле:

$$V_a = \sqrt{V_{end}^2 - 2\mu g s} + \Delta V_{a,x}, \quad (2)$$

где $\Delta V_{a,x}$ – мгновенное изменение скорости ТС по оси X ТС.

– при отсутствии торможения, по формуле:

$$V_a = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} + \Delta V_{a,x}, \quad (3)$$

– учитывая потери горизонтальной скорости из-за вертикального удара:

$$V_a = \sqrt{2\mu g(S + \mu H)} + \Delta V_{a,x}, \quad (4)$$

Влияние массы тела пешехода на мгновенное замедление ТС (табл. 1.) при фронтальном наезде определяется по формуле (5), также получены экспериментальные данные о замедлении ТС при фронтальном наезде на пешехода:

$$\Delta V_{a,x} = -\frac{m_p}{m_a}(V'_{p,x}), \quad (5)$$

Использование данной методики позволяет определить наличие данных о ДТП в ЭБУ ТС без инструментального вмешательства в работу электронных устройств с целью минимизации возможного ущерба данным о ДТП записанным в блоках памяти устройства. А использование созданного программного продукта позволяет определить данные значения на месте ДТП.

3. Обоснованы данные о коэффициенте сцепления тела человека в различных погодных и дорожных условиях для разных типов одежды.

Для проведения дальнейших исследований по вопросу определения границ триггера записи данных о ДТП при фронтальном наезде на пешехода, были проведены соответствующие краш-тесты с использованием специального оборудования, в результате которых, были получены основные графики перемещения тела пешехода. (Рис. 2)

Исходя из полученной картины краш-теста, можно наблюдать перемещение тела манекена пешехода в фазе D_3 . На рисунке 2 в фазе D_3 имеются два пика ускорений и замедлений центра масс манекена пешехода, что свидетельствует о затухающей реакции системы манекен – опорная поверхность при вертикальном перемещении после удара.

Следует обратить внимание, что время динамического сдавливания тела человека при падении с высоты H малоизучено и встречается в литературе фрагментарно, также нам ничего не известно о времени восстановления тела человека, поэтому мы используем данные упрощенных моделей, описывающих уравнения движения.

В момент вертикального удара, благодаря сжатию, изменяется фрикционные свойства поверхности тела пешехода, поскольку сам коэффициент трения является отношением силы трения к нормальной силе прижимающей тела. Для такого случая подходит модель Максвелла, которая определяет действующую прижимную силу в момент удара по формуле:

$$F(\text{Pr}) = \eta\sqrt{2gH}, \quad (6)$$

Однако во всех формулах определения скорости движения автомобиля при фронтальном наезде на пешехода по отбросу, коэффициент μ считает-

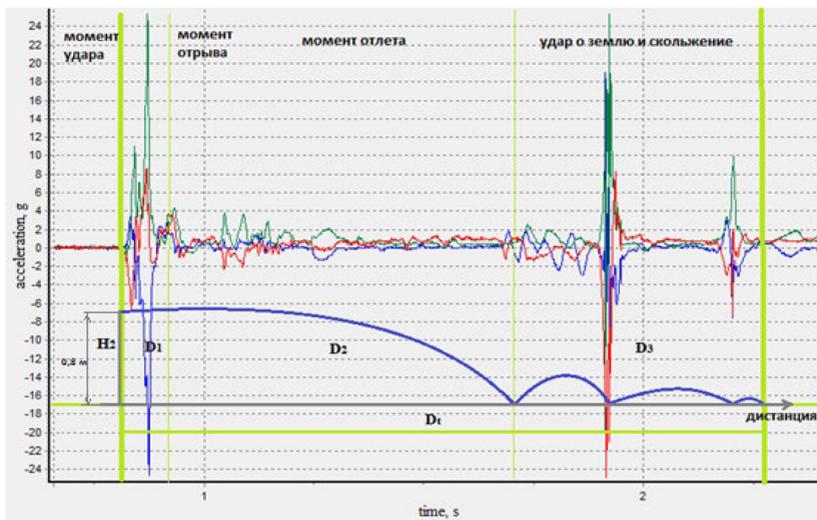


Рис. 2. Экспериментальные данные датчиков ускорения центра масс манекена со схематическим описанием фаз и траектории движения тела манекена после фронтального наезда автомобиля по модели Дж. Серля – «удар, падение, отскок, скольжение». H_2 – высота центра масс тела пешехода, D_1 – момент удара тела пешехода о кузов ТС, D_2 – дистанция отлета тела пешехода до момента падения на опорную поверхность, D_3 – удар о землю и скольжение.

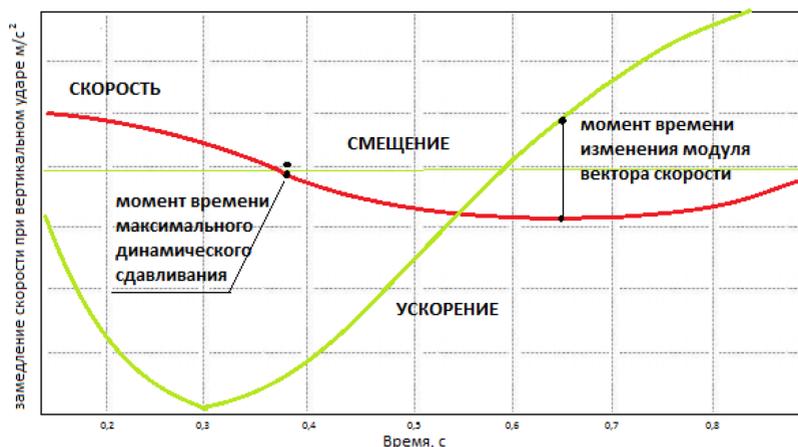


Рис. 3. График смещения изменения модуля скорости при падении тела пешехода

ся постоянной величиной. Поэтому для проведения исследований возможно применять стендовые испытания коэффициента сцепления, учитывающего механическое зацепление шероховатостей и неровностей различных типов опорной поверхности (рис. 4).

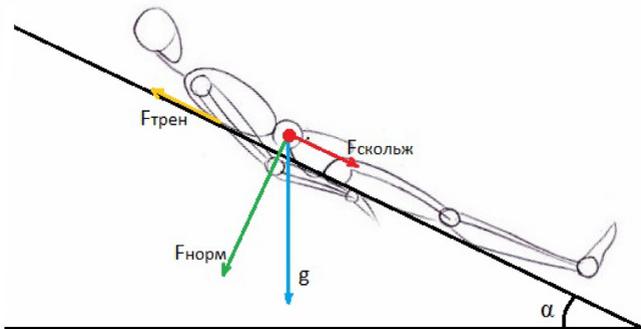


Рис. 4. Схема для проведения испытаний для получения значений μ для разных поверхностей

Использовалась поворачиваемая поверхность достаточного размера для установки манекена или человека с возможностью нанесения поверхностей различной шероховатости и твердости. Коэффициент сцепления определяется по формуле:

$$\mu = \operatorname{tg}\alpha, \quad (7)$$

Тело манекена (человека) помещают на наклонную поверхность с заранее подготовленной поверхностью, после чего изменяют угол наклона. В момент начала равномерного движения тела фиксируют угол наклона и определяют коэффициент сцепления. Важно, что для стендового испытания можно многократно применять разные типы одежды без потери ее целостности, что невозможно при натуральных краш-тестах, когда одежда манекена рвется под воздействием импульсных динамических нагрузок. Также это позволило получить меньший диапазон разброса значений коэффициента сцепления при большем количестве испытаний. (табл. 2)

Таблица 2. Экспериментальные данные коэффициента сцепления тела человека с опорной поверхностью при проведении полно-факторного эксперимента

Тип одежды/Тип поверхности	Среднее значение	90% доверительный интервал для среднего значения
Толстая зимняя одежда/лед	0,11	0,10 – 0,11
Тонкая кожаная одежда/ лед	0,09	0,09 – 0,10
Толстая зимняя одежда/лед с рыхлым снегом	0,20	0,19 – 0,21

Окончание табл. 2

Тип одежды/Тип поверхности	Среднее значение	90% доверительный интервал для среднего значения
Тонкая кожаная одежда/ лед с рыхлым снегом	0,19	0,18 – 0,20
Тонкая кожаная одежда/мокрый асфальт	0,42	0,40 – 0,44
Тонкая кожаная одежда/щебень	0,86	0,82 – 0,90

4. Усовершенствована методика определения скорости ТС при фронтальном наезде ТС.

Для проверки значений существующих методов расчета были проведены натурные испытания наезда автомобиля на манекен пешехода. Манекен изготовлен в рост человека 1 метр 70 сантиметров, масса манекена составляет – 80 кг. Стальной каркас с гнущимися суставами обеспечивает прочность конструкции при испытаниях и возможность установки манекена в разных позициях относительно автомобиля. Наполнение манекена выполнено смесью песка с опилками в пенополиуретановом футляре, обшитом брезентом с соблюдением всех пропорций масс тела человека. На уровне центра масс, встроен герметичный стальной футляр с программируемым датчиком акселерометра, работающим в трех осях. Датчик акселерометра выполнен на основе цифрового MEMS акселерометра с автономным питанием, USB интерфейсом и чипом FPR0M на 256 Кбайт. Программно включаемые диапазоны ускорений от 5 g до 250 g. Полоса частот сигнала датчика от 25 до 3200 Гц.

Методика исследований. В соответствии с целью исследований необходимо было получить точные данные о временных интервалах стадий отлета тела пешехода при фронтальном наезде автомобиля, данные об ускорении и замедлении тела пешехода, дистанции отброса тела человека. В ходе каждого испытания фиксировались: скорость движения автомобиля в момент наезда, дистанция отброса, дистанция скольжения манекена, ускорения по трем осям измеренные в центре масс тела манекена. При проведении эксперимента по наезду на пешехода, использовались три типа кузова: клиновидный, трапециевидный и коробчатый соответствующие автомобилям класса седан, джип и автобусов/ кабин грузовых ТС. Испытания на отброс производились на скоростях от 18 до 50 километров в час. Все фазы наезда на пешехода фиксировались на видеокамеру в нормальном и высокоскоростном режиме. Данные датчика акселерометра записывались в чип EEPROM по трем осям. Длительность записи позволяет анализировать данные об ускорениях, получаемых телом манекена во всех четырех фазах процесса наезда

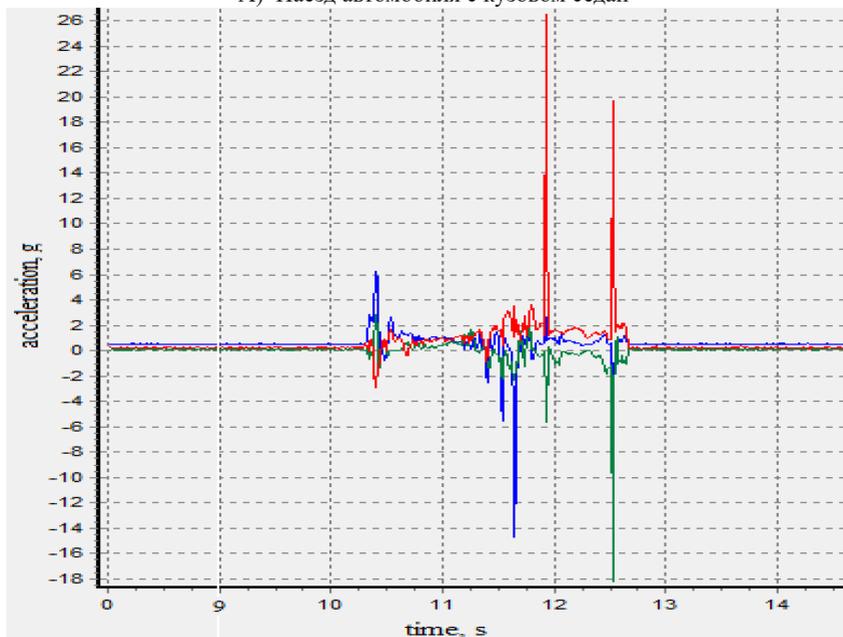
на пешехода: фазе упругого удара, фазе подброса/отброса, фазе удара о землю и поскока, фазе скольжения/волочения. Установка манекена при проведении эксперимента осуществляется таким образом, чтоб наезд был осуществлен передней правой частью кузова автомобиля (Рис. 5)



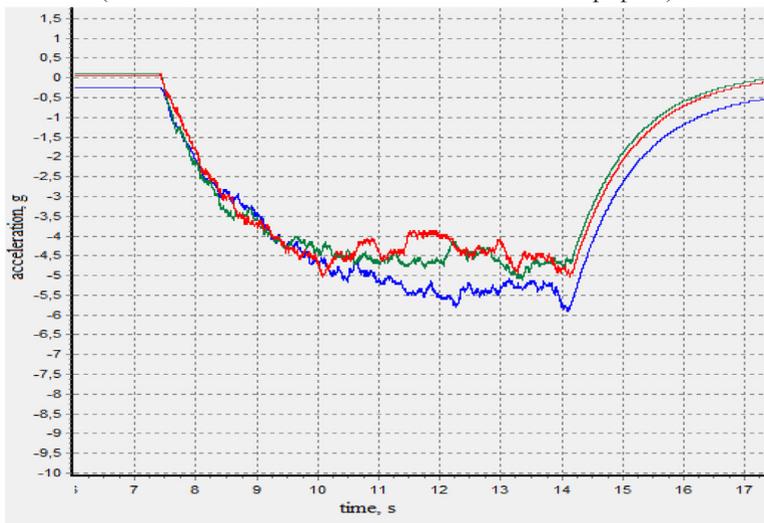
Рис 5. Момент наезда на манекен при проведении натурных испытаний с использованием автомобилей марки Лада Гранта (РФ) и ЖЕЕР (США)

В результате были получены следующие типичные картины ударных воздействий для разных типов кузова автомобиля при фронтальном наезде в виде диаграмм ускорений (рис. 6)

А) Наезд автомобиля с кузовом седан



Б) Наезд автомобиля с кузовом автомобиля JEEP
(использовано экспоненциальное сглаживание графика)



В) Наезд автобуса

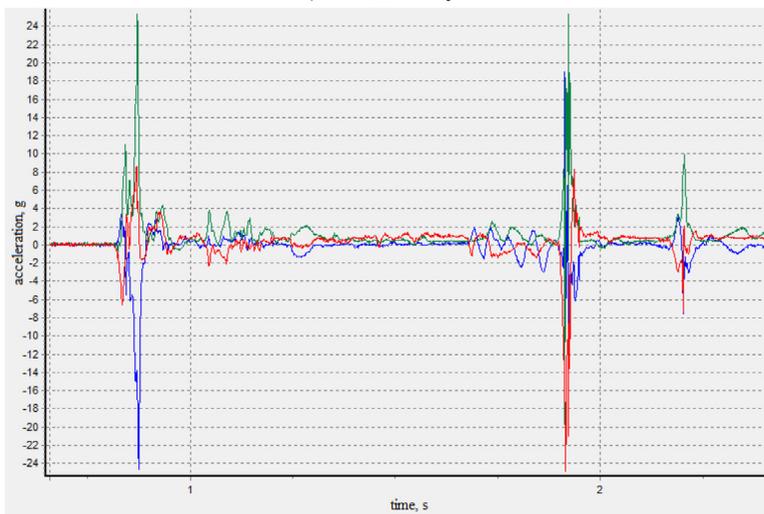


Рис. 6 Графики наезда автомобиля при скорости 30 км/час:
А – с кузовом седан, Б – с кузовом джип (использовано экспоненциальное сглаживание графика), В – автобуса.

Из-за того, что импульс получаемый манекеном при наезде ТС является комплексным сигналом, оправдано его упрощение. Полученная картина отброса тела после наезда ТС позволяют выделить четыре основные фазы, приведенные в исследовании М. Batista только для случаев наезда на пешехода кузовами седанов и автобусов.

В случае, если расположение точки первичного контакта находится выше центра масс тела манекена, следует рассматривать физико-математическую модель поведения тела человека после выведения его из состояния устойчивого равновесия с учетом силового импульса. В этом случае, общем виде, полный путь пройденный центром тяжести по оси X можно записать как:

$$S = V'_x t_{sf} + S_s, \quad (8)$$

где: t_{sf} – время свободного падения центра масс тела манекена, V'_x – составляющая скорости по оси X полученная в конце взаимодействия переднего свеса ТС и тела манекена, S_s – перемещение центра масс по оси X во время скольжения.

$$S_s = \frac{1}{2} V'_x / \mu g, \quad (9)$$

где g – ускорение свободного падения, μ – коэффициент трения.

Тогда, в общем виде, для такого типа наезда на пешехода, минимальную скорость автомобиля можно определить, как:

$$V'_x = 3,6\sqrt{2S_3\mu g}. \quad (10)$$

В результате исследований, была уточнена формула (10):

$$V'_x = 3,6\sqrt{2S_3\mu g + \Delta V_{a,x}}. \quad (11)$$

4. Разработана и научно обоснована методика получения информации о наличии данных в ЭБУ о скорости движения ТС, при фронтальном наезде на пешехода и столкновении ТС.

Исходными данными для экспертного анализа являются следующие:

- ширина (L) и глубина деформации кузова (S);
- дистанция отброса пешехода от места наезда ($S_{отбр}$);
- масса ТС и пешехода;
- коэффициент трения тела человека с дорогой (μ) согласно полученным табличным данным (табл. 2);
- наличие технических устройств, содержащих электронные блоки памяти в исследуемом ТС.

Предложена задача о наличии вещественных доказательств в виде записей данных в ЭБУ ТС. Одновременно с этим, расчетным методом, решается задача определения скорости движения ТС при фронтальном наезде на

пешехода, а также уточняется вопрос о наличии технической возможности у водителя предотвратить ДТП.

Расчет минимального порога триггера срабатывания систем пассивной безопасности: для случая фронтального наезда на пешехода при выполнении неравенства (1), для случая столкновения ТС или наезда на препятствие согласно сравнению параметра A_{ECR} (затрат кинетической энергии на деформацию кузова ТС) и данных завода изготовителя о минимальном пороге срабатывания систем пассивной безопасности исследуемого блока SRS конкретного ТС.

III ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения объективности и качества автотехнической экспертизы ДТП, связанных с наездом на пешеходов и столкновением транспортных средств. Автором решены следующие задачи:

1. Произведен анализ проблемы расчета скорости движения транспортных средств при фронтальном наезде на пешехода по отбросу тела пешехода и получение функциональной зависимости между скоростью в момент наезда и оценки возможности получения данных о скорости движения в ЭБУ автомобиля.

2. Решена задача выявленных погрешностей в значениях определяемой скорости движения транспортных средств при применении кинематических моделей расчета без учета затрат энергии на деформацию кузова транспортных средств.

3. Проведены экспериментальные исследования: возможности использования блоков управления транспортных средств при определении скорости движения транспортных средств в момент наезда на пешехода, скорости движения транспортных средств в момент фронтального наезда на пешехода, коэффициента сцепления пешехода с опорной поверхностью. Уточненные данные коэффициента сцепления скольжения для различных поверхностей.

4. Разработана программа автоматизированных рабочих мест автотехнической экспертизы ДТП, связанных с наездом на пешеходов и столкновением транспортных средств, которая учитывает полученные экспериментальные данные.

5. Научно обоснованы математические модели определения границ триггера запуска записи данных систем пассивной безопасности, позволяющие получить дополнительные вещественные доказательства в виде данных ЭБУ при фронтальном наезде на пешехода и столкновении ТС.

Достоверность полученных научных результатов, выводов и рекомендаций обоснована теоретически и подтверждена результатами расчетов по специально разработанной программе для реальных производственных условий и положительным опытом внедрения разработок в практическую деятельность.

Внедрение методики позволило сократить сроки выполнения автотехнических экспертиз более чем на 50%, более достоверно определять факторы ДТП (скорость, замедление и т.д.). Уменьшить трудозатраты при проведении автотехнических экспертиз. Повысить точность выполнения расчетов при проведении автотехнических экспертиз. Получить новое программное обеспечение для качественного выполнения расчетов и единой базы транспарентных расчетов факторов ДТП.

IV ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ

1. Тюлькин Е. В. Автоматизация процесса статистического исследования факторов ДТП, / Тюлькин Е. В. // Вестник гражданских инженеров. – Спб.: 2015. – №5 – с. 248 – 253.

2. Тюлькин Е. В. Статистическая оценка погрешности расчета скорости автомобиля при проведении автотехнической экспертизы, / Тюлькин Е. В. // Вестник гражданских инженеров. – Спб.: 2016. – №6 – с. 211 – 216.

3. Тюлькин Е. В. Сравнение методов определения скорости движения транспортных средств при экспертизе ДТП, / Тюлькин Е. В., Евтюков С. А. // Автотранспортное предприятие – М.: 2015. – №4 – с. 16 – 19.

4. Тюлькин Е. В. Использование данных и алгоритмов блоков SRS при расследовании, реконструкции и экспертизе ДТП, / Тюлькин Е. В. Степина П. А. // Автотранспортное предприятие – М.: 2014. – №3 – с. 45 – 48.

5. Тюлькин Е. В. Физическая модель фронтального наезда автомобиля на пешехода / Тюлькин Е. В., Евтюков С. А., Стёпина П. А. // Вестник гражданских инженеров. – 2017. № 3 – с. 259 – 265.

6. Тюлькин Е. В. Определение коэффициента трения тела пешехода при расследовании ДТП. / Е. В. Тюлькин, С. А. Евтюков, П. А. Стёпина, Безгина В. А. // Вестник гражданских инженеров. Вестник гражданских инженеров. – 2018. № 3 – с. 166 – 171.

Монографии

7. Тюлькин Е. В. Вопросы риска в сфере управления автотехнической экспертизой. / Е. В. Тюлькин. // – Спб., Петрополис 2020. 80 – с.

Публикации в изданиях, индексируемых международной системой цитирования Scopus

8. Tiulkin E, Digitalization as a factor of risk management in a research and production company in the field of motor vehicle examinations / Tiulkin E, Evtyukov St, Bezgina V. // Architecture and Engineering — Volume 4, Issue 4, P. 51–57. – 2019.

Учебно-методические издания

9. Тюлькин Е. В. Инженерно-психологическая (ситуационная экспертиза), / с // «Методические указания» СПб, СПбГАСУ, 2014. – 68 с.

10. Тюлькин Е. В. Расследование, реконструкция и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Задание и методические указания к курсовой работе «Экспертиза дорожно-транспортного происшествия» / Тюлькин Е. В., Евтюков С. А., Степина П. А. // СПб, СПбГАСУ, 2015. – 40 с.

11. Тюлькин Е. В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий, / Тюлькин Е. В. Степина П. А. // «Методические указания» СПб, СПбГАСУ, 2015. – 46 с.

12. Тюлькин Е. В., Стёпина П. А., Подопригора Н. В. Автотехническая экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Учебное пособие. // СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2018. – 233 с.

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 15.04.2021. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 15.

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

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