

Топилкин Павел Сергеевич

**МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ
АВТОМОБИЛЯ**

2.10.1. Пожарная безопасность
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет
ГПС МЧС России»

Научный руководитель

МОТОРЫГИН Юрий Дмитриевич

доктор технических наук, профессор, заслуженный
работник высшей школы Российской Федерации

Официальные оппоненты:

САВЕЛЬЕВ Анатолий Петрович

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им.
Н.П. Огарева», кафедра безопасности
жизнедеятельности, профессор;

МЯЛЬКИН Владимир Александрович

кандидат технических наук,
ФГКВУ ВО «Военная академия материально-
технического обеспечения им. генерала армии А.В.
Хрулева», кафедра (пожарной безопасности)
Военного института (инженерно-технического),
доцент

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Защита состоится «12» февраля 2025 г. в 15:00 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 04.2.003.01 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» (196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 149).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 149) и на сайте dsovet.igps.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Учёный секретарь диссертационного совета 04.2.003.01
кандидат технических наук, доцент

М.Р. Сытдыков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Современные автотранспортные средства насыщены большим количеством электрооборудования, бортовая электросеть современных автомобилей составляет существенную часть от их общей массы и ежегодно ее доля только возрастает. Большое количество проводников, коммутационных устройств и контактных соединений делает их одними из наиболее опасных потенциальных источников зажигания, а возникающие в них аварийные режимы часто приводят к пожарам автомобилей.

По данным ФГБУ ВНИИПО МЧС России количество пожаров на автотранспортных средствах, возникших по электротехнической причине, в 2023 году превысило традиционно находившиеся на первом месте пожары, произошедшие по причине искусственного инициирования горения (поджог), и эта тенденция, в соответствии с данными за несколько последних лет, имеет предпосылки к росту.

Особенностью развития автотранспорта в России является большое разнообразие автомобилей, представленных различными марками отечественных и зарубежных производителей. Обеспечить квалифицированное техническое обслуживание такого широкого парка автомобилей очень сложно, что оказывает влияние на состояние бортовой электросети автомобилей и, как следствие, на ее потенциальную пожарную опасность. Для обеспечения пожарной безопасности электросети автомобиля необходима оценка ее состояния на этапах жизненного цикла автомобиля, связанных с эксплуатацией и ремонтом.

По данным «АВТОСТАТА» на 1 июля 2024 года в стране более 40 миллионов автотранспортных средств имеют срок эксплуатации более 10 лет. Это составляет 72,8% от всего количества автомобилей. При этом на долю легковых автомобилей в возрасте более 10 лет приходится 72,2%, на автобусы – 63,7%. Хуже всего дело обстоит с грузовыми автомобилями старше 10 лет, на их долю приходится 77,5 %. По типу двигателя автомобили делятся на бензиновые, дизельные, газовые, газогенераторные, электрические и другие, в диссертационном исследовании рассмотрена пожарная опасность электрической сети автомобилей с двигателем внутреннего сгорания.

В современной литературе нет сведений о единой теории и общих моделях, описывающих изменение пожарной безопасности электросети автомобилей в зависимости от их возраста. Существующему положению вещей по анализу и предотвращению аварийных режимов, связанных с возгоранием элементов электросети автомобилей в зависимости от их возраста, не соответствует имеющаяся теоретическая база. Поэтому весьма **актуальным** является разработка методов анализа аварийных режимов работы электрических сетей автомобилей на различных этапах эксплуатации.

Степень разработанности темы исследования

Исследованием и оценкой аспектов пожарной безопасности электрической сети автомобилей посвящены работы Смелкова Г.И., Чешко И.Д., Зернова С.И., Корольченко А.Я., Толстых В.И., Галишева М.А., Ловчикова В.А., Таранцева А.А., Ивахнюка С.Г., Косенко Д.В. и др.

Стоит отметить, что в большинстве случаев ранее проведенные исследования не учитывают изменение состояния элементов электрической сети на различных этапах эксплуатации автомобиля.

Объект исследования – закономерности процессов возникновения в элементах электросети автомобиля пожароопасных аварийных режимов работы.

Предмет исследования – свойства математических моделей описания возникновения и развития пожаров электросети автомобиля с учетом условий эксплуатации для оценки их пожарной опасности.

Целью диссертационного исследования является создание моделей и методики оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля на различных этапах его эксплуатации.

На основании вышеизложенного была сформулирована **научная задача**: создание моделей и методики оценки пожарной безопасности электросети автомобиля на различных этапах его эксплуатации.

Для достижения поставленной научной задачи необходимо решить следующие частные **задачи**:

1. Проанализировать статистику пожаров на автомобильном транспорте и обосновать выбор методик оценки состояния электросети автомобиля.
2. Разработать математические модели оценки пожароопасных аварийных режимов работы электросети автомобилей на различных этапах эксплуатации.
3. Создать методику оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля, позволяющую оперативно принимать решения по проведению профилактических работ и осуществлять мониторинг их выполнения.

Научная новизна результатов

1. Разработаны математические модели оценки пожароопасных аварийных режимов работы электросети автотранспортных средств на разных этапах эксплуатации, **отличающиеся** от существующих возможностью прогнозировать возникновение наиболее вероятных аварийных режимов в электрических элементах автомобиля на различных этапах эксплуатации.
2. Создана методика оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля, основанная на полученных математических моделях и включающая, на различных этапах эксплуатации, результаты применения инструментальных методов исследования характеристик электросети и ее элементов, с целью оперативного принятия решений по проведению профилактических работ и осуществлять мониторинг их выполнения.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, соответствуют паспорту специальности 2.10.1. Пожарная безопасность п.3. «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования и конструкций» и п.13. «Разработка методов оценки и прогнозирования ресурса безопасной эксплуатации устройств технических систем на объектах защиты и прилегающих к ним территориях».

Теоретическая значимость работы заключается в разработке Марковских моделей математической оценки пожароопасных аварийных режимов работы электросети автомобилей, полученных на основании проведённого анализа процессов, связанных с пожарной безопасностью электросети автомобиля на различных этапах эксплуатации.

Предложена методика оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля. Методика позволяет на основе математических моделей, реализованных с помощью цепей Маркова, оперативно принимать решения по проведению профилактических работ и осуществлять мониторинг их выполнения. Результаты математического моделирования и экспериментальных исследований обрабатываются с использованием созданной базы данных.

Практическая значимость работы

На основании разработанных математических моделей обоснованы принципы и способы обеспечения пожарной безопасности возникновения пожаров, связанных с аварийными режимами работы электросети автомобиля. Предложенная методика оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля, позволяющая оперативно принимать решения по проведению профилактических работ, контролировать их выполнение и позволяет предотвратить возникновение пожаров на автотранспортных средствах предприятий по обслуживанию и эксплуатации автомобилей. Методика реализована в виде программного комплекса для ЭВМ и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024610270.

Полученные результаты исследований применяются в практической деятельности экспертных учреждений МЧС России, а также в автомобильном парке Общероссийской общественной организации Всероссийского добровольного пожарного общества.

Методы исследования

В диссертационной работе использовались следующие методы: теория конечных цепей Маркова, теория вероятности, статистические методы обработки экспериментальных данных, системный анализ, синхронный термический анализ, инфракрасная спектроскопия, методы сравнения, описания и обобщения.

Информационной основой исследования являлись отечественные и зарубежные литературные, правовые и нормативные источники, материалы расследований пожаров, а также научно-исследовательские работы в области обеспечения пожарной безопасности на автомобильном транспорте.

Достоверность и обоснованность основных положений диссертационного исследования обеспечены использованием современных методов математического моделирования, системного анализа, методами обработки результатов применения инструментальных методов с помощью современного программного обеспечения.

Положения, выносимые на защиту

1. Модели математической оценки пожароопасных аварийных режимов работы электросети автотранспортных средств, основанные на Марковских цепях, отличающиеся от существующих возможностью прогнозировать возникновение наиболее вероятных аварийных режимов в электрических элементах автомобиля на различных этапах эксплуатации.

2. Методика оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля, позволяющая определять этап его эксплуатации, в соответствии с ним принимать решения по проведению дополнительных инструментальных исследований и профилактических работ для снижения вероятности возникновения аварийных пожароопасных режимов работы электропроводки, реализованная в виде программного комплекса.

Апробация исследований

Основные научные результаты, полученные в диссертационном исследовании, докладывались и обсуждались на:

VII Международной научно-практической конференции «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации», 5 июня 2019 г., Восточно-Сибирский институт МВД РФ; Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы судебных инженерно-технических экспертиз» 28 июня 2019 г., ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России; XI Всероссийской научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы, современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций» 27 сентября 2019 г., Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева; III Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения» 23-24 мая 2019 г., Российская академия ракетных и артиллерийских наук; XXIV Всероссийской научно-практической конференции РАН «Актуальные проблемы защиты и безопасности» 31 марта – 03 апреля 2021 г., Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» 15 ноября 2021 г., III Международной научно-практической конференции «Молодёжь, наука, инновации: актуальные вопросы современности» 27 ноября 2021 г., Санкт-Петербургский государственный технологический институт; XI научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках мероприятий по проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году «Неделя науки-2021» 07-09 апреля 2021 г., XV Международной научно-практической конференции «Научные исследования молодых учёных» 17 ноября 2021 г., LXV Международной научно-практической конференции «World science: problems and innovations» 30 мая 2022 г., XXVII

Международной научно-практической конференции «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» 20 сентября 2022 г., VI Международной научно-практической конференции «Развитие современной науки и образования: актуальные вопросы, достижения и инновации» 20 января 2023 г.

Публикации

По теме исследования опубликовано 15 научных работ, 4 из которых опубликованы в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, получено свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 107 наименований. Работа содержит 118 страниц печатного текста, в том числе 5 таблиц и 64 рисунка.

Личный вклад автора

Автором предложены модели математической оценки пожароопасных аварийных режимов работы электросети автотранспортных средств. Проведены исследования элементов электросети автомобиля, а именно аварийные режимы, которые приводят к возникновению пожара. Разработана методика оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля. Методика реализована в виде программного комплекса и дает возможность оперативно принимать решения по проведению профилактических работ и осуществлять мониторинг их выполнения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы диссертации, сформулирована актуальность, научная цель, задачи, объект, методы исследования, научная новизна, практическая и теоретическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ информационных процессов оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля» проводится анализ тенденции возникновения пожаров на транспорте. Кроме того, идет тенденция к увеличению показателей пожаров в автомобильном транспорте из-за электротехнических причин, но также отслеживается положительная динамика в виде снижения показателя искусственное инициирование горения (поджог). На рисунке 1 показан анализ изменения количества пожаров на автомобилях, возникших от электротехнической и других причин за 2022 и 2023 годы. Показатель электротехнических причин возникновения пожара в автомобилях в 2023 году превосходит показатель искусственного инициирования горения (поджог), аварийных режимов работы электросети 1071 случай, а в 2022 году 1024 случая, что на 47 пожаров больше аналогичного периода прошлого года.

Сравнительное распределение пожаров на автомобилях по их причинам в 2023 году, по сравнению с 2022 годом показано на рисунке 2. Тенденции складываются следующим образом, наибольшее количество пожаров происходит из – за электротехнических причин возникновения пожара, а именно аварийные режимы работы электросети автомобиля по отдельности с выделением на элементы: аварийный режим работы в автосигнализации и других сервисных системах; аварийный режим работы в штатных электросетях (модификация электрической сети автомобиля, дополнительное оборудование); аварийные режимы работы в штатных электросетях суммарно их количество превышает искусственное инициирование горения (поджог), отсюда следует, что данный показатель увеличился по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, тем самым повышает актуальность данного исследования.

В результате анализа установлено, что по сравнению с аналогичным периодом прошлого года изменилось процентное соотношение распределения пожаров. Наибольшее число пожаров происходит в зимний период. В данном случае происходит эксплуатация автомобиля в максимально экстремальных условиях, тем самым вызывая наибольшее

напряжение и нагрузки на конструктивные элементы, узлы и агрегаты электрической сети автомобиля. Также следует отметить, что при низких температурах активно используются различного рода утеплители и предпусковые подогреватели, что увеличивает риск возникновения пожара.

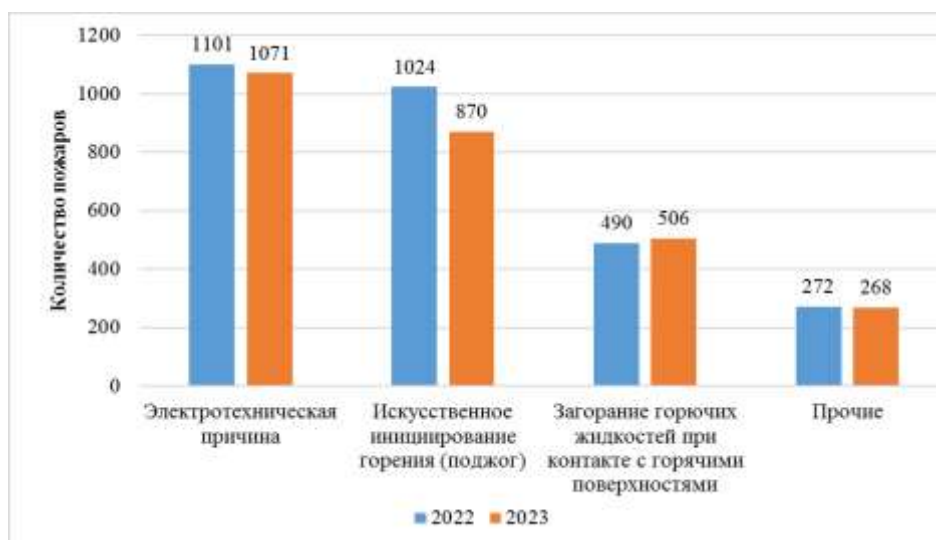


Рисунок 1 – Анализ изменения количества пожаров на автомобилях, возникших от электротехнической и других причин за 2022 и 2023 годы

Статистические показатели возникновения пожара на автомобильном транспорте, распределив их по регионам России, что показывает особенности изменения пожаров от внешних условий (таблица 1).

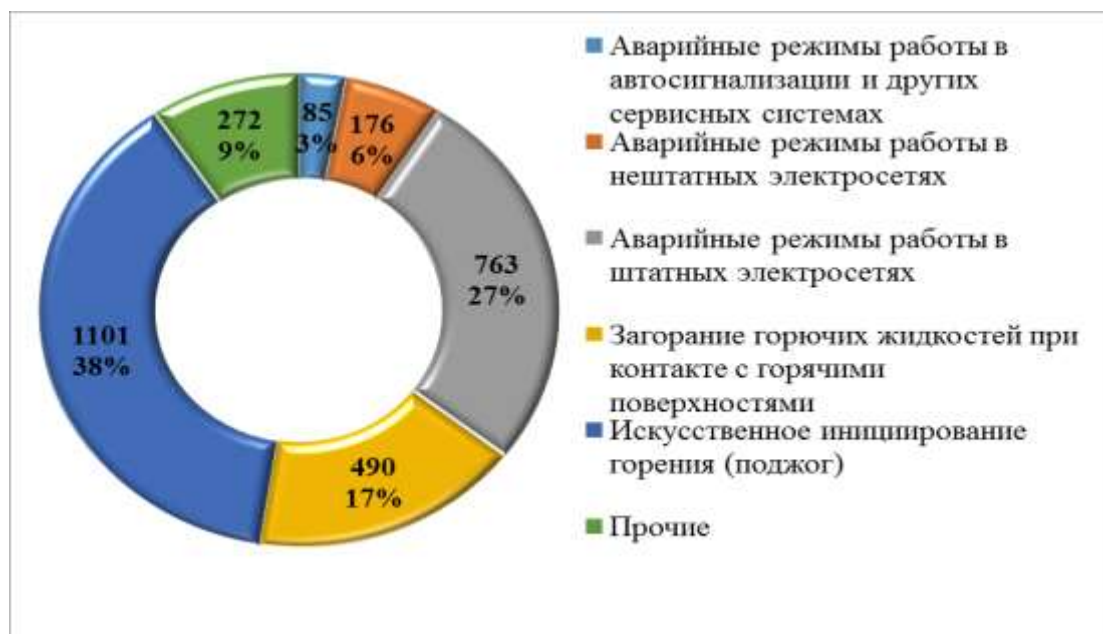


Рисунок 2 – Распределение пожаров на автомобилях по причинам возникновения

На диаграмме, показанной на рисунке 3, видно, что самый высокий показатель причин возникновения пожара в автомобильном транспорте в виде электротехнической причины пожара выше всех остальных показателей, позиции по регионам распределились следующим образом: более 50 % в Северо-Кавказском регионе, а наименьший показатель в Приволжском регионе 29 %. Искусственного инициирования горения (поджог) наибольший показатель был в Приволжском регионе более 41 %, а наименьший в Сибирском регионе всего 14 %.

В главе представлен статистический обзор причин возникновения пожаров на транспорте от аварийных режимов работы электросети. Следует отметить, что вероятность возникновения условий для пожара в отдельном элементе сети автомобиля составляет $2 \cdot 10^{-5}$ в год, что превышает нормативную величину, установленную по *ГОСТ 12.1.004-91* (10^{-6} в год). Именно это приводит к необходимости проведения мероприятий по профилактике и надзору за электрической сетью автомобиля.

Проанализированы параметры потребления электроэнергии (мощность и номинальный ток) основных потребителей энергии современного автомобиля, которые представлены в виде табличных данных. Проведена классификация возникновения аварийных режимов в контактах электросети современных автомобилей.

В работе проведено обоснование и выбор методов оценки надежности электрической сети автомобиля. Учитывая статистические данные и эмпирические исследования показано, что количество отказов в элементах электросети сети автотранспортного средства имеет три ярко выраженных этапа эксплуатации (рисунок 4)

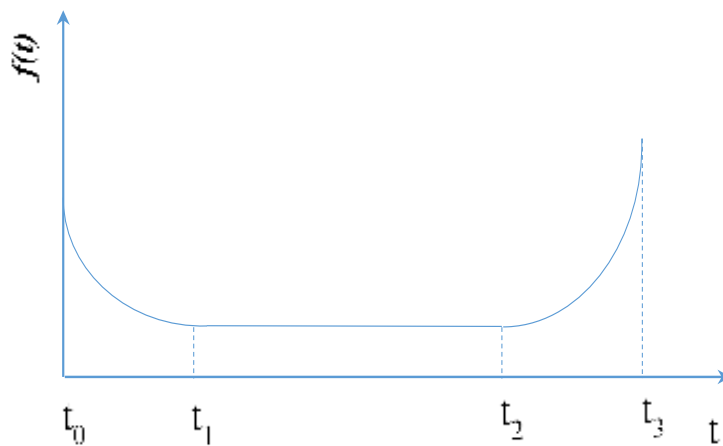


Рисунок 4 - Три интервала зависимости количества отказов в электросети автомобиля от времени

Проведенный в работе анализ информационных процессов оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля показал, что оценить вероятность возникновения пожара на автотранспорте можно с помощью анализа случаев возгорания отдельных электрических элементов в течении года. Учитывая, статистические данные и эмпирические исследования можно считать, что интенсивность отказов от времени представляет собой три ярко выраженных интервала:

первый этап ($t_0 - t_1$), начальный этап эксплуатации, представляет собой монотонно убывающую функцию, крутизна которой и протяженность во времени тем меньше, чем совершеннее конструкция, выше качество ее изготовления и более тщательно соблюдены режимы приработки. Этап начальной эксплуатации считают завершенным, когда интенсивность отказов элементов электропроводки автомобиля приближается к минимальной величине;

второй этап ($t_1 - t_2$), наиболее продолжительный — этап нормальной работы. За этот период времени могут возникать внезапные отказы, которые возникают при возникновении случайных аварийных режимов. Как правило, предотвратить эти режимы довольно сложно. На этом этапе эксплуатации в электропроводке автомобиля остаются только полноценные компоненты, срок износа и старения которых еще не наступил. Такие внезапные отказы все же подчиняются определенным закономерностям, например, частота их появления в течение

достаточно большого промежутка времени одинакова в однотипных классах автомобилей, при этом интенсивность отказов имеет почти постоянное значение;

третий этап ($t_2 - t_3$) характеризуется повышенной интенсивностью отказов из-за износа и старения электрооборудования автомобиля. Возникают необратимые физические и химические изменения, приводящие к разрушению или частичному утрачиванию своих свойств, необходимых для нормального функционирования элементов электросети автомобиля. Такие процессы носят, как правило, необратимый характер.

Применение методов, учитывающих тепловыделение в ситуации, когда все последовательные контактные переходы в изделии находятся в аварийном состоянии одновременно, вообще не реализуемо и может поддаваться оценке только на основе аналитического расчета или по результатам испытания изделия специальным источником тепловыделения, имитирующим такое аварийное состояние.

Современные тенденции развития надежности показывают, что для оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля актуальными являются ГОСТы: ГОСТ Р 51901.10-2009. *Менеджмент риска. Процедуры управления пожарным риском на предприятии*, ГОСТ Р МЭК 61165-2019 *Надежность в технике «Применение Марковских методов»*

Во второй главе «Модели оценки пожарной безопасности электросети автомобиля» проведена декомпозиция факторов, влияющих на пожарную безопасность автомобиля. В соответствии с рисунком 4 весь жизненный цикл автомобиля разбит на три этапа эксплуатации. Как правило, все производственные дефекты, нарушения технологии сборки, некачественные элементы и материалы, неисправности, вызванные транспортировкой автомобиля выявляются при предпродажной подготовке и в самом начале эксплуатации автотранспортного средства.

Поэтому при моделировании надежности электрической сети периодом приработки автотранспортного средства на начальном этапе эксплуатации пренебрегаем. Существенным фактором на этом этапе будет изменение заводских компонентов в электросети транспортного средства. К такому изменению относится добавление дополнительных электрических устройств. В легковом автомобиле это может быть установка электрической сигнализации, подушек безопасности, элементов дополнительного обогрева или систем охлаждения, переходников для подключения гаджетов (зарядки телефонов, видеорегистраторов, систем навигации, антирадаров, компьютеров и планшетов). Такое вмешательство в штатную электросеть автомобиля может привести к ее локальной перегрузке. Причем штатные предохранители, как правило, защищают электрическую сеть автомобиля от коротких замыканий и режим токовой перегрузки, не учитывают. Разработчики автомобилей не учитывают подключения дополнительного оборудования. Такой аварийный режим в электросети автомобиля может привести к возникновению пожара.

В работе приведены примеры возникновения пожара на автотранспорте после установки дополнительного оборудования.

Для проведения анализа с помощью метода Марковского моделирования необходимо определить вероятности перехода из одного состояния в другое. Метод Марковского моделирования основан на математической концепции случайных процессов, где состояние системы изменяется со временем и зависит только от настоящего состояния. В данном случае, состояние электрической сети автомобиля может быть определено как исправное или неисправное.

На основании результатов анализа основных аварийных процессов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара на начальном первом этапе эксплуатации, предложен граф состояний (рисунок 5). Величина μ_{ij} показывает интенсивность аварийных потоков в системе при переходе из одного состояния цепи Маркова в другое.

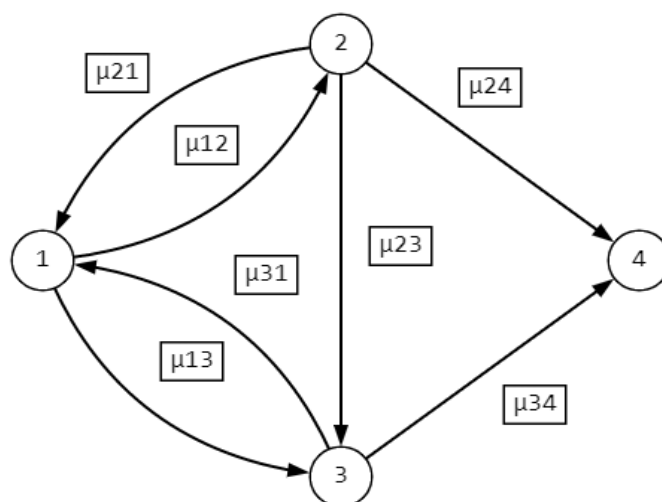


Рисунок 5 – Граф состояний Марковской цепи пожароопасных ситуации электросети автомобиля на первом этапе эксплуатации

Состояние 1 – соответствует рабочему состоянию автомобиля (P1);

Состояние 2 – электрической перегрузке (P2);

Состояние 3 – соответствует аварийному режиму короткое замыкание (P3);

Состояние 4 – возникновению пожара (P4).

Систему можно описать в следующем виде (1):

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= -P_1(t) \cdot (\mu_{12} + \mu_{13}) + P_2(t) \cdot \mu_{21} + P_3(t) \cdot \mu_{31}; \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= P_1(t) \cdot \mu_{12} - P_2(t) \cdot (\mu_{21} + \mu_{23} + \mu_{24}); \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= P_1(t) \cdot \mu_{13} + P_2(t) \cdot \mu_{23} - P_3(t) \cdot (\mu_{31} + \mu_{34}); \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= P_2(t) \cdot \mu_{24} + P_3(t) \cdot \mu_{34},
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где P_i – вероятность i -го состояния.

При создании математической модели электрической сети автомобиля на первом этапе эксплуатации рассматривали ее как непрерывную цепь Маркова, она была создана на основе графа и представляет собой систему дифференциальных уравнений четвертого порядка. Используя MATLAB, математический пакет Simulink, была получена математическая модель электрической сети автомобиля первом этапе, результат ее применения приведен на рисунке 6.

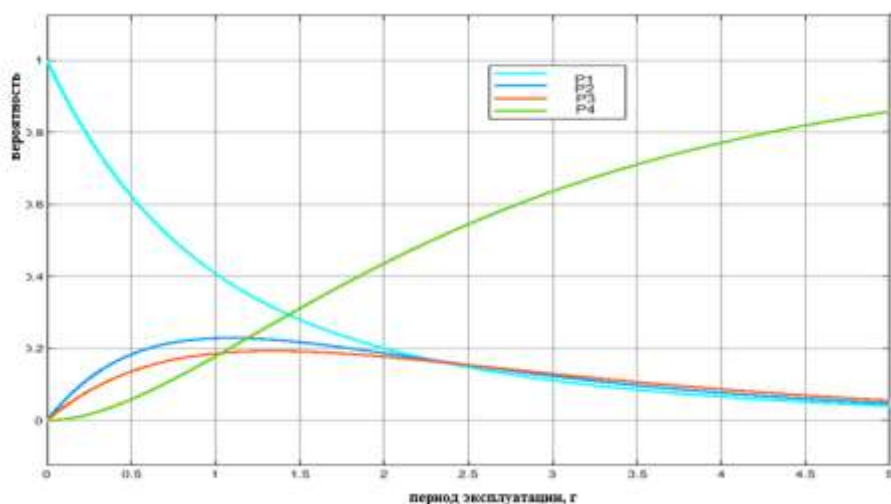


Рисунок 6 – Пример моделирования электросети автомобиля на начальном этапе эксплуатации

Параметры Марковской модели могут быть определены путем статистического анализа, экспериментально или с помощью каких-либо методов оценки переходных вероятностей. Для этого могут применяться экспертные методы или расчеты с помощью традиционных моделей.

Второй этап эксплуатации автомобиля называется также этапом нормальной работы. Проведенное исследование показывает, что происходят внезапными отказами. Они возникают неожиданно из-за воздействия ряда случайных факторов, и предупредить их приближение практически не представляется возможным. При этом следует учитывать, что к этому времени в электропроводке автомобиля остаются только полноценные компоненты, срок износа и старения которых еще не наступили. Такие внезапные отказы все же подчиняются определенным закономерностям. В частности, частота их появления в течение достаточно большого промежутка времени одинакова в однотипных классах автомобилей, при этом интенсивность отказов минимальна и имеет почти постоянное значение $\lambda_{\min} \approx \text{const}$. К внезапным отказам электросети автомобиля относят, например, короткие замыкания проводников, большие переходные сопротивления, механические разрушения элементов коммутации и т. п. Величина интенсивности отказов $\lambda_{\min}$ тем меньше, а интервал этапа нормальной работы тем больше, чем совершеннее и выше качество изготовления автомобиля и правильное соблюдение режимов эксплуатации и применение мер профилактики.

Автомобили в России, как правило, работают в сложных условиях, объясняемых плохими дорогами, сложными погодными условиями, агрессивными химическими составами, используемыми для обработки дорожного полотна. Все эти эксплуатационные факторы влияют на надежность и работоспособность электрических контактов. Аварийный режим контакта определяется как момент времени, когда он не может выполнять свои функции, то есть передавать электрический ток с минимальными потерями. Это сопровождается резким повышением температуры контакта и может привести к возгоранию изоляции (возникновению пожара). Наряду с коррозией и окислением контактов, на аварийные процессы в электросети влияет фреттинг. Процесс фреттинга характеризуется быстрым поверхностным разрушением в контакте при воздействии на него малых колебательных движений. Данный процесс имеет двойственную механическую и физико-химическую природу. Как показывает опыт, фреттинг может возникать даже при малых амплитудах относительных перемещений.

В главе проведено исследование пожароопасных аварийных режимов работы электросети вызванных нарушением контактов. Учитывая, что электрические контакты являются основными составляющими всей электропроводки автомобиля, то от их нормальной работы будет зависеть и состояние пожарной безопасности автотранспортного средства. Возникновение большого сопротивления в месте соединения контактов приводит к лавинообразному процессу, вызывающему локальный нагрев в месте соединения, карбонизации изоляции и как следствие возникновение пожарной опасности.

Количество тепла, выделяемого в переходном контакте, зависит от вида контактного соединения, времени его эксплуатации, надежности и прочности соединения. Интенсивное выделение теплоты в контактном соединении ведет к нагреву изоляции и деталей из пластмассы, а при достижении ими температуры самовоспламенения - к их воспламенению.

Отдельно следует выделить коммутационные контакты. К коммутационным устройствам можно отнести и защитные устройства. В современном автомобиле используется большое количество разнообразных контактных соединений (рисунок 7).

Основной неисправностью контактных устройств является залипание контактов. В момент коммутации между анодным и катодным контактами возникает электрическая дуга.



Рисунок 7 - Фрагменты коммутационных элементов автомобиля

Аварийный режим работы коммутационных устройства по степени воздействия схож с большим переходным сопротивлением. В электрической цепи не происходит увеличения силы тока, как это происходит при коротком замыкании и перегрузке. Поэтому защиты от таких аварийных режимов не существует.

В данном исследовании предложен метод оценки уровня пожарной опасности автотранспортного средства посредством анализа состояния его электросети. Метод предусматривает проведение измерений падения напряжения на местах контактных соединений и дальнейший анализ этих значений. Вывод об уровне пожарной опасности автомобиля, можно сделать, проанализировав комплекс условий, дополнительно влияющих на него. К ним относят срок эксплуатации автотранспортного средства, условия эксплуатации, результаты проведенной диагностики.

Измерение падения напряжения на местах контактных соединений осуществлялось путем включения мультиметра в электрическую цепь для определения параметров тока на участке цепи с коммутационным устройством. В ходе измерений определяли значение электрического сопротивления и силы тока в цепи. Далее рассчитывали величину падения напряжения.

Данное исследование позволяет отследить степень износа коммутационных соединений и спрогнозировать величину риска возникновения пожара на автотранспортном средстве.

Деграция коммутационных устройств легкового автомобиля была исследована на примере подключения обогрева сидений (соединение 1), освещения (соединение 2) и катушек зажигания (соединение 3).

В ходе исследования производился замер падения напряжения на контактах размыкающих устройств, при помощи мультиметра цифрового (автомобильного) DT830L в течение 360 суток эксплуатации автомобиля. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Значения падения напряжения на контактах размыкающих устройств (мВ)

№ соединения	Время, сут							
	Начальное	30	60	90	120	180	360	Общий прирост
1	4,2	4,7	4,8	5,2	5,4	7,6	14,2	1,2
2	1,5	1,5	1,5	1,6	1,6	1,8	2,1	0,1
3	2,0	2,1	2,1	2,1	2,2	2,6	3,2	0,2

Во второй главе приводятся примеры пожароопасных аварийных режимов в электрической цепи автомобиля. Проведенные исследования показывают, что на этапе нормальной работы транспортного средства к основным аварийным режимам, способным привести к пожару наряду с коротким замыканием являются БПС и аварийный режим работы коммутационной аппаратуры. Данные показатели следует отразить в виде математической модели.

Граф состояний для Марковской модели на этапе нормальной работы автомобиля показан на рисунке 8.

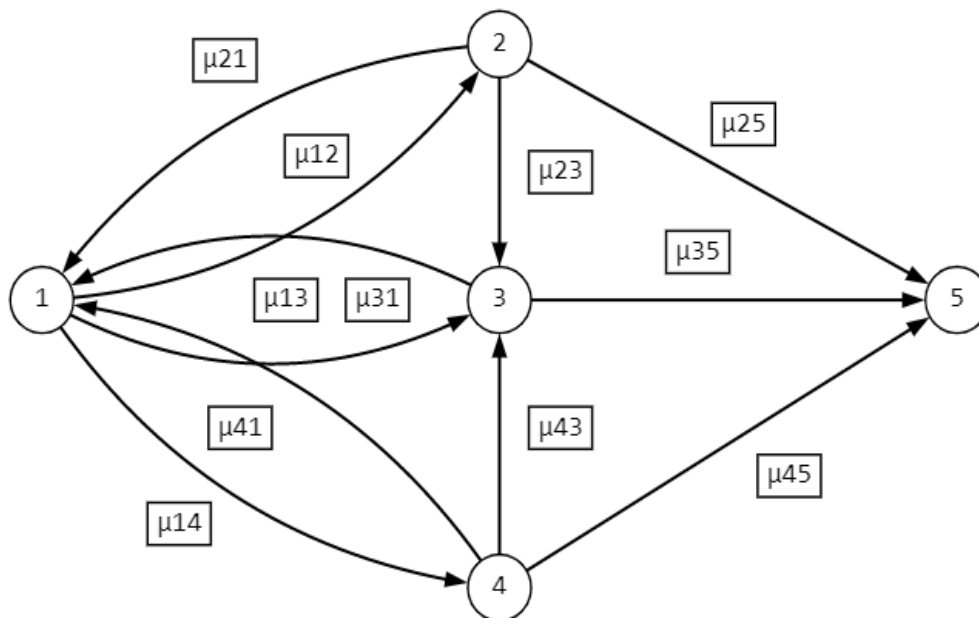


Рисунок 8 – Граф состояний Марковской цепи пожароопасных ситуации электросети автомобиля на этапе нормальной работы

Состояние 1 – соответствует нормальному режиму работы автомобиля (P1);

Состояние 2 – Большому переходному сопротивлению (P2);

Состояние 3 – Возникновению короткого замыкания в электрической цепи автомобиля (P3);

Состояние 4 – Аварийному режиму в коммутационной аппаратуре (P4);

Состояние 5 – Возникновение пожара (P5).

Систему можно описать в следующем виде:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t) \cdot (\mu_{12} + \mu_{13}) + P_2(t) \cdot \mu_{21} + P_3(t) \cdot \mu_{31} + P_4(t) \cdot \mu_{41};$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{12} - P_2(t) \cdot (\mu_{21} + \mu_{23} + \mu_{25});$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{13} + P_2(t) \cdot \mu_{23} - P_3(t) \cdot (\mu_{31} + \mu_{35});$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{14} - P_4(t) \cdot (\mu_{41} + \mu_{43} + \mu_{45});$$

$$\frac{dP_5(t)}{dt} = P_2(t) \cdot \mu_{25} + P_3(t) \cdot \mu_{35} + P_4(t) \cdot \mu_{45},$$

где P_i – вероятность i -го состояния.

На рисунке 9 показан пример модели электросети автомобиля на этапе нормальной работы (2 этап эксплуатации). В данном примере смоделирована поведение электрической сети автомобиля без применения профилактических мер по ликвидации пожарной безопасности на этапе нормальной работы.

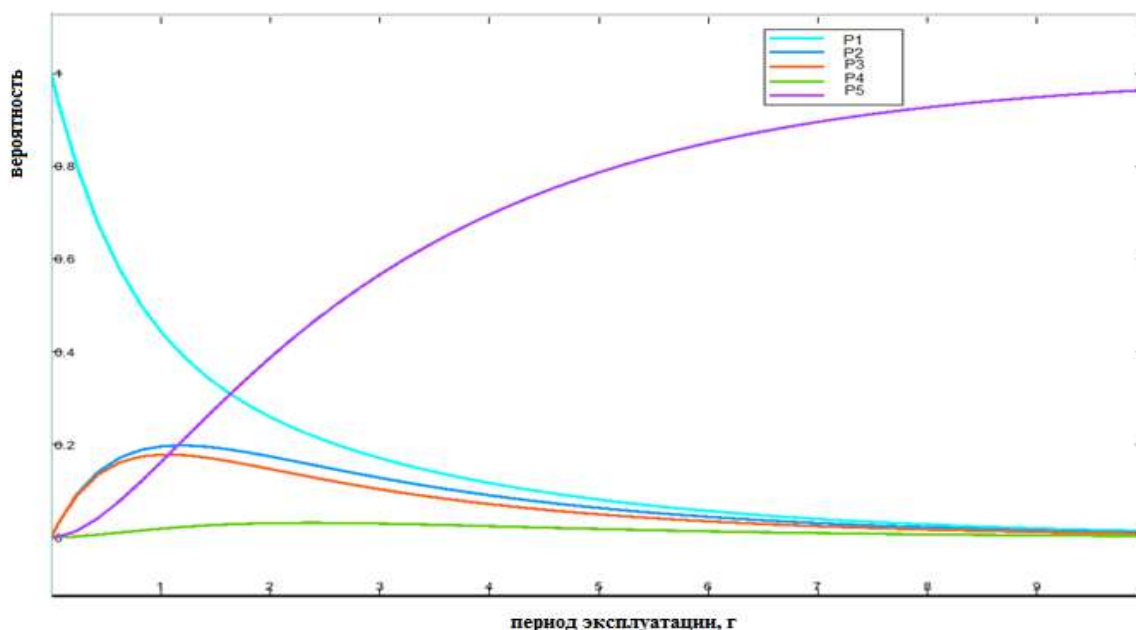


Рисунок 9 – Пример моделирования электросети автомобиля на этапе нормальной работы

В данном примере считаем, что второй этап эксплуатации автомобиля длится десять лет. При $t \rightarrow \infty$ функция $P_i(t)$ будет стремиться к предельным (финальным) вероятностям состояний системы.

Далее в главе проанализированы факторы, влияющих на надежность электрической сети автомобиля на этапе старения электрооборудования автомобиля.

Особое внимание в проводке автомобиля стоит уделять изоляции электропроводов, так как при длительной эксплуатации проходит процесс ее старения. Для мониторинга динамики изменения свойств материала было проведено исследование изоляции из трёх автомобилей марки Шевроле Ланос разных годов выпуска, а именно автомобили, которые эксплуатировались более 10 лет, а также 5 - летний срок эксплуатации и автомобиль, в котором была осуществлена замена электропроводки на новую, в оригинальном варианте. Для исследования применялись 3 одинаковых участка для всех автомобилей, а именно соединения, где находится система зажигания, подогрев сидений и проводка для подключения фар, и блока.

Для оценки изменения свойств, исследуемых образцов изоляции, были выбраны два метода, а именно инфракрасная спектроскопия и синхронный термический анализ. Первый из выбранных методов позволяет оценить изменения химического состава материала, второй – проследить изменение свойств, связанных с поведением материала в ходе длительной эксплуатации или при нагреве.

Исследование методом инфракрасной спектроскопии проводилось на спектрометре Инфралюм ФТ-08 с помощью приставки многократно нарушенного внутреннего отражения (МНПВО) на кристалле ZnSe. По полученным спектрам, все образцы изоляции, рассмотренные в работе, относятся к поливинилхлоридным пластикам. На спектрах фиксируются и кислородсодержащие группировки: полосы в диапазонах $1069-1150\text{ см}^{-1}$, $1240-1270\text{ см}^{-1}$, а также 1720 см^{-1} , которая относится к карбоксильным группировкам сложных эфиров. Как известно в качестве пластификаторов-антипиренов в состав изоляции вводятся эфиры ортофосфорной кислоты, об присутствии таких соединений говорит наличие полосы поглощения $1010-1020\text{ см}^{-1}$. При старении поливинилхлорида именно эти группировки будут претерпевать основные изменения, что связано со старением пластификаторов. Значительная интенсивность поглощения в области полос, связанных с группировками пластификатора, объясняется тем, что его количество составляет в подобных

изделиях значительную часть, до 40%, что обеспечивает их эластичность. Со временем наблюдается снижение интенсивности характеристических полос молекулярных группировок пластификаторов, что свидетельствует о постепенном снижении его количества в составе материала (рисунок 10), данные изменения могут сказаться на таких свойствах изоляции, как ее хрупкость.

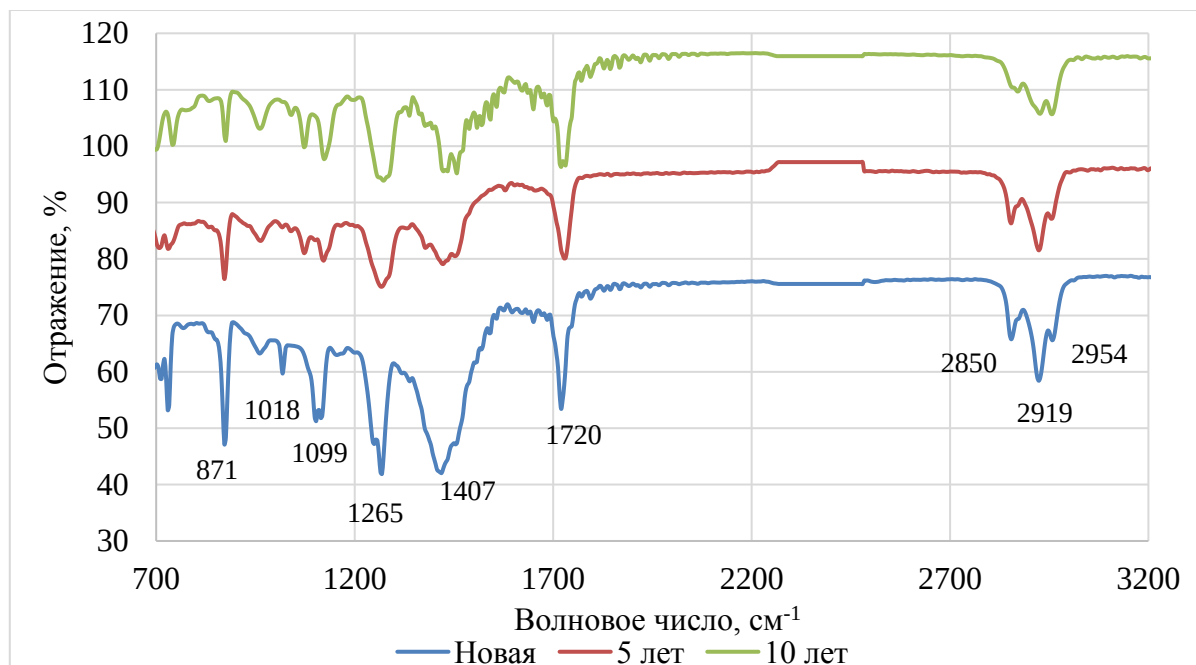


Рисунок 10 – Пример ИК-спектров изоляции кабеля системы зажигания автомобиля разного срока эксплуатации

По мере увеличения срока эксплуатации автомобиля в составе изоляции наблюдается снижение интенсивности полос, связанных с присутствием фосфорсодержащих соединений, а также кислородсодержащих соединений в том числе карбонильных, что свидетельствует о снижении содержания пластификаторов-антипиренов. При старении изоляции разрыв цепочек высокомолекулярных соединений приводит к росту относительного количества концевых алифатических группировок, что и фиксируется на полученных спектрах. Практически во всех случаях происходит увеличение относительной интенсивности характеристической полосы поглощения при 2960 см^{-1} при увеличении срока эксплуатации автомобиля.

Следующим этапом исследования стало изучение образцов изоляции проводников, применяемых в автомобиле, методом синхронного термического анализа. Исследование проводили на приборе Netzsch STA 449 F3 Jupiter. На рисунке представлены термограммы одного из образцов изоляции систем зажигания автомобиля разного срока эксплуатации.

Увеличение срока эксплуатации в первую очередь сказывается на характеристиках первого этапа разложения материала, наблюдается снижение скорости разложения, также наблюдается смещение температуры разложения материала на втором этапе в сторону больших значений (рисунок 12).

Проведенные исследования изоляции электропроводки автомобиля, показали, что по мере увеличения срока службы наблюдаются изменения в составе материала изоляции, связанные в первую очередь с утратой пластификатора, что в свою очередь приводит к потере эластичности изоляции и большей хрупкости, которая может быть причиной разрушения целостности изолирующего слоя на проводнике, увеличивая тем самым вероятность возникновения в электропроводке аварийных режимов.

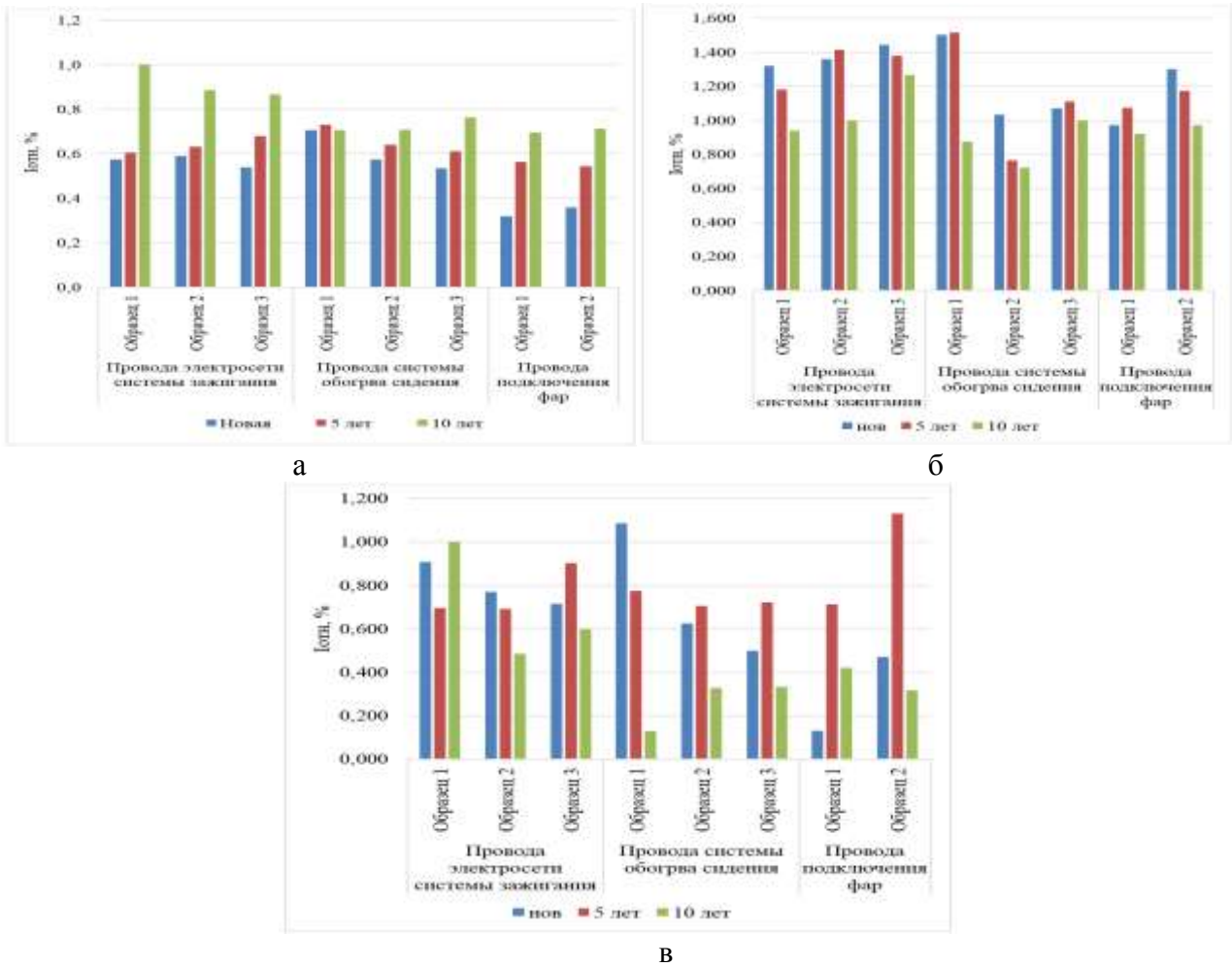


Рисунок 11 – Значение относительной интенсивности характеристических полос поглощения для изоляции, отобранной из автомобилей разного срока эксплуатации для 8 образцов изоляции: а) 2960 cm^{-1} , б) 1720 cm^{-1} , в) 1020 cm^{-1}

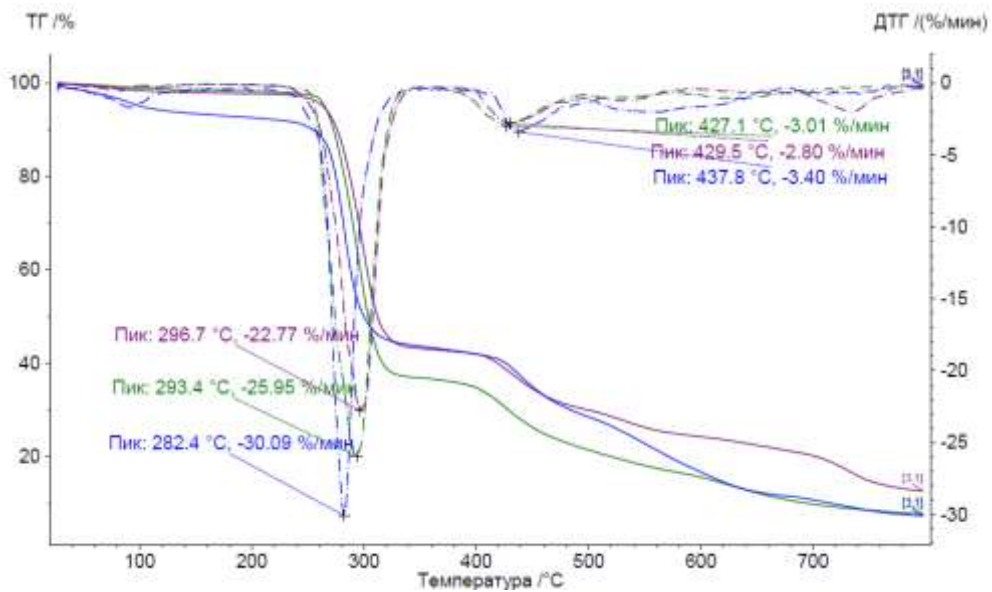


Рисунок 12 – Кривые ТГ и ДТГ образцов изоляции системы зажигания автомобилей разного срока эксплуатации (синий – новый автомобиль, бордовый – 5 лет эксплуатации, зеленый – 10 лет)

На основании результатов анализа основных аварийных процессов в электросети автомобиля, приводящих к возникновению пожара, на этапе старения электрооборудования, предложен граф состояний (рисунок 13).

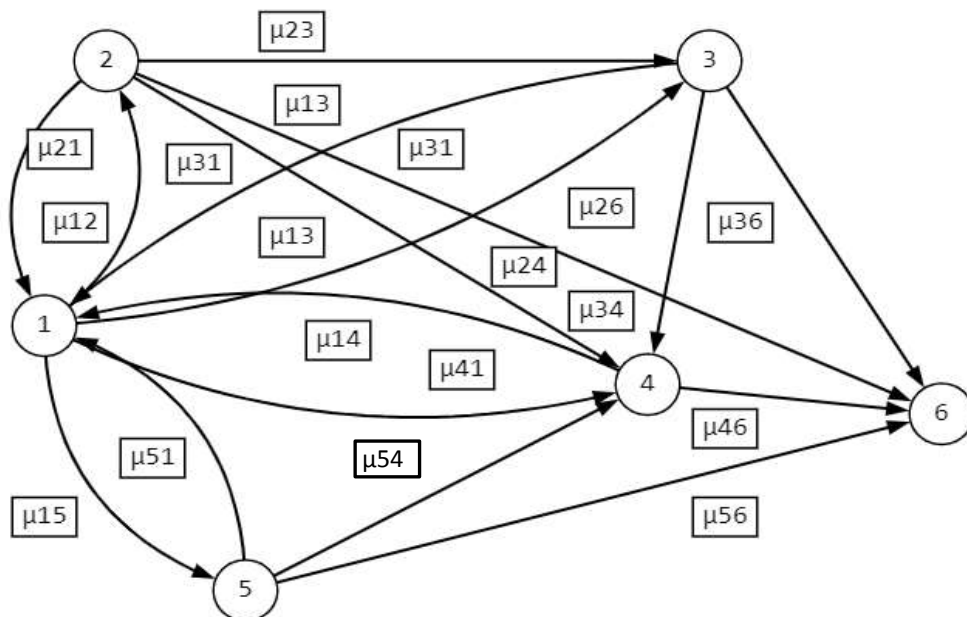


Рисунок 13 – Граф состояний Марковской цепи пожароопасных ситуации электросети автомобиля на этапе старения изоляции автомобиля

Состояние 1 - Соответствует нормальному режиму работы автомобиля (вероятность состояния P_1);

Состояние 2 - Большому переходному сопротивлению (P_2);

Состояние 3 - Аварийному режиму в коммутационной аппаратуре (P_3);

Состояние 4 - Возникновению короткого замыкания в электрической цепи автомобиля (P_4);

Состояние 5 - Аварийный режим, связанный со старением изоляции (P_5);

Состояние 6 - Возникновение пожара (P_6).

Систему можно описать в следующем виде:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -P_1(t) \cdot (\mu_{12} + \mu_{13}) + P_2(t) \cdot \mu_{21} + P_3(t) \cdot \mu_{31} + P_4(t) \cdot \mu_{41} + P_5(t) \cdot \mu_{51};$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{12} - P_2(t) \cdot (\mu_{21} + \mu_{23} + \mu_{24} + \mu_{26});$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{13} + P_2(t) \cdot \mu_{23} - P_3(t) \cdot (\mu_{31} + \mu_{35});$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{14} + P_2(t) \cdot \mu_{24} + P_3(t) \cdot \mu_{34} - P_4(t) \cdot (\mu_{41} + \mu_{46}) + P_5(t) \cdot \mu_{54};$$

$$\frac{dP_5(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \mu_{15} - P_4(t) \cdot (\mu_{51} + \mu_{54} + \mu_{56});$$

$$\frac{dP_6(t)}{dt} = P_2(t) \cdot \mu_{26} + P_3(t) \cdot \mu_{36} + P_4(t) \cdot \mu_{46} + P_5(t) \cdot \mu_{56},$$

где P_i – вероятность i -го состояния.

Модель создана на основе графа и представляет собой систему дифференциальных уравнений шестого порядка. С помощью полученной модели можно задавать различные начальные условия, менять коэффициенты уравнений и время моделирования. На рисунке 14 показан пример моделирования электросети автомобиля на этапе старения электрооборудования автомобиля (3 этап эксплуатации).

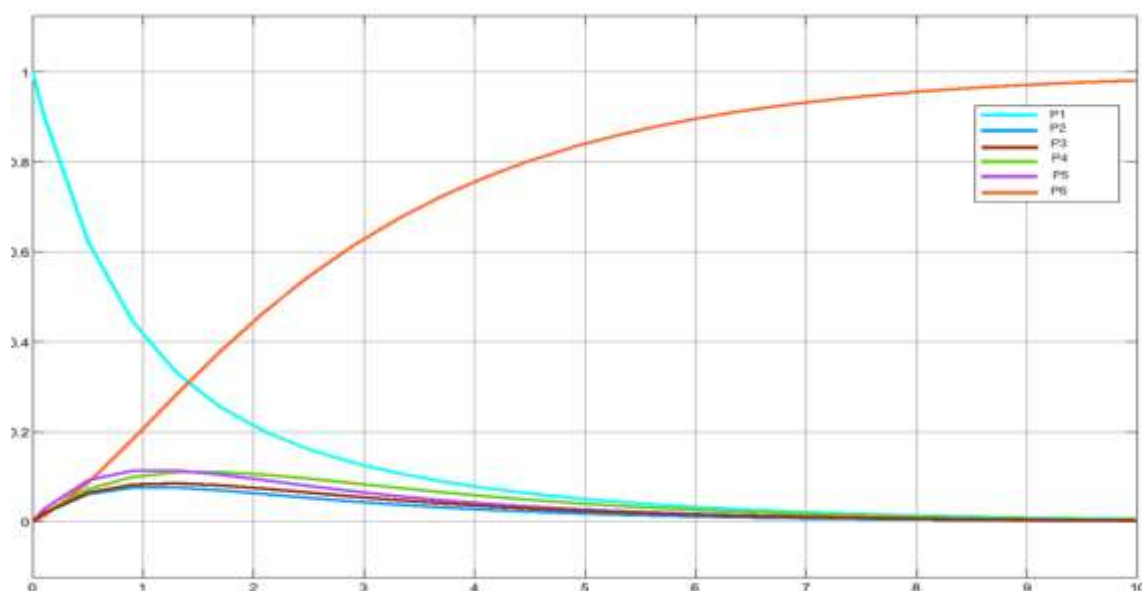


Рисунок 14 – Пример моделирования электросети автомобиля на этапе старения электрооборудования автомобиля

В любой момент времени сумма вероятностей $P1+P2+P3+P4+P5+P6 = 1$. В начальный момент времени электросеть автомобиля находится в исправном состоянии $P1=1$. Уже к 4 году вероятности приходят к стационарному значению. Вероятность нахождения электросети автомобиля в рабочем состоянии (салатовая кривая) равна 0,2, возникновение пожара (красная) равна 0,6, остальные состояния не превышают 0,75.

В третьей главе «Методика оценки пожарной безопасности электросети автомобиля на протяжении его этапов эксплуатации» рассмотрены особенности мониторинга пожарной безопасности автотранспортного средства. В работе использовались методы исследования, основанные на системном анализе профилактики пожароопасных электротехнических процессов, происходящих в электрической сети, на объектах транспортной инфраструктуры на различных этапах их эксплуатации.

В процессе эксплуатации автотранспортное средство может находиться в рабочем или в аварийном режиме. На рисунке 15 показаны параметры, влияющие на жизненный цикл и состояние автотранспортного средства на каждом этапе эксплуатации. При проведении своевременных профилактических работ возникновение аварийных и ремонтных состояний автомобиля можно сократить.

В качестве математического аппарата используются Марковские цепи с дискретным временем. Это позволяет моделировать изменений состояния электрической сети автомобиля за определенный период времени. Такие модели лучше всего подходят для конкретных аспектов исследования, в частности, традиционные методы определения структуры матрицы переходов по собственным значениям сочетаются с визуализациями для отслеживания эволюции цепочки по связанному с ней орграфу.

Ключевой особенностью цепи Маркова является ее предельное поведение. Эта функция особенно важна в эконометрических приложениях, где эффективность прогнозирования модели зависит от того, имеет ли ее стохастическая составляющая четко определенное распределение асимптотически. Такой подход позволяет исследовать переходное и стационарное поведение цепи и свойства, которые создают уникальный предел. Другие функции вычисляют предельное распределение и оценивают скорости сходимости или время смешивания.

Анализ математических модели электрической сети автомобиля проводился с помощью программы MATLAB R2022. На рисунке 16 показаны ориентированные графы для трех этапов эксплуатации автотранспортного средства.



Рисунок 15 – Параметры, влияющие на состояние автотранспортного средства на каждом этапе эксплуатации (параметры, вносимые в программный комплекс)

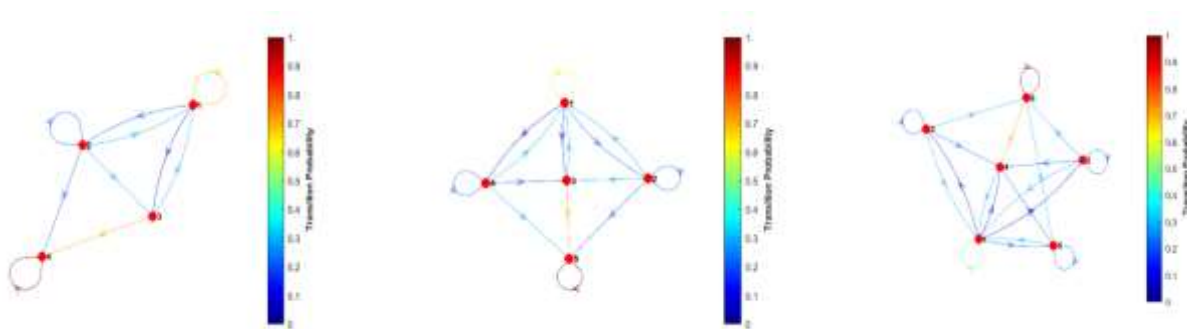


Рисунок 16 - Ориентированный граф математической модели электрической сети автомобиля на трех этапах их эксплуатации

Ориентированный граф, или орграф, демонстрирует состояния в цепочке в виде узлов и показывает возможные переходы между состояниями в виде направленных ребер. Осуществимый переход - это переход, вероятность наступления которого больше нуля. Цвет ребер орграфа показывает вероятность перехода. По ним можно определить повторяющиеся и переходные состояния. Состояния с низким средним значением являются временными и в конечном итоге переходят в повторяющиеся состояния с высоким средним значением.

Одним из способов визуализации цепи Маркова является построение тепловой карты матрицы переходов. В тепловой карте индивидуальные значения данных в таблице отображаются при помощи цвета. При этом тепловые карты используются для перекрестного анализа многомерных данных путем размещения переменных в строках и столбцах и раскрашивания ячеек в таблице. В главе приведены тепловые карты матриц перехода модели электрической сети автомобиля для трех этапов эксплуатации за 20 шагов.

На рисунке 17 показан алгоритм оценки пожарной безопасности электросети автомобиля. На первом этапе в программном комплексе используется специальный алгоритм

по созданию базы данных по состоянию элементов электрической сети эксплуатируемых автомобилей.



Рисунок 17 – Алгоритм оценки пожарной безопасности электросети автотранспортного средства.

На данном рисунке показан процесс формирования базы данных автомобилей, где диагностируется текущее состояние автомобиля, полученные результаты диагностики показывают, что состояние электропроводки по параметрам в норме или требуется ремонт электрической сети, если выявлена неисправность, то фиксируется неисправность и на каком участке электросети. По обобщенным данным и в зависимости от срока службы и данным о фиксируемых неисправностях делается вывод об этапе эксплуатации автомобиля, позволяющий выбрать рекомендации по обеспечению его пожарной безопасности. Срок службы включает два периода: первый – соответствует 1 этапу эксплуатации и принимается как гарантийный период 5 лет, второй период соответствует времени эксплуатации более 5 лет и в зависимости от полученных результатов диагностики и частоты выявления

неисправностей позволяет определить соответствующий этап эксплуатации автомобиля и в соответствии с этим оценить его пожарную опасность.

В зависимости от этапа эксплуатации автомобиля подбирается наиболее эффективный инструментарий, позволяющий на основе проведенных исследований сделать вывод о потенциальной пожарной опасности электросети.

На первом этапе эксплуатации набор применимых методов может быть дополнен методом импульсной рефлектометрии. Генератор импульсов рефлектометра посылает импульсы в электрическую сеть автомобиля, которые отражаются от аварийных участков, а приемник оценивает вид неисправности. В данном исследовании использовалась методика, основанная на применении прибора РЕЙС-105М1, в котором реализован локационный метод, которая позволяет определить с достаточной точностью расстояние до неисправности и определить ее вид: обрыв, короткое замыкание, БПС, пробой изоляции и т. п. Если неисправности не обнаружены, показания фиксируются в базе данных и в дальнейшем будут использоваться как эталонные. При обнаружении заводских неисправностей или при исследовании эклектической сети автомобиля в профилактических целях и выявлении значительных отклонений от эталонных значений, автотранспортное средство направляется для проведения ремонтных работ. После ликвидации неисправностей обследование электропроводки повторяется.

Далее автотранспортное средство оценивается по отнесению его к второму или третьему этапу эксплуатации. При отнесении его ко второму этапу для оценки пожарной безопасности электросети предлагается дополнительно проводить исследование коммутационных соединений на предмет плотности контактов, например, с помощью выявления изменения значений падения напряжения на контактах. На третьем этапе эксплуатации требуется исследование старения изоляции. Перспективными методами являются ИК-спектроскопия и синхронный термический анализ.

Для оценки вероятной причине возникновения пожароопасного режима в автотранспортном средстве используется математическая модель, основанная на применении Марковских цепей. Разработанный программный комплекс создает компьютерную базу данных автомобилей для небольших автомобильных предприятий. Дальнейшие плановые проверки оценивают изменение (нарастание) аварийных режимов, проводя сравнения с ранее полученными данными.

Распределение автомобилей, входящих в электронную базу данных, на три группы позволяет планировать частоту профилактических работ по недопущению аварийных пожароопасных режимов, тем самым повышая их пожарную безопасность.

Использование программного комплекса позволяет оптимально организовать планирование и реализацию профилактических мероприятий, что, в конечном итоге, повысит пожарную безопасность транспортных средств автотранспортных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе была решена актуальная научная задача создания моделей оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля на трех этапах эксплуатации автомобиля, которые в составе методики позволяют проводить своевременное профилактическое обслуживание с целью недопущения аварийных пожароопасных ситуаций на транспортных средствах автотранспортных предприятий.

Проанализирована статистика пожаров на автомобильном транспорте и приведено обоснование выбора методик оценки состояния электросети автомобиля.

Разработанные модели математической оценки пожароопасных аварийных режимов работы электросети автотранспортных средств, отличающийся от существующей возможности прогнозировать возникновение наиболее вероятных аварийных режимов в электрических элементах автомобиля на различных этапах его эксплуатации. Исследованы элементы электросети автомобиля, аварийные режимы в которых могут приводить к

возникновению пожара. Предложены инструментальные методы, позволяющие своевременно отслеживать состояние электросети, на основании которых можно проводить оценку вероятности возникновения аварийных пожароопасных ситуаций. Показана эффективность таких методов как рефлектометрия, измерение падения напряжения и исследование химического состава изоляции проводников с помощью инфракрасной спектроскопии и синхронного термического анализа.

Создана методика оценки пожарной безопасности электрической сети автомобиля. Использование данной методики реализована в виде программного комплекса и дает возможность оперативно принимать решения по проведению профилактических работ и осуществлять мониторинг их выполнение. Использование программного комплекса позволяет оптимально организовать планирование и реализацию профилактических мероприятий, что, в конечном итоге, повысит пожарную безопасность транспортных средств автотранспортных предприятиях.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации:

1. Топилкин, П.С. Информационная оценка оптимального управления профилактикой и предотвращением пожароопасных режимов в электросети автомобиля / П.С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 2 (62). – С. 61-68. 0,50/0,25 п.л.

2. Топилкин, П.С. Анализ возникновения и профилактика пожароопасных режимов в электросети автомобиля / П.С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2023. – № 3 (67). – С. 149-157. 0,56/0,30 п.л.

3. Топилкин, П.С. Исследование пожарной опасности электрической системы автотранспортного средства/ П.С. Топилкин // Проблемы управления рисками в техносфере – 2024. – № 1 (69). – С. 174-181. 0,50/0,50 п.л.

4. Топилкин, П.С. Управление профилактическими работами по предотвращению пожаров автомобилей на автотранспортном предприятии / П. С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин, И.О. Литовченко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс – 2024. – Т. 13. № 1 (65). – С. 35-41. 0,44/0,20 п.л.

5. Топилкин, П.С., Оценка пожарной безопасности электрической сети автомобиля. / П. С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024610270, 09.01.2024. Заявка от 19.12.2023. – 3,2/2,6 Мб.

Статьи в научных изданиях:

6. Топилкин, П.С. Оценка пожарной безопасности электрической сети автомобиля / П.С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 239-241. 0,19/0,12 п.л.

7. Топилкин, П.С. Использование пассивной защиты электрической сети автомобиля при возникновении больших переходных сопротивлений / П.С. Топилкин, Д.В. Косенко, Ю.Д. Моторыгин // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения: материалы III международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 127-130. 0,25/ 0,12 п.л.

8. Топилкин, П.С. Анализ источников зажигания, связанных с электрической сетью автомобиля при проведении пожарно-технических экспертиз / П.С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин // Актуальные вопросы судебных инженерно-технических экспертиз: материалы всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 81-85. 0,31/0,16 п.л.

9. Топилкин, П.С. Информационный анализ пожароопасных режимов электросети в транспортных средствах / П.С. Топилкин, Ю.Д. Моторыгин // Актуальные проблемы защиты и безопасности: материалы XXIV Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. Москва, – 2021. – С. 95-97. 0,19/0,10 п.л.

10. Топилкин, П.С. Обработка экспертной информации, получаемой методом ультразвуковой дефектоскопии бетона при установлении очага пожара / О.М. Асланов, А.А. Черенов, П.С. Топилкин // Молодёжь, наука, инновации: актуальные вопросы современности: материалы III Международной научно-практической конференции. Пенза, – 2021. – С. 35-37. 0,19/0,10 п.л.

11. Топилкин, П.С. Способ оценки температуры нагрева стальных конструкций по результатам исследования толщины и состава окалины / И.Ф. Якупов, С.А. Галкин, П.С. Топилкин // Научные исследования молодых учёных: материалы XV Международной научно-практической конференции. Пенза, – 2021. – С. 13-15. 0,19/0,10 п.л.

12. Топилкин, П.С. Исследование оксидов, образующихся на поверхности стальных конструкций в экспертизе пожаров / И.Ф. Якупов, С.А. Галкин // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы I Международной научно-практической конференции. Пенза, – 2021. – С. 57-60. 0,25/0,20 п.л.

13. Топилкин, П.С. Особенности использования метода визуального осмотра при исследовании автомобиля после пожара / П.С. Топилкин, В.С. Порядкина, М.Г. Ризванов, Л.С. Шляпкина // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы XXVII Международной научно-практической конференции. Пенза, – 2022. – С. 21-24. 0,25/0,10 п.л.

14. Топилкин, П.С. Анализ пожарной опасности электрического транспорта / П.С. Топилкин, С.И. Борисов, А.И. Бондаренко., А.К. Крджонян // World science: problems and innovations: материалы LXV Международной научно-практической конференции. Пенза, – 2022. – С. 37-40. 0,25/0,10 п.л.

15. Топилкин, П.С. Анализ причин пожаров автотранспорта для обеспечения его пожарной безопасности / П.С. Топилкин // Развитие современной науки и образования: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы VI Международной научно-практической конференции. Пенза, – 2023. – С. 69-74. 0,38/0,38 п.л.

Подписано в печать
Печать цифровая

10.12.2024
Объем 1 п.л.

Формат 60×84 1/16
Тираж 100 экз.

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149

