

На правах рукописи



Калашников Дмитрий Владимирович

**РАЗРАБОТКА НАУЧНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ
ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА**

2.10.1. Пожарная безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Иваново – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Научный руководитель: **Семенов Алексей Олегович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Моторыгин Юрий Дмитриевич**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Горбунов Александр Сергеевич
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерно-технических экспертиз и криминалистики ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита состоится 17 декабря 2026 года в 14:30 на заседании диссертационного совета 04.2.005.02 на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России по адресу: 153040, г. Иваново, пр. Строителей, д. 33, ауд. 1101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России: <https://www.edufire37.ru/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года

Ученый секретарь
диссертационного совета 04.2.005.02,
кандидат технических наук, доцент

Колбашов Михаил Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В России одной из актуальных проблем является возникновение природных пожаров, последствиями которых являются уничтожение или повреждение лесных насаждений, за что в соответствии с законодательством Российской Федерации предусмотрена уголовная ответственность. В соответствии с Указом Президента России от 15 июня 2022 г. № 382 в 2022–2030 годах по стране должно быть обеспечено сокращение площади лесных пожаров. Соответственно, определяется значимость качества процесса расследования природных пожаров, которое направлено, в том числе, на предупреждение возникновения лесных пожаров.

Таким образом, актуальность темы исследования определяется высокой социальной и экономической значимостью проблемы природных пожаров, а также сложностью установления очага и причины природного пожара, которые являются важным элементом в системе обеспечения пожарной безопасности. При этом в случае природных пожаров определение признаков очага пожара является одним из наиболее трудоемких процессов, так как в результате возникновения и развития горения подвергаются термическому воздействию лесные насаждения на значительных площадях. Границы природного пожара предопределяют невозможность полноценно проводить исследование с использованием только визуальных методов по оценке термических поражений лесных насаждений. Для решения задачи по установлению очага природного пожара необходимо комплексное применение методов исследования, которые направлены на оценку термического поражения лесных насаждений.

Степень разработанности темы исследования

В исследованиях Мелехова И. С., Нестерова В. Г., Курбатского Н. П., Софронова М. А. отмечены результаты изучения закономерностей развития пожаров в зависимости от географического положения лесов, типов леса, состояния горючих материалов и условий погоды. Вопросам развития лесных пожаров в целях определения механизма возникновения горения посвящен ряд работ таких авторов, как Залесов С. В., Валендик Э. Н., Софронов М. А., Волокитина А. В., Курбатский Н. П., результаты исследований которых используются в методических пособиях по определению очага природного пожара. Общая схема и основные положения методики определения очага пожара изложены в работах Мегорского Б. В. Основоположниками изучения вопросов расследования лесных пожаров в целях определения очага и причины природных пожаров являются Оркин А. Н., Журавлев Ю. И., Круглов Е. И. Исследованием травяных и растительных пожаров в целях определения причин и условий их возникновения занимался американский ученый John D. DeNaan. Вопросами исследования пораженных от воздействия пожара лесных объектов занимались ученые Коржанский Н. И., Оркин А. Н., Журавлев Ю. И., Чешко И. Д., Плотников В. Г. В исследованиях Моторыгина Ю. Д. рассмотрены вопросы описания процессов возникновения и развития пожара. В трудах Морозова Р. О. рассмотрены проблемы механизма слеодообразования при уничтожении или повреждении лесных насаждений. В трудах таких авторов, как Сысоева Т. П., Сикорова Г. А., Горбунов А. С., отражены вопросы применения различных инструментальных методов к оценке степени термических поражений различных объектов при определении очага пожара. Исследователи Чешко И. Д., Парийская А. Ю., Принцева М. Ю., Петрова Н. В., Лобова С. Ф., Плотников В. Г., Елисеев Ю. Н., Лобатова О. В., Теплякова Т. Д. разработали методическое пособие по вопросам экспертного исследования природных пожаров. Выделяются также результаты патентных исследований в области разработки методов и средств к оценке степени термических поражений объектов в целях определения очага пожара таких научных исследователей, как Данилов А. В., Чешко И. Д., Соколова А. Н.

Цель исследования заключается в разработке научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений для определения очага природных пожаров, основанного на использовании созданного комплекса технических решений с комбинированным применением методов исследования.

Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

1. Провести анализ особенностей применения современных методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений в целях установления очага природных пожаров.

2. Разработать методику испытаний образцов разнообразных пород деревьев при различных условиях воздействия температур с получением зависимости по изменению степени термического поражения лесных насаждений.

3. Разработать комплекс технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.

4. Разработать методические рекомендации по применению комплекса технических решений с комбинированным использованием методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.

Объект исследования. Образование термических поражений лесных насаждений.

Предмет исследования. Степень термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов пожара, оценка которых позволяет определять очаг природных пожаров.

Научная новизна. В ходе выполнения диссертационного исследования достигнуты научные результаты:

- предложена методика испытаний образцов разнообразных пород деревьев с получением зависимости изменения скорости обугливания при различных условиях воздействия температур в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений;

- впервые разработано техническое средство, отличающееся оригинальной технологией применения для измерения глубины обугливания одновременно на противоположных сторонах стволов деревьев в целях определения очага природных пожаров;

- впервые разработаны программные средства, отличающиеся комбинированным применением методов исследования по определению очага природных пожаров;

- предложен комплекс технических решений для определения очага природных пожаров, отличающийся комбинированным использованием методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений;

- разработаны методические рекомендации применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных основ к оценке термических поражений лесных насаждений:

- разработана методика испытаний с комплексным проведением огневых испытаний и испытаний в муфельной печи с различными условиями воздействия температур, позволяющая провести сравнительное исследование образования степени термических поражений на образцах разнообразных пород деревьев;

- в целях определения очага природных пожаров разработан комплекс технических решений, в который входит применение впервые разработанного технического средства, позволяющего измерить глубину обугливания одновременно на противоположных сторонах стволов деревьев, и использование программных средств, позволяющих определить параметры развития природного пожара.

Практическая значимость работы заключается в разработке методических рекомендаций применения комплекса технических решений с комбинированным использованием методов исследования, позволяющих объективно, достоверно и в кратчайшие сроки проводить оценку термических поражений лесных насаждений в целях повышения точности определения очага природного пожара, что является необходимым в ходе производства пожарно-технической экспертизы в рамках осуществления дознания или следствия.

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую деятельность федерального государственного бюджетного учреждения «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория по Ивановской области»» в целях определения очага природного пожара, а также в образовательный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с п. 4 в части, касающейся разработки методов оценки различных опасных воздействий на объекты защиты и прилегающие территории; а также в соответствии с п. 9 паспорта специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Методология и методы исследования. В работе описаны результаты обобщения, систематизации и анализа отечественной и зарубежной научно-технической литературы по теме исследования. Для проведения исследований применялись следующие современные методы: статистическая обработка результатов испытаний; визуальный метод (для определения термического поражения различных пород деревьев); метод оценки (для определения сравнительной оценки степени обугливания различных пород деревьев); метод моделирования (для определения проекции развития природного пожара); метод пенетрации (для определения глубины обугливания различных пород деревьев); электрорезистивный метод (для определения длительности и температуры термолиза обугленных фрагментов различных пород деревьев); кибернетический метод (создание базы данных для хранения и обработки параметров развития природного пожара); метод наложения карт (для определения области очага природного пожара).

На защиту выносятся следующие положения:

1. Методика испытаний образцов разнообразных пород деревьев с различными условиями воздействия температур.
2. Комплекс технических решений, включающий применение разработанных технического и программных средств, основанных на комбинированном использовании методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.
3. Методические рекомендации применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.

Степень достоверности и обоснованность научных результатов исследования. Исследование проведено с применением современных методов исследования, основано на корректности постановки задач, теоретической обоснованности сформулированных утверждений, получением патента на полезную модель, свидетельств о государственной регистрации базы данных и программы для ЭВМ, а также обсуждением основного материала на научных мероприятиях различного уровня и публикаций в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ.

Апробация результатов исследования. Научные результаты диссертационного исследования обсуждались на внутриакадемических круглых столах кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, публиковались в материалах российских и международных конференций: «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (IX Международная научно-практическая конференция, г. Москва, 19–20 марта 2024 года), «Актуальные вопросы пожаротушения» (III Всероссийский круглый стол, г. Иваново, 28–29 марта 2024 года), «Современные пожаробезопасные материалы и технологии» (VII Международная научно-практическая конференция, г. Иваново, 17 октября 2024 года), «Пожарная и аварийная безопасность» (XIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 375-летию пожарной охраны России, г. Иваново, 21 ноября 2024 года), «Биоресурсы, изменения климата и сохранение биоразнообразия: междисциплинарные подходы, инновационные решения» (Международная научно-практическая конференция, BIORESCON 2025 (видеоконференция), г. Алматы, Республика Казахстан, 27–28 февраля 2025 года), «Пожарная и аварийная безопасность» (XX Международная научно-практическая конференция, посвященная 35-й годовщине со дня образования МЧС России, г. Иваново, 13–14 ноября 2025 года), «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» (XIII Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная празднованию 60-летия Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, г. Иваново, 21 мая 2026 года).

Личный вклад автора. Автором сформулированы цель и задачи диссертационной работы; разработана методика испытаний образцов разнообразных пород деревьев при различных условиях воздействия температур в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений; проведено экспериментальное исследование с применением разработанной методики испытаний и инструментальных методов исследования с получением зависимости скорости обугливания разнообразных пород деревьев от температуры нагрева; разработаны взаимосвязанные элементы комплекса технических решений, включающего применение технического и программных средств, основанных на комбинированном использовании методов исследования; разработаны

методические рекомендации применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.

Публикации. Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 9 научных трудах, из них: 3 в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ; 7 тезисов докладов представлено в 6 сборниках материалов конференций. Техническая новизна работы защищена 1 патентом РФ на полезную модель. Опубликована монография, получены 6 свидетельств о государственной регистрации базы данных и программы для ЭВМ.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы (202 наименования) и приложений. Работа содержит 170 страниц машинописного текста, включая 34 рисунка и 26 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, выносимых на защиту. В рамках настоящего диссертационного исследования осуществляется разработка научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений для определения очага природных пожаров. Разработанный научный подход основывается на применении созданного комплекса с техническим и программными средствами по комбинированному использованию методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений.

В рамках настоящего диссертационного исследования под очагом природного пожара понимается зона первоначального возникновения горения, в которой определены очаговые признаки по степени термических поражений лесных насаждений. Также в работе используется термин «область очага природного пожара», под которой понимается локальный участок меньших размеров, установленный разработанными программными средствами в площади образования термических поражений на местности, из которого происходило первоначальное развитие горения по лесным насаждениям.

В первой главе «**Особенности исследования лесных насаждений при установлении очага природных пожаров**» рассмотрена статистика лесных пожаров на территории Российской Федерации. На территории страны ежегодно фиксируется значительный процент возникновения природных пожаров. На снижение количества природных пожаров влияет проведение своевременного и в полном объеме предварительного расследования. Определение очага природного пожара является ключевым первоначальным моментом в процессе установления причины пожара. Определяющим этапом в процессе расследования природных пожаров является установление степени термического поражения лесных насаждений. Оценка степени термического поражения лесных насаждений проводится с использованием визуальных и инструментальных методов исследования. При этом метод визуального исследования применим для формирования выводов об очаге только в случае пожаров, возникших на ограниченной площади. Анализ современных работ научных исследователей в этой области показал, что имеются перспективы совершенствования применения методов к оценке степени термических поражений лесных насаждений.

Во второй главе «**Комплекс технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений**» подробно рассмотрен перечень инструментальных методов неразрушающего контроля для исследования лесных насаждений, результаты применения которых используются для установления очага природного пожара. Установлено, что в настоящее время отсутствует достаточно разнообразный набор технических средств по исследованию лесных насаждений, применяемых в целях определения признаков очага природного пожара. Анализ существующих инструментальных методов исследования к оценке термических поражений показал, что только часть методов исследования может быть применена к изучению лесных насаждений с целью определения очага природного пожара, а именно метод пенетрации и электрорезистивный метод. Перечень особенностей от применения методов неразрушающего контроля, которые в настоящее время наиболее часто используются в практической деятельности пожарно-технических экспертов по исследованию природных пожаров, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень особенностей от применения методов неразрушающего контроля для исследования природных пожаров

Метод исследования	Положительные возможности использования	Отрицательные аспекты применения
1	2	3
Визуальный	Универсальный способ, по которому проводится оценка термических поражений	Невозможность применения при пожарах на больших площадях по причине сложности обследования каждого объекта в зоне горения
Пенетрация	Применение прибора, который позволяет определить степень термического поражения деревьев непосредственно на месте пожара	Невозможность использования при пожарах на больших площадях по причине сложности обследования каждого объекта в зоне горения, а также в случае значительного выгорания деревьев, вплоть до полного их выгорания
Электро-резистивный	Приборный комплекс позволяет исследовать углистые остатки деревьев на определение длительности термоллиза	Невозможность использования при пожарах на больших площадях по причине необходимости изъятия большого количества углистых остатков для исследования в лабораторных условиях

Современные методы исследования неразрушающего контроля имеют ограничения в применении по установлению очага природного пожара. Получение итоговых результатов для оценки степени термического поражения лесных насаждений представляет собой достаточно трудоемкий процесс, что является недостатком в применении данных методов исследования.

Анализ практических примеров исследования лесных пожаров показал, что имеются трудности в установлении очага природного пожара в случае образования следов горения на значительной по площади территории. Таким образом, требуется комплексное использование методов исследования неразрушающего контроля с применением технических и программных средств, которые позволят установить во всех случаях без исключений очаг природного пожара. Это обстоятельство определило важность и значимость разработки научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов пожара в целях определения очага природного пожара.

В рамках настоящего диссертационного исследования разработана методика испытаний для образцов разнообразных пород деревьев. Методика испытаний позволяет оценить степень термоллиза образцов пород деревьев на изменение их состояния и определения скорости обугливания. Разработанная методика испытаний включает комплексное проведение огневых испытаний и испытаний в муфельной печи, которое позволяет оценить степень термического поражения лесных насаждений качественно к реальным условиям природного пожара. Методика испытаний реализуется посредством применения разработанных базы данных и программ для ЭВМ.

Для проведения экспериментального исследования с использованием разработанной методики испытаний выбраны приборы и оборудование с описанием их технических характеристик. Осуществлена выборка образцов деревьев, составлен план проведения серии испытаний. Выбраны методы исследования неразрушающего контроля для осуществления экспериментальных исследований образцов разнообразных пород деревьев. Выбранные для исследования объекты были отобраны из лесного массива, имели естественное состояние и представляли собой участок стволов деревьев со слоем коры. Получены значения абсолютной влажности образцов весовым методом.

Проведена серия испытаний при различных условиях воздействия температур, целью которых являлось изучение особенностей процесса обугливания и определения скорости обугливания образцов различных пород деревьев. После процесса температурного воздействия образцы первоначально исследовались визуальным методом для сравнительной оценки обугливания и выгорания на поверхности. Затем проводилось измерение глубины обугливания методом пенетрации по каждому образцу. Среднее арифметическое значение скорости обугливания для каждой породы дерева по всем температурным режимам и среднее квадратичное отклонение среднего результата измерений скорости обугливания представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты среднего арифметического значения и среднеквадратичное отклонение среднего результата измерений скорости обугливания

Порода дерева	температура испытания, °С	Скорость обугливания, мм/мин										Сред. ариф. знач., мм/мин	СКО, мм/мин
		Испытание № 1	Испытание № 2	Испытание № 3	Испытание № 4	Испытание № 5	Испытание № 6	Испытание № 7	Испытание № 8	Испытание № 9	Испытание № 10		
береза	300	0,88	0,86	0,90	0,80	0,82	0,85	0,75	0,90	0,74	0,70	0,82	0,07
	500	1,15	1,01	1,07	1,23	1,13	1,26	1,10	1,04	1,01	1,27	1,12	0,09
	700	1,41	1,43	1,32	1,25	1,45	1,42	1,40	1,34	1,48	1,48	1,39	0,07
	900	1,65	1,60	1,58	1,68	1,55	1,51	1,69	1,62	1,49	1,66	1,60	0,06
	1100	1,82	1,86	1,75	1,81	1,74	1,79	1,86	1,69	1,68	1,75	1,77	0,06
осина	300	0,75	0,79	0,71	0,72	0,67	0,78	0,81	0,72	0,83	0,74	0,75	0,04
	500	0,88	0,89	0,78	0,95	0,92	0,75	0,83	0,83	0,86	0,82	0,85	0,06
	700	1,39	1,43	1,29	1,25	1,35	1,33	1,46	1,42	1,39	1,35	1,36	0,06
	900	1,44	1,42	1,49	1,52	1,31	1,54	1,45	1,59	1,53	1,49	1,47	0,07
	1100	1,62	1,60	1,58	1,65	1,61	1,60	1,69	1,51	1,60	1,64	1,61	0,04
сосна	300	0,89	0,83	0,94	0,84	0,95	0,95	0,81	0,82	0,83	0,94	0,88	0,05
	500	1,35	1,31	1,39	1,34	1,49	1,48	1,45	1,30	1,46	1,29	1,38	0,07
	700	1,69	1,68	1,60	1,58	1,57	1,78	1,80	1,56	1,78	1,66	1,67	0,09
	900	1,87	1,84	1,93	1,95	1,93	1,90	1,84	1,83	1,92	1,80	1,88	0,05
	1100	1,99	1,90	1,99	1,85	1,81	1,83	2,02	1,91	1,90	1,95	1,91	0,07
липа	300	0,84	0,80	0,89	0,82	0,75	0,89	0,73	0,72	0,70	0,92	0,80	0,07
	500	1,11	1,10	1,19	1,23	1,05	1,15	1,18	1,23	1,21	1,17	1,16	0,05
	700	1,46	1,36	1,44	1,51	1,59	1,48	1,46	1,52	1,55	1,35	1,47	0,07
	900	1,65	1,60	1,69	1,75	1,78	1,54	1,66	1,65	1,74	1,69	1,67	0,07
	1100	1,79	1,70	1,63	1,82	1,61	1,83	1,74	1,73	1,71	1,84	1,74	0,08
ольха	300	0,75	0,70	0,85	0,71	0,69	0,87	0,81	0,74	0,71	0,74	0,75	0,06
	500	0,81	0,82	0,89	0,75	0,79	0,88	0,84	0,73	0,71	0,84	0,80	0,06
	700	1,24	1,20	1,34	1,21	1,15	1,22	1,29	1,40	1,14	1,21	1,24	0,08
	900	1,44	1,40	1,49	1,56	1,32	1,47	1,52	1,32	1,47	1,45	1,44	0,07
	1100	1,57	1,50	1,45	1,47	1,59	1,55	1,67	1,69	1,60	1,55	1,56	0,07
ель	300	0,97	0,91	0,93	1,03	0,90	0,86	0,95	0,99	1,03	0,97	0,95	0,05
	500	1,29	1,35	1,43	1,34	1,45	1,23	1,26	1,29	1,32	1,34	1,33	0,06
	700	1,50	1,55	1,59	1,63	1,49	1,47	1,54	1,53	1,41	1,51	1,52	0,06
	900	1,86	1,80	1,84	1,75	1,96	1,76	1,80	1,85	1,98	1,94	1,85	0,08
	1100	2,02	1,95	1,90	2,05	2,01	1,90	2,10	2,04	2,06	2,01	2,00	0,06

С помощью программного обеспечения Microsoft Excel для описания полученных зависимостей изменения скорости обугливания от температуры нагрева образцов различных пород деревьев проведена обработка полученных данных и построен график распределения среднего арифметического значения скорости обугливания с построением линии тренда. В качестве примера зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов березы представлена на рисунке 1.

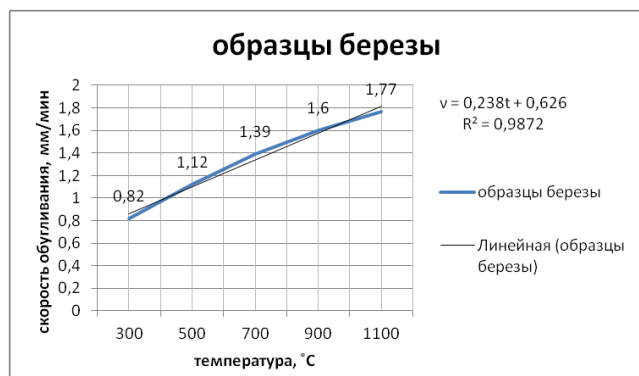


Рисунок 1 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов березы (влажность 17 %, плотность 620 кг/м³)

Получено уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов березы, которое имеет вид:

$$v = 0,238 \times t + 0,626. \quad (1)$$

Получено уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов осины, которое имеет вид:

$$v = 0,234 \times t + 0,506. \quad (2)$$

Получено уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов сосны, которое имеет вид:

$$v = 0,256 \times t + 0,776. \quad (3)$$

Получено уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов липы, которое имеет вид:

$$v = 0,239 \times t + 0,651. \quad (4)$$

Получено уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов ольхи, которое имеет вид:

$$v = 0,226 \times t + 0,48. \quad (5)$$

Получено уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов ели, которое имеет вид:

$$v = 0,262 \times t + 0,744, \quad (6)$$

где v – скорость обугливания образцов, мм/мин; t – температура, °С.

Таким образом, для различных пород деревьев получены зависимости скорости обугливания от температуры нагрева, которые можно использовать при проведении оценки степени термического поражения лесных насаждений. Установлено, что с увеличением температуры воздействия толщина угля и скорость обугливания последовательно увеличивались для всех образцов. Обработка экспериментальных данных позволила выявить сходимость результатов примененных методов исследования неразрушающего контроля. С увеличением времени огневого воздействия значения глубины обугливания и расчетные значения длительности пиролиза последовательно увеличивались. Полученные для различных пород деревьев линейные зависимости изменения величины скорости обугливания от температуры воздействия позволяют проводить оценку динамики обугливания деревьев при различных режимах воздействия.

По результатам испытаний установлено, что в целях оценки термических поражений лесных насаждений необходимо определять глубину обугливания схожих пород деревьев. Глубина обугливания и высота нагара на стволе дерева являются физическими параметрами, непосредственно характеризующими степень термического поражения. В условиях природного пожара наиболее предпочтительным является метод пенетрации. В настоящее время отсутствует специализированный инструмент для измерения глубины обугливания стволов деревьев.

В целях совершенствования подхода к оценке термических поражений лесных насаждений в рамках настоящего диссертационного исследования разработан прибор с названием «Устройство для определения очага природных пожаров», функционирование которого основано на использовании метода пенетрации. Оригинальная конструкция прибора обеспечивает осевое перемещение для охвата стволов различных диаметров и фиксацию положения для одновременного измерения глубины обугливания с противоположных сторон дерева (рисунок 2).

Технический результат полезной модели прибора с учетом конструктивного исполнения Г-образной рамы предусматривает измерение глубины обугливания ствола дерева диаметром до 50 см одновременно с противоположных сторон. Таким образом достигается уменьшение затрачиваемого времени по измерению глубины обугливания на участке природного пожара по сравнению с применением штангенциркуля.

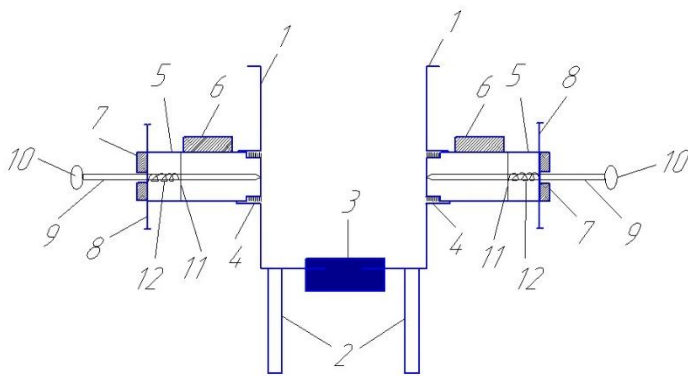


Рисунок 2 – Техническое исполнение прибора «Устройство для определения очага природных пожаров». Обозначения:
 1 – Г-образные рамы; 2 – рукоятки;
 3 – средство фиксации; 4 – втулка с резьбой;
 5 – цилиндр; 6 – измерительный модуль;
 7 – крышка; 8 – ручки; 9 – измерительный стержень; 10 – рукоятка; 11 – упор;
 12 – пружина сжатия

Разработанный прибор обеспечивает повышение точности измерений и сокращение времени получаемых результатов, а также возможность автоматического сохранения результатов измерений для последующей их обработки. Прибор позволяет провести экспресс-оценку полученных результатов глубины обугливания стволов деревьев непосредственно на месте природного пожара с целью установления путей развития горения, которые необходимы для определения очага природного пожара. Это становится возможным благодаря оснащению прибора функции геолокации и автоматизированной функции по фиксации полученных значений глубины обугливания в базе данных и их обработке в программе для ЭВМ. Данные функции позволяют построить на цифровом устройстве в автоматизированном режиме карты термических поражений.

Разработаны программные средства, основанные на использовании кибернетического метода, метода моделирования и метода наложения карт, которые позволяют определить скорость распространения природного пожара и оценить расчетную форму проекции зоны горения. Использование данных программных средств позволяет из общей площади природного пожара выделить локальный участок меньших размеров, в котором расположен очаг природного пожара. В качестве модели распространения природного пожара для предложенного программного средства по оценке степени термического поражения лесных насаждений в целях определения очага природного пожара выбрана эмпирическая модель Софронова М. А. Данная модель применена в качестве программной реализации по причине того, что для ее использования разработаны информационные базы лесотаксационного описания местности по всей территории Российской Федерации.

Назначение разработанной базы данных под названием «База данных по учету характеристик природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений на прилегающих территориях объектов защиты для определения очага природных пожаров» связано с содержанием в ней описания характеристик природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений лесных насаждений, а также результатов расчетов в программе к базе данных по определению параметров развития горения природного пожара. База данных формирует стандартные условия развития горения, установленные до возникновения пожара, с учетом которых в программе для ЭВМ «Программа для работы с базой данных по учету характеристик природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений на прилегающих территориях объектов защиты для определения очага природных пожаров» проводится расчет значений скорости распространения природного пожара. В программе отражаются картографические данные и результаты расчетов, которые необходимы для построения проекции зоны природного пожара во второй разработанной программе.

В программе для ЭВМ «Программа по оценке степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров» используются картографические схемы, полученные по результатам применения комплексной системы мониторинга, в которых отражены зоны первоначального обнаружения горения, и осуществляется наложение картографического слоя, который отражает расчетную проекцию зоны горения по распространению низового природного пожара. В границах проекции зоны горения программой определяется контур области очага природного пожара.

Таким образом, представлено описание функциональной структуры разработанного комплекса технических решений, состоящего из технического и программных средств, которые используются в целях оценки термического поражения лесных насаждений природных пожаров. Комплекс технических решений функционирует только с использованием всех взаимосвязанных между собой элементов по логическим схемам выполняемых операций. Применение комплекса технических решений универсально для всех случаев распространения природного пожара, в результате которых подверглись термическому воздействию лесные насаждения.

В третьей главе «Применение комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений» представлено описание этапов алгоритма методики применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений, основой для которой явились результаты экспериментального исследования, а также результаты разработки технического и программных средств. Алгоритм подразумевает применение разработанных технического и программных средств в определенной последовательности, благодаря чему имеется возможность воспроизводимости получаемых результатов (рисунок 3).

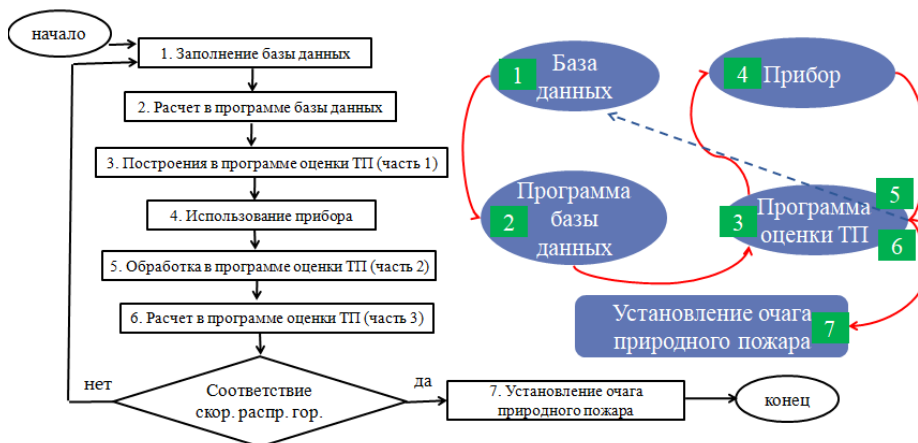


Рисунок 3 – Алгоритм применения комплекса технических решений

Разработаны методические рекомендации применения комплекса технических решений с комбинированным использованием методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Методические рекомендации по применению комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений

Этап	Описание этапа	Средства реализации
1	2	3
I. Работа с базой данных	Заполнение базы данных по конкретному пожару. Получение необходимых данных проводится с использованием лесотаксационного описания по конкретной территории и результатов применения комплексной системы мониторинга	База данных
II. Выполнение расчетов	Определяется скорость развития природного пожара	Программа для базы данных
III. Построение проекции зоны пожара	С учетом полученных значений распространения пожара в длину проводится построение проекции зоны пожара. При этом в форме проекции природного пожара с учетом направления ветра определяется контур области очага природного пожара	Программа по оценке степени термических поражений природных объектов
IV. Определение глубины обугливания	В полученной области очага природного пожара визуальным методом выбираются одинаковые породы деревьев, которые находятся в наибольшем количестве. Далее применяется прибор по измерению глубины обугливания с различных сторон стволов деревьев	Прибор «Устройство для определения очага природных пожаров»
V. Обработка значений глубины обугливания	Производится обработка значений глубины обугливания на поверхности противоположных сторон деревьев в установленной области очага природного пожара. В итоге производится построение карты зон термических поражений с учетом полученных средних значений измерения глубины обугливания	Программа по оценке степени термических поражений природных объектов

Продолжение таблицы 3

VI. Определение параметров пожара	Осуществляется обработка значений глубины обугливания на поверхности противоположных сторон деревьев с целью определения параметров развития горения	Программа по оценке степени термических поражений природных объектов
VII. Определение очага природного пожара	По карте термических поражений определяются направления наибольшего воздействия тепловых потоков на стволы деревьев (признаки направленности распространения горения). Проведение реконструкции процесса развития горения в области очага природного пожара с учетом выявленной зоны с наибольшей степенью термического поражения и полученных признаков направленности распространения горения (определение очага природного пожара)	Метод оценки с применением результатов в программе по оценке степени термических поражений

Представлена на иллюстрирующем примере исследования пожара в границах лесного участка практическая реализация применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений с целью определения очага природного пожара. Форма проекции зоны горения, в которой определена область очага природного пожара, представлена на рисунке 4. В установленной области очага природного пожара расположены лиственные породы деревьев. Исследованию подвергается участок природного пожара, который состоит из двадцати одного однотипного дерева, который изображен на рисунке 5.



Рисунок 4 – Форма проекции зоны горения с областью очага природного пожара

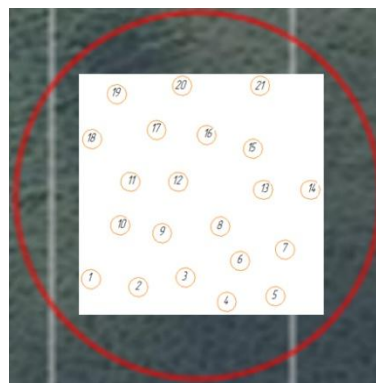


Рисунок 5 – Схема установленной области очага природного пожара с расположением однотипных пород деревьев (отмечены овалами с цифрами)

Результаты полученных значений глубины обугливания деревьев по сторонам света представлены на рисунке 6. Результаты наибольшего теплового воздействия на стволы деревьев по распределению полученных значений глубины обугливания по сторонам света представлены на рисунке 7.

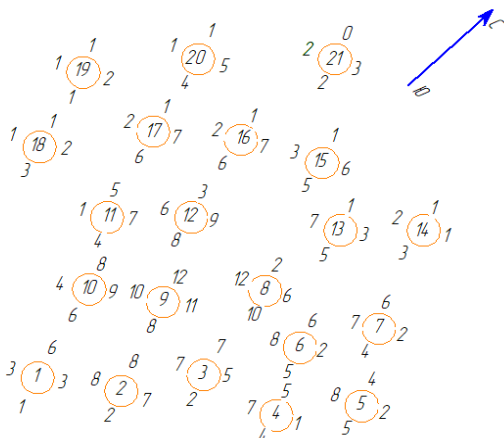


Рисунок 6 – Результаты полученных значений глубины обугливания деревьев

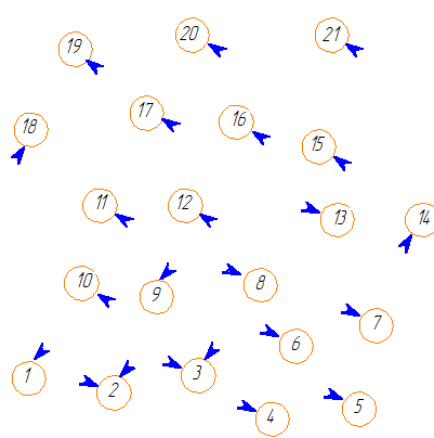


Рисунок 7 – Результаты наибольшего теплового воздействия на стороны деревьев

Далее с помощью программы, которая позволяет строить изолинии и зоны по не располагающимся на одинаковом расстоянии друг от друга точкам измерений, проведено построение карты термических поражений с распределением среднего значения глубины обугливания по исследованным деревьям (рисунок 8).

Анализ результатов изучения карты термических поражений с распределением среднего значения глубины обугливания, а также полученных признаков направленности распространения горения позволяет провести реконструкцию процесса развития горения в области очага природного пожара, представленную на рисунке 9.

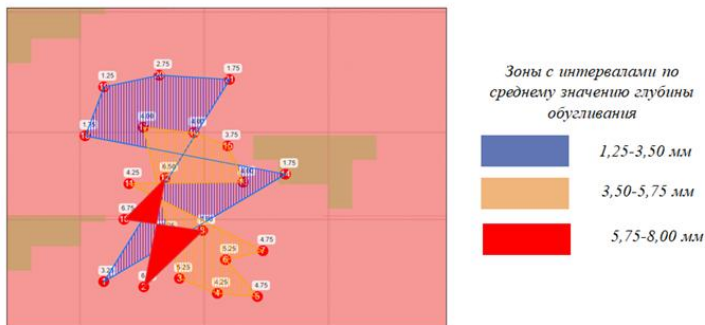


Рисунок 8 – Карта термических поражений с распределением среднего значения глубины обугливания

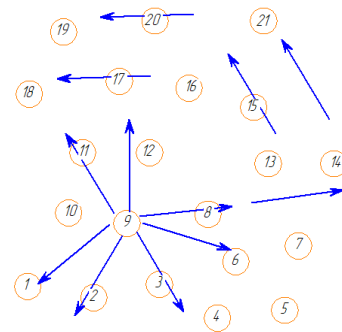


Рисунок 9 – Пути развития пожара в области очага природного пожара

По логическим схемам выполняемых циклических операций взаимосвязанных элементов комплекса технических решений проведена оценка степени термического поражения лесных насаждений в границах участка лесного пожара, по результатам которой определен очаг природного пожара. По результатам определения трудоемкости выполнения этапов применения комплекса технических решений в сравнении с применением методов исследования современной методики по исследованию природных пожаров установлено, что на использование разработанных технического и программных средств потребовалось значительно меньшее количество времени.

В целях обоснования применения комплекса технических решений с использованием разработанных программных средств определены параметры развития каждого выбранного лесного пожара в различных регионах страны за текущий год, по которым с учетом картографических данных космического мониторинга установлена область очага природного пожара (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты анализа лесных пожаров с использованием разработанных программных средств по определению параметров развития горения и области очага природного пожара

№ пожара	Характеристика пожара	Расчетная скорость распространения кромки пожара	Расчетная длина пути, пройденная пожаром из очага природного пожара	Результаты по установлению области очага природного пожара
1	2	3	4	5
№ 1	Общая площадь лесного пожара 0,9 га (0,009 км ²), зона горения прямоугольной формы (длина 96 м, ширина 92 м), порода деревьев – сосна, покров – зеленомошный, ветер восточный 1,3 м/с, относительная влажность 87 %, время свободного развития пожара – 343 мин	По фронту – 0,1 м/мин; по флангу и тылу – 0,09 м/мин	По фронту – 34 м; по флангу и тылу – 30 м	Имеется возможность по полученным расчетным параметрам развития горения на картографической схеме космического мониторинга построения расчетной проекции зоны горения, в которой устанавливается область очага природного пожара

Продолжение таблицы 4

№ 2	Общая площадь лесного пожара 25 га (0,25 км ²), зона горения прямоугольной формы (длина 610 м, ширина 406 м), порода деревьев – сосна, покров – вересковый, ветер южный 4,3 м/с, относительная влажность 42 %, время свободного развития пожара – 740 мин	По фронту – 0,51 м/мин; по флангу и тылу – 0,33 м/мин	По фронту – 377 м; по флангу и тылу – 244 м	Имеется возможность по полученным расчетным параметрам развития горения на картографической схеме космического мониторинга построения расчетной проекции зоны горения, в которой устанавливается область очага природного пожара
№ 3	Общая площадь лесного пожара 1,2 га (0,012 км ²), зона горения прямоугольной формы (длина 150 м, ширина 80 м), порода деревьев – сосна, ветер юго-восточный 2,0 м/с, относительная влажность 72 %, время свободного развития пожара – 388 мин	По фронту – 0,23 м/мин; по флангу и тылу – 0,18 м/мин	По фронту – 89 м; по флангу и тылу – 69 м	Имеется возможность по полученным расчетным параметрам развития горения на картографической схеме космического мониторинга построения расчетной проекции зоны горения, в которой устанавливается область очага природного пожара
№ 4	Общая площадь лесного пожара 8 га (0,08 км ²), зона горения прямоугольной формы (длина 400 м, ширина 200 м), порода деревьев – сосна, покров – травяной, ветер южный 1,4 м/с, относительная влажность 22 %, время свободного развития пожара – 390 мин	По фронту – 0,61 м/мин; по флангу и тылу – 0,51 м/мин	По фронту – 238 м; по флангу и тылу – 199 м	Имеется возможность по полученным расчетным параметрам развития горения на картографической схеме космического мониторинга построения расчетной проекции зоны горения, в которой устанавливается область очага природного пожара

Результаты анализа лесных пожаров с использованием разработанных программных средств показали, что для каждого случая по полученным расчетным параметрам развития горения имеется возможность построения расчетной проекции зоны горения и установления в ней области очага природного пожара. Это обстоятельство подтверждает возможность и целесообразность применения комплекса технических решений, позволяющего достоверно проводить оценку термических поражений лесных насаждений в целях повышения точности определения очага природного пожара.

Сравнение современной методики и разработанного подхода по использованию методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений представлено на рисунке 10.

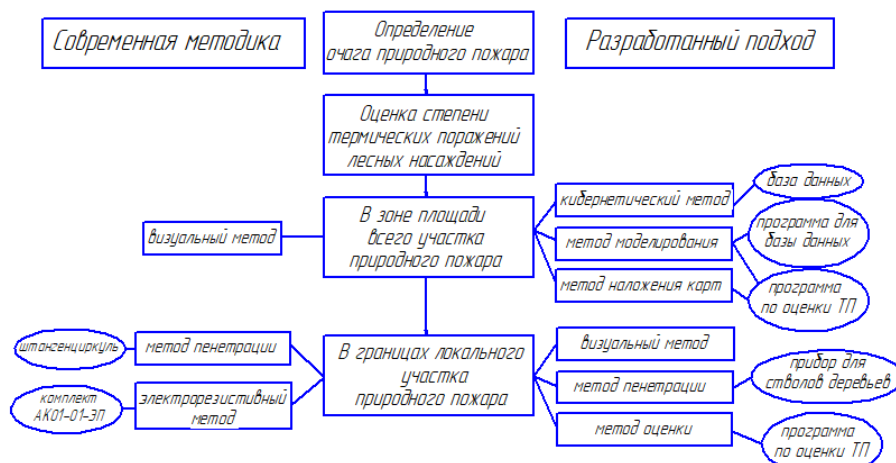


Рисунок 10 – Сравнение современной методики и разработанного подхода по использованию методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений

Таким образом, разработанный комплекс технических решений с комбинированным использованием методов исследования дополняет современную методику к оценке термических поражений лесных насаждений в целях повышения точности определения очага природного пожара. Подтверждена эффективность комплекса технических решений по затрачиваемому времени на применение разработанных технического и программных средств, а также достоверности получаемого при этом результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ особенностей применения современных инструментальных методов исследования к оценке термических поражений. Используемые в настоящее время метод пенетрации и электрорезистивный метод имеют ограничения в применении по установлению очага природного пожара.

2. Впервые разработана методика испытаний образцов разнообразных пород деревьев на оценку степени термического поражения. Разработанная методика испытаний включает комплексное проведение огневых испытаний и испытаний в муфельной печи, целью которого является проведение оценки степени термического поражения пород деревьев при различных условиях воздействия температур с получением зависимости по изменению степени термического поражения лесных насаждений.

3. Впервые разработан комплекс технических решений для определения очага природных пожаров, отличающийся комбинированным использованием методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений. Впервые разработано техническое средство, отличающееся оригинальной технологией применения для измерения глубины обугливания одновременно на противоположных сторонах стволов деревьев в целях определения очага природных пожаров. Впервые разработаны программные средства, отличающиеся комбинированным применением методов исследования по определению очага природных пожаров.

4. Разработаны методические рекомендации применения комплекса технических решений с комбинированным использованием методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК

1. Семенов А. О. Особенности тушения природных пожаров на начальных этапах / А. О. Семенов, **Д. В. Калашников**, А. Д. Семенов // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 85–93.

2. Использование систем мониторинга при фиксации направления развития и динамики природного пожара / А. О. Семенов, **Д. В. Калашников**, А. Г. Бубнов, Л. Б. Тихановская // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 4 (57). С. 57–67.

3. **Калашников Д. В.** Совершенствование методики определения очага природного пожара / Д. В. Калашников // Технологии техносферной безопасности. 2026. № 2 (112). С. 249–267.

Монография

4. Семенов А. О. Мониторинг пожаров на открытых территориях: монография / А. О. Семенов, А. А. Апарин, **Д. В. Калашников**. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. 311 с.

Патенты и свидетельства

5. Патент на полезную модель № 236509 U1 Российская Федерация, МПК G01N 3/08. устройство для определения очага природных пожаров: заявл. 02.06.2025: опубл. 11.08.2025 / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, **Д. В. Калашников** [и др.].

6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026621041 от 12.03.2026 Российская Федерация. База данных по учету характеристик природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений на прилегающих территориях объектов защиты для определения очага природных пожаров / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. А. Апарин; Правообладатель: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU). – заявка № 2026620738 от 03.03.2026.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616847 от 12.03.2026 Российская Федерация. Программа для работы с базой данных по учету характеристик

природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений на прилегающих территориях объектов защиты для определения очага природных пожаров / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. А. Апарин; Правообладатель: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU). – заявка № 2026615695 от 03.03.2026.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026665485 от 25.05.2026 Российская Федерация. Программа по оценке степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. А. Апарин; Правообладатель: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU). – заявка № 2026618236 от 24.03.2026.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026684313 от 10.08.2026 Российская Федерация. Программа для внесения данных в базу данных применения методов испытаний в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. А. Апарин; Правообладатель: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU). – заявка № 2026683841 от 03.08.2026.

10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026623938 от 18.08.2026 Российская Федерация. База данных применения методов испытаний в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. А. Апарин; Правообладатель: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU). – заявка № 2026623679 от 03.08.2026.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026685267 от 20.08.2026 Российская Федерация. Программа для анализа данных в базе данных применения методов испытаний в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. А. Апарин; Правообладатель: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU). – заявка № 2026683997 от 03.08.2026.

Публикации в иных научных изданиях

12. **Калашников Д. В.** Особенности использования программных комплексов при мониторинге пожаров на открытых территориях / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов // Системы безопасности: материалы Международной научно-технической конференции. М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. № 32. С. 86–90.

13. **Калашников Д. В.** Методы раннего обнаружения природного пожара / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: Сборник материалов VII международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 139–143.

14. **Калашников Д. В.** Система мониторинга как средство для экспертного исследования природных пожаров / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. И. Смыслова // Пожарная и аварийная безопасность: Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. С. 885–889.

15. **Калашников Д. В.** Анализ технических средств и информационных ресурсов для обеспечения мониторинга природных пожаров / **Д. В. Калашников**, А. А. Апарин, А. О. Семенов // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 267–270.

16. **Калашников Д. В.** Совершенствование подходов к оценке степени поражения древесных объектов при природных пожарах / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов // Пожарная и аварийная безопасность: Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции, посвященной 35-й годовщине со дня образования МЧС России, Иваново, 13–14 ноября 2025 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 872–877.

17. **Калашников Д. В.** Применение цифровых технологий при экспертном исследовании природных пожаров / **Д. В. Калашников**, А. О. Семенов, А. Д. Косточкина // Пожарная и аварийная безопасность: Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции, посвященной 35-й годовщине со дня образования МЧС России, Иваново, 13–14 ноября 2025 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 954–958.