

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

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

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Семенов Алексей Олегович

Иваново – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ОЧАГА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ.....	13
1.1 Статистика возникновения природных пожаров.....	13
1.2 Обзор иностранных и отечественных литературных источников по тематике исследования	17
1.3 Анализ методологических особенностей установления очага природных пожаров	19
1.4 Современные методы исследования к оценке термических поражений ..	26
1.5 Средства комплексной системы мониторинга к оценке термических поражений лесных насаждений	29
1.6 Выводы по главе 1.....	32
ГЛАВА 2 КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ОЦЕНКЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ	34
2.1 Методы исследования лесных насаждений к оценке термических поражений.....	34
2.2 Экспериментальное исследование образцов пород деревьев при различных условиях воздействия температур	42
2.3 Разработка технического средства к оценке термического поражения лесных насаждений.....	79
2.4 Разработка программных средств к оценке термического поражения лесных насаждений	87
2.5 Функциональная структура разработанного комплекса технических решений.....	96
2.6 Выводы по главе 2.....	103

ГЛАВА 3 ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ОЦЕНКЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ	107
3.1 Алгоритм применения комплекса технических решений	107
3.2 Методические рекомендации применения комплекса технических решений.....	112
3.3 Практическая реализация применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений	116
3.4 Сравнительный анализ разработанного научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений с современной методикой	129
3.5 Выводы по главе 3.....	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Патент на полезную модель	162
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Свидетельство о государственной регистрации базы данных	163
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	164
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	165
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных	166
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	167
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ	168
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования	169
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Акт о внедрении результатов диссертационного исследования	170

ВВЕДЕНИЕ

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 [168].

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 [122, 124, 170]. Обеспечение пожарной безопасности в лесах – одна из мер по охране лесов. В целях предотвращения пожара в лесах установлены требования пожарной безопасности [120, 121, 177]. Соответственно, определяется значимость качества процесса расследования природных пожаров, которое направлено, в том числе, на предупреждение возникновения лесных пожаров.

Предупреждение природных пожаров возможно только тогда, когда предприняты все действия по расследованию причин его возникновения и определения виновных лиц, которое осуществляется дознавателем в ходе производства дознания по делам о природных пожарах. Важнейшими задачами дознавателя при проверке сообщения о природном пожаре является установление очага и причины пожара [123, 169]. Определение очага пожара является ключевым первоначальным моментом в процессе установления причины пожара, которая необходима для разработки противопожарных мероприятий по предупреждению лесных пожаров в целях снижения их количества.

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 оценки 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. В связи с этим в рамках диссертационной работы, с учетом современных достижений в области науки и техники, разработан научный подход, сочетающий в себе комплексное применение методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов природного пожара.

Степень разработанности темы исследования

По теме диссертационного исследования опубликовано значительное количество научных трудов, что подтверждает актуальность рассматриваемой проблемы. Исследование связано с разработкой научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов природного пожара.

В диссертационной работе под термином лесные насаждения, которые являются объектами защиты, понимается совокупность древесных и недревесных растений на определенном участке леса [30, 34, 39]. Под термическими поражениями лесных насаждений понимаются изменения в древесине под действием температуры, проявляющиеся в виде потемнения поверхности, обугливания на различную глубину, полного выгорания в отдельных зонах [189, 194]. Оценка степени термических поражений лесных насаждений используется в целях определения очага природного пожара, который необходим следствию или дознанию в ходе расследования обстоятельств возникшего пожара.

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 [17, 90, 99, 106]. 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 [15, 19, 20, 52, 91].

Общая схема и основные положения методики определения очага пожара, основанные на закономерностях протекания процессов горения и специфических особенностях проявления отдельных причин пожаров, изложены в работах Мегорского Б. В. [97, 180]. Основоположниками изучения вопросов расследования лесных пожаров в целях определения очага и причины природных пожаров являются Оркин А. Н., Журавлев Ю. И., Круглов Е. И. [87, 109]. Исследованием травяных и растительных пожаров в целях определения причин и условий их возникновения занимался американский ученый John D. DeNaan [198, 199]. Непосредственно 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. [87, 109, 118, 188, 195].

В исследованиях Моторыгина Ю. Д. рассмотрены вопросы описания процессов возникновения и развития пожара [104]. В трудах Морозова Р. О. рассмотрены проблемы механизма слеодообразования при уничтожении или повреждении лесных насаждений [102, 103]. 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 в рамках пожарно-технической экспертизы [28, 152, 156]. 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, которое используется экспертами в ходе производства пожарно-технической экспертизы

[197]. 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. [1, 2, 110–114]. Основными объектами исследования в целях определения очага природного пожара выступают стволы деревьев, оценка термических поражений которых позволяет определить признаки направленности распространения горения, необходимые для проведения реконструкции процесса развития природного пожара. В связи с этим диссертационное исследование посвящено вопросам разработки технических и программных средств к оценке степени термического поражения лесных насаждений.

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 разработки методов оценки различных опасных воздействий на объекты защиты и прилегающие территории; 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).

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.

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.

ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ОЧАГА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

1.1 Статистика возникновения природных пожаров

Природный пожар представляет собой неконтролируемый процесс горения, стихийно возникающий и распространяющийся в природной среде, охватывающий различные компоненты природного ландшафта [174, 179].

Под природным ландшафтом понимается территория, которая не подверглась изменению в результате хозяйственной и иной деятельности и характеризуется сочетанием определенных типов рельефа местности, почв, растительности, сформированных в единых климатических условиях [35, 176].

Особенности развития природного пожара во многом зависят от места его возникновения, так как оно обусловлено наличием определенного типа растительности, поэтому выделяют следующие виды природных пожаров: полевой, степной, лесной, камышовый, болотный, тундровый, саванный и т. п. [5, 82, 126].

По статистике основным видом природных пожаров является лесной пожар. Россия входит в десятку лидеров стран по количеству и площадям лесных пожаров, так как лесом покрыто около 22 % территории страны [14, 148].

В результате возникновения и развития лесного пожара под воздействием конвективных и лучистых тепловых потоков подвергаются термическому воздействию лесные насаждения (в виде обугливания и выгорания). Под лесным насаждением понимается участок леса, состоящий из древостоя, подроста, подлеска живого напочвенного слоя [30, 91].

В России одной из актуальных проблем является уничтожение или повреждение лесных насаждений, за которые в результате неосторожного обращения с огнем или иным источником повышенной опасности установлена уголовная ответственность [103, 127].

В процессе диссертационного исследования рассмотрена статистика лесных пожаров на территории Российской Федерации за последние пять лет в сравнении с общим количеством пожаров в стране, которая представлена в таблице 1.1 [119].

Таблица 1.1 – Число лесных пожаров в сравнении с общим количеством пожаров РФ за 2020–2024 гг.

Показатель	Год				
	2020	2021	2022	2023	2024
1	2	3	4	5	6
Общее количество пожаров по РФ	439394	390859	352602	360963	347507
Лесные пожары по РФ	14812	15112	12528	12241	9373
Процент лесных пожаров от общего количества пожаров в стране	3,37	3,86	3,55	3,39	2,69

Анализ статистики показывает, что лесные пожары ежегодно составляют существенный процент от общего количества пожаров в Российской Федерации. Вместе с тем, прослеживается динамика уменьшения по количеству возникновения лесных пожаров. Соответственно, можно заключить, что ситуация с возникновением лесных пожаров в настоящее время особенно актуальна.

Вместе с тем, в определенных регионах наблюдается противоположная тенденция, связанная с увеличением количества лесных пожаров. Число лесных пожаров по регионам Российской Федерации за 2020–2024 гг. представлено в таблице 1.2 [119].

Далее представлена динамика лесных пожаров за последние пять лет в федеральных округах Российской Федерации, за исключением Северо-Кавказского федерального округа, где среднее количество лесных пожаров в год за последние пять лет – не более 40, и новых присоединенных регионов, по которым на данный момент представлена неполная статистика по возникновению пожаров (рисунок 1.1) [119].

Таблица 1.2 – Распределение лесных пожаров по регионам РФ за 2020–2024 гг.

Регион	Год				
1	2020	2021	2022	2023	2024
РФ	14812	15112	12528	12241	9373
ЦФО	795	570	740	358	433
СЗФО	760	1430	980	831	863
ЮФО	382	118	100	138	191
СКФО	40	6	5	11	9
ПФО	1039	1954	603	990	637
УФО	2409	4661	2654	3438	772
СФО	3996	2807	4180	2749	1910
ДВФО	3913	3566	3266	3726	4558

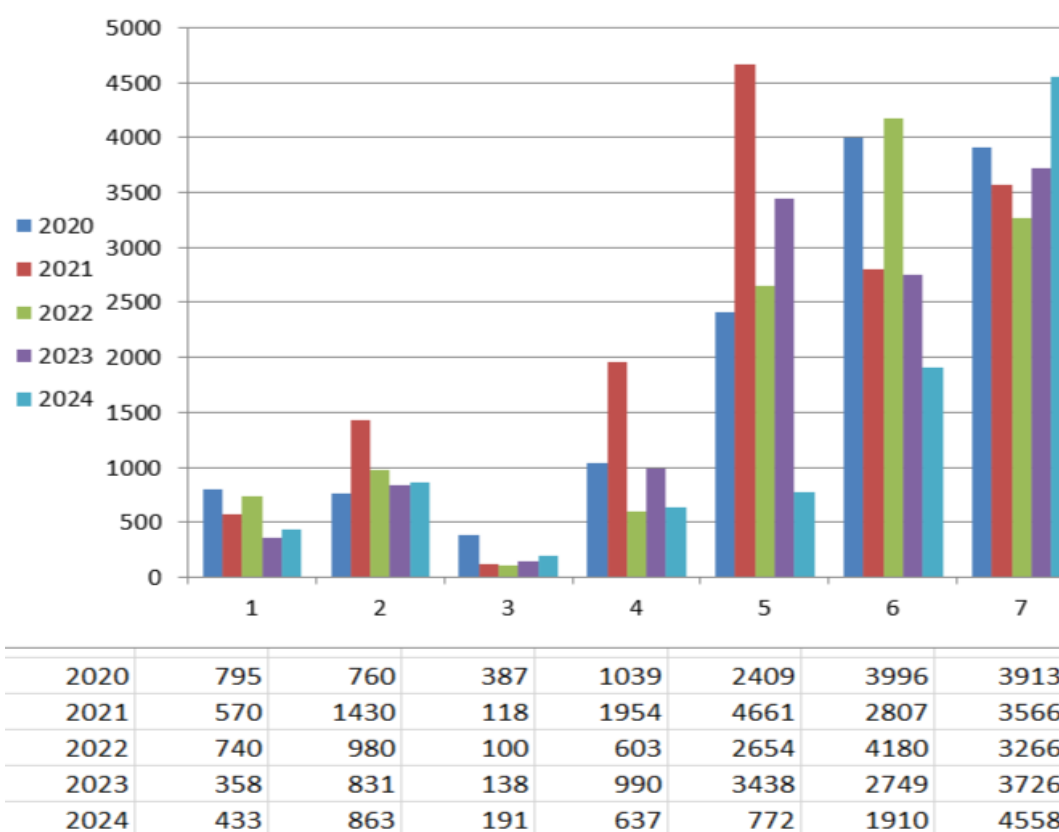


Рисунок 1.1 – Динамика возникновения лесных пожаров в федеральных округах Российской Федерации за 2020–2024 гг. Обозначения:

- 1 – Центральный федеральный округ; 2 – Северо-Западный федеральный округ;
 3 – Южный федеральный округ; 4 – Приволжский федеральный округ;
 5 – Уральский федеральный округ; 6 – Сибирский федеральный округ;
 7 – Дальневосточный федеральный округ [75]

Оценка динамики лесных пожаров в федеральных округах страны показывает, что в трех федеральных округах (Уральский, Сибирский, Дальневосточный) за последние пять лет произошло значительное количество лесных пожаров, ежегодно превышающих в среднем 2500 пожаров. Кроме того, в Дальневосточном федеральном округе в последние годы наблюдается устойчивая тенденция увеличения количества лесных пожаров, которые составляют до 12 % от общего количества пожаров в данном округе, что является значительным процентом и превышает средние значения по стране.

Статистические данные показывают, что возникновение лесных пожаров в стране является одной из актуальных проблем, так как последствия в результате их развития характеризуются значительными масштабами и ущербом, причиняемом экономике страны и экологии [82, 88].

Лесные насаждения являются ценными и невозполнимыми ресурсами, поэтому необходимо предпринимать все действия по расследованию и предупреждению природных пожаров. Это возможно только тогда, когда определяются виновные лица, которые понесут соответствующее наказание [183, 199].

Особую роль в снижении количества природных пожаров играет выявление причин их возникновения, что может быть определено только при проведении своевременного, в полном объеме и с соблюдением всех процессуальных норм, предварительного расследования [58, 201].

Раскрытие преступлений, связанных с природными пожарами, является эффективной профилактикой для уменьшения их количества. Поэтому важным является не просто расследование пожаров, а установление причинно-следственной связи возникшего пожара. Причины природных пожаров разнообразны, но без установления точного места возникновения горения невозможно определить механизм возникновения пожара.

1.2 Обзор иностранных и отечественных литературных источников по тематике исследования

В целях анализа литературных источников по тематике исследования были выбраны научные труды, учебные пособия, учебники, опубликованные в период с 1962 по 2024 год на русском и английском языках. Поиск производился с помощью поисковых электронных систем, а также библиотек различных учебных и научных организаций.

Для поиска использовались следующие ключевые слова: «возникновение и развитие лесных пожаров», «расследование лесных пожаров», «пожарно-техническая методика», «экспертиза пожаров», «методы исследования объектов пожаров», «определение очага природного пожара», «оценка термических поражений лесных насаждений». Аналитический поиск позволил отобрать до 24 работ, в которых отражены научные исследования в области расследования пожаров по установлению очага природного пожара с использованием различных методов исследования к оценке термического поражения лесных насаждений.

Курбатский Н. П. разделил все растительные горючие материалы на семь групп, исходя из их свойств и внешнего вида, влияющих на степень возгорания [90]. Валендик Э. Н. изучил условия развития и распространения крупных лесных пожаров. Было отмечено, что на особенности развития лесного пожара влияет состояние лесных горючих материалов, рельеф, состояние природных факторов. Своевременное обнаружение горения позволяет уменьшить площади развития лесных пожаров. Также в работе было обращено внимание на проведение моделирования распространения лесных пожаров [15, 99]. Залесовым С. В. проведена классификация лесных пожаров по степени возгораемости [52]. Софронов М. А., Волокитина А. В. подготовили методику обследования и описания лесных участков, результаты которой могут использоваться в ходе осмотра места происшествия в целях расследования природных пожаров [155]. Соответственно, Залесов С. В., Валендик Э. Н., Софронов М. А.,

Волокитина А. В., Курбатский Н. П. рассмотрели в своих работах проблему определения механизма развития лесных пожаров. Моторыгин Ю. Д. провел описание процессов возникновения и развития пожара [104].

Основоположниками изучения вопросов расследования лесных пожаров являются Оркин А. Н., Журавлев Ю. И., Круглов Е. И. В научных работах данных исследователей отмечено, что место лесного пожара – это специфический объект исследования. Необходимо учитывать характер лесных горючих материалов на отдельных участках места пожара. Лесную территорию необходимо разбивать на участки и детально ее исследовать [87; 109].

Среди иностранных научных исследователей были изучены работы John D. DeNaap, который занимался исследованием травяных и растительных пожаров в целях определения причин и условий их возникновения. Автором было отмечено, что в отличие от пожаров в зданиях, проследить развитие растительных пожаров гораздо сложнее из-за разного рельефа местности и изменяющихся факторов окружающей среды. На распространение и интенсивность горения влияет природа топлива и содержания в нем влаги. Сформулированы основные признаки, по которым определяется направление развития горения. Исследователем отмечается, что перед определением причины пожара необходимо выявить на основе логической схемы очаг пожара, что позволит уменьшить время расследования самого пожара [199].

Среди современных исследователей изучением вопросов расследования природных пожаров занимаются Чешко И. Д., Плотников В. Г. [188, 197].

В диссертационной работе Морозова Р. О. отражены проблемы механизма слеодообразования при уничтожении или повреждении лесных насаждений. Отмечено, что расследование лесных пожаров невозможно проводить без использования инструментальных методов [103].

В диссертационных работах таких авторов, как Сысоева Т. П., Сикорова Г. А., Горбунов А. С., отражены вопросы применения различных инструментальных методов при оценке степени термических поражений

различных объектов при определении очага пожара в рамках пожарно-технической экспертизы. Очаг пожара должен определяться обязательно с учетом результатов применения инструментальных методов исследования [28; 152; 156].

Таким образом, в целях определения очага природного пожара занимает особое место этап исследования, связанный с оценкой степени термического поражения лесных насаждений. Анализ современных работ научных исследователей в этой области показал, что имеются перспективы совершенствования применения методов к оценке степени термических поражений лесных насаждений.

1.3 Анализ методологических особенностей установления очага природных пожаров

После тушения природного пожара начинается этап по его расследованию в целях выявления лиц или процессов, причастных к возникновению горения. Расследование направлено на возмещение материального ущерба, причиненного гражданам или организациям действиями виновных лиц. В целях расследования дознаватели совместно с пожарно-техническими экспертами и специалистами в области лесного хозяйства, формируя доказательственную базу, устанавливают место очага и причину возникновения природного пожара [26, 75, 81].

По расследованию природных пожаров отмечается низкий процент возбуждённых уголовных дел от общего количества проводимых доследственных проверок по сообщениям данного вида пожаров (4,3 %). Процент раскрываемости преступлений, предусмотренных ст. 261 УК РФ, является невысоким. Научные исследователи это обстоятельство связывают с отсутствием четкой методической базы в части использования специальных знаний и новых технологий в ходе расследования по уничтожению или повреждению лесной растительности, в основе которой должны лежать современные достижения в области науки и техники [40, 58, 93].

Достоверное определение причины пожара возможно только при установлении очага его возникновения. Однако выявление очага пожара часто представляет собой сложную задачу. Каждый пожар индивидуален, нет похожих друг на друга случаев. Развитие горения происходит в условиях неоднозначности и неопределенности. В результате распространения пожара происходит не просто изменение обстановки объекта, а видоизменение и уничтожение горючих материалов. Практикующие эксперты акцентируют внимание на том, что определение очага пожара является первичным звеном в процессе установления причины пожара, поскольку именно с этим местом будут связаны версии о возможном первично загоревшемся материале, об источнике зажигания и о возможном механизме их взаимодействия. Из практики экспертизы следует: чем локальнее место очага пожара, тем точнее устанавливается причина пожара [12, 13, 117].

В соответствии с нормативными документами под очагом пожара понимается место первоначального возникновения пожара [29, 36, 178]. В рамках настоящего диссертационного исследования используется такой термин, как «очаг природного пожара», который отсутствует в нормативных документах. При этом он используется исследователями в научных трудах [89, 105].

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 [77, 89].

Природные пожары относят к наиболее сложным объектам в расследовании. Это связано с огромными площадями распространения пожара,

которые невозможно полноценно исследовать на всей площади, используя только визуальные методы [45, 197].

Для установления очага природного пожара необходимы специальные знания в области физики, теплофизики, процессов горения. Требуется понимание механизмов возникновения пожара, знание видов природных пожаров и условий их перехода из одного вида в другой [184, 191].

Исследователями особо отмечается, что для определения очага природного пожара необходимы умения при выявлении и фиксации признаков направленности распространения горения, установлении фронтальной, тыловой и фланговых зон распространявшегося пожара. Установление степени уничтожения или повреждения от воздействия опасных факторов пожара лесных насаждений имеет существенное значение [46, 89, 90, 118].

Следовательно, природные пожары имеют особенность образования термических поражений на значительной по площади территории. Сложность заключается в проведении осмотра места происшествия и оценки термических поражений в границах всего участка природного пожара.

В случае пожаров на больших площадях определение признаков очага пожара может представить непосильную даже для группы экспертов задачу, поэтому не представляется возможным установить конкретное место первоначального возникновения пожара [54, 197].

В случае установления очага природного пожара речь идёт скорее о выявлении очаговой зоны, которая может занимать территорию от нескольких гектаров до десятков и даже сотен гектаров. По ряду объективных причин дознаватели не осуществляют осмотр всей площади пожара, полагаются на предоставленную лесничеством документацию. Содержащихся в них сведений недостаточно для того, чтобы сделать вывод даже об очаговой зоне [85, 109].

Повышению объективности и качества исследования способствует комплексная методика определения очага пожара с применением инструментальных методов, разработанная Ленинградским филиалом ВНИИПО.

Однако применение данной методики связано со значительными трудозатратами и может быть рекомендовано в наиболее важных случаях или при затруднениях с отысканием очага обычными методами [84, 192].

Выделяется также современное методическое пособие по экспертному исследованию природных пожаров (поджогов) антропогенного и техногенного характера, в котором представлены методологические принципы определения очага природного пожара [197].

При определении места возникновения пожара, как правило, последовательно анализируются: последствия лесного пожара (низового, верхового или подземного), условия развития горения, косвенные признаки очага пожара, результаты исследований по выявлению скрытых очаговых признаков. В ходе проведения осмотра места природного пожара выявляются очаговые признаки и признаки направленности распространения горения. Также принимаются во внимание результаты использования средств системы мониторинга и применения инструментальных методов исследования. Сравнивая степень и особенности воздействия опасных факторов пожара на различных участках лесного массива, устанавливая направление горения, с учетом особенностей рельефа местности и характеристик лесных горючих материалов, можно сделать предварительный вывод относительно очага. Решающее значение при определении очага природного пожара имеет тщательный анализ условий и особенностей развития горения [109, 151, 197].

Установление очага природного пожара проводится с использованием всего комплекса данных. Однако зачастую необходимая информация отсутствует или осложнена возможность применения инструментальных методов исследования, по которым выявляются признаки направленности распространения горения с учетом образования различной степени термических поражений лесных насаждений.

На основании действующих методических рекомендаций [9, 24, 53, 84, 97, 100, 197] в рамках настоящего диссертационного исследования разработана

сравнительная схема, отражающая алгоритмы определения очага пожара для природных пожаров и иных объектов защиты, представленная на рисунке 1.2.

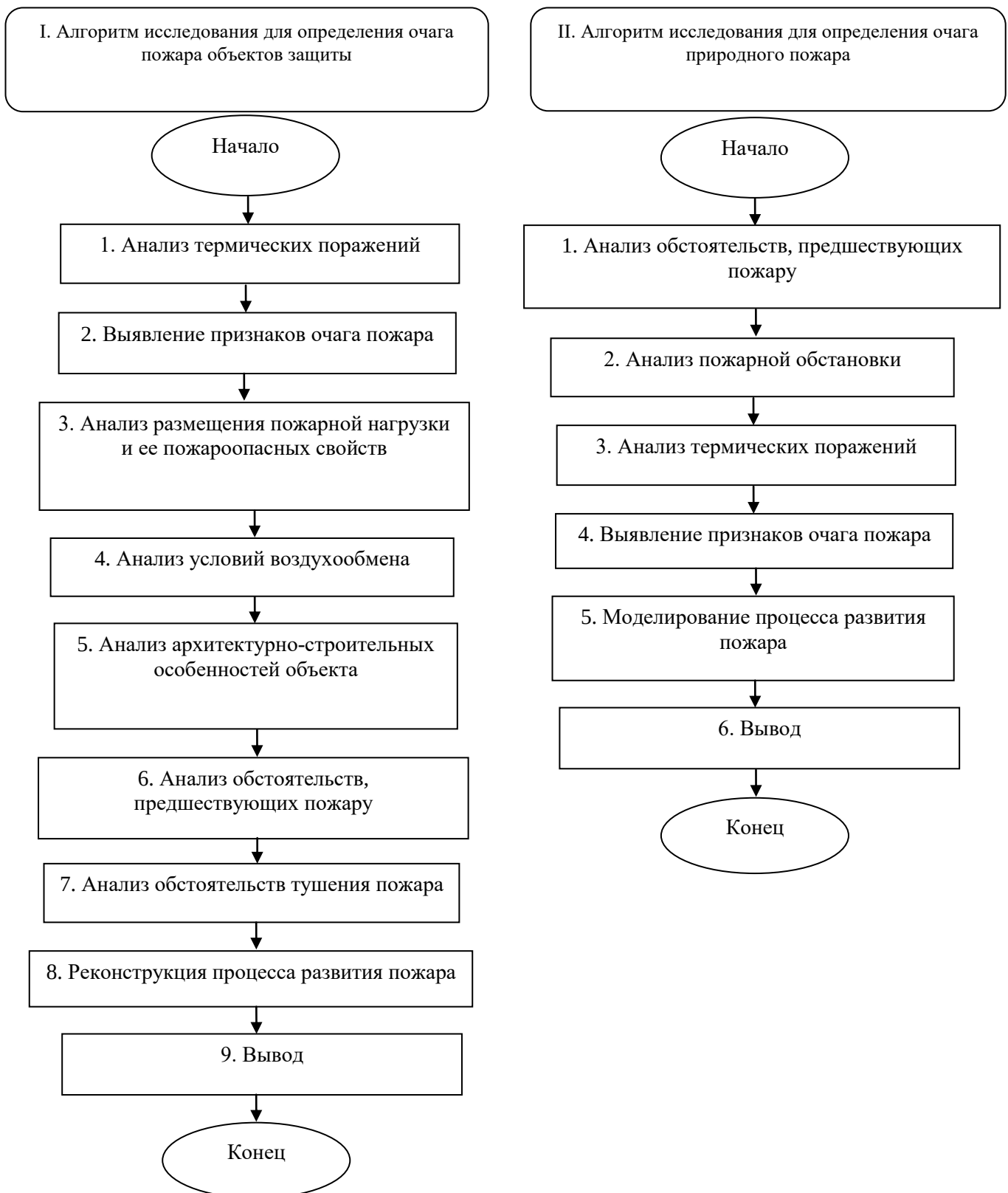


Рисунок 1.2 – Сравнительная схема с алгоритмами определения очага пожара для природных пожаров и иных объектов защиты [75]

Анализ схемы на рисунке 1.2 показывает, что в случае определения очага пожара для иных объектов защиты эксперту следует начинать исследование от изучения объективной информации, которая отражена в протоколах осмотра места происшествия, до субъективной, отраженной в объяснениях очевидцев пожара. В связи с особенностью природных пожаров эксперту для определения очага пожара первоначально необходимо выяснить общую характеристику пожара и участка местности. Затем перейти к анализу объективной информации, зафиксированной в протоколе осмотра места происшествия, по распределению термических поражений в границах участка пожара.

На основании разработанного алгоритма системы исследования для определения очага природного пожара в рамках настоящего диссертационного исследования проведено описание проведения и особенностей реализации по каждому этапу системы исследования (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Особенности проведения этапов системы исследования для определения очага природного пожара

Наименование этапа системы исследования	Описание этапа системы исследования	Средства и методы, реализующие выполнение этапа системы исследования
1	2	3
Анализ обстоятельств, предшествующих пожару	- уточнение информации по погодным условиям в районе участка пожара; - выяснение характеристик местности; - описание растительности; - определение наличия естественных преград; - уточнение класса пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды	- результаты лесотаксационного описания участка местности; - объяснения работников лесного хозяйства; - справки по метеоданным; - картографические схемы местности
Анализ пожарной обстановки	- вид пожара; - площадь пожара; - координаты участка пожара; - изменения площади в различные промежутки времени с учетом тушения пожара; - изменения скорости и направления ветра	- объяснения работников лесного хозяйства; - результаты применения комплексной системы мониторинга

Продолжение таблицы 1.3

Наименование этапа системы исследования	Описание этапа системы исследования	Средства и методы, реализующие выполнение этапа системы исследования
1	2	3
Анализ термических поражений	- оценка степени термических поражений лесных насаждений; - определение зоны (зон) с наибольшей степенью термического поражения	применение визуальных и инструментальных методов исследования
Выявление признаков очага пожара	- определение признаков очага на участке его возникновения; - определение признаков направленностей распространения горения; - выявление путей развития горения	методические приемы и правила определения места первоначального возникновения горения
Моделирование процесса развития пожара	- определение параметров развития природного пожара - проведение расчетов по определению особенностей развития горения	математические методы
Вывод	- составление формулировки по месту расположения очага природного пожара	специальные знания эксперта

С учетом анализа особенностей проведения этапов системы исследования для определения очага природного пожара обращает на себя внимание этап по получению объективной информации, связанный с проведением анализа термических поражений. Данный этап включает в себя оценку степени термических поражений лесных насаждений и определение зоны с наибольшей степенью термического поражения. Эксперт обязан исследовать все образовавшиеся термические поражения в границах участка природного пожара. При этом оценка термических поражений должна проводиться с применением визуальных и инструментальных методов исследования [75].

В целях поиска очага целесообразно использовать индикаторы направления огня. Наиболее важным подобным индикатором является степень поражения. В ходе осмотра территории природного пожара целесообразно общую площадь зонировать. С использованием данного принципа определяется более локальная зона очага пожара [105, 136].

Без реализации в полном объеме этапа, связанного с оценкой степени термических поражений лесных насаждений, невозможно определить признаки очага пожара, которые устанавливаются на следующем этапе системы исследования, и, как следствие, невозможно установить зону очага природного пожара. Соответственно, для исследования природных пожаров выделяется важный этап, включающий применение визуальных и инструментальных методов исследования, которые позволяют выявить признаки очага пожара в соответствии с принципами пожарно-технической методики. Согласно данной методике необходимо получение максимально возможных количественных характеристик, отражающих послепожарное состояние лесных насаждений [171].

Следовательно, в рамках настоящего диссертационного исследования сделан вывод, что необходима техническая возможность для оценки степени термических поражений лесных насаждений, которые позволят получить и обобщить необходимую информацию в целях определения очага природного пожара. Кроме того, необходимы программные средства, которые позволят оценить особенности распространения природного пожара.

1.4 Современные методы исследования к оценке термических поражений

Важным этапом в определении очага природного пожара является применение визуальных и инструментальных методов для исследования объектов к оценке степени термического поражения [73, 167]. С помощью методов исследования проводится изучение пожароопасных свойств и послепожарного состояния лесных насаждений. Оценивается степень термического поражения на всей территории природного пожара.

Разработаны инструментальные методики, применяемые в экспертизе пожаров. Многие из них не имеют аналогов за рубежом и представлены на уровне изобретений [48, 63, 166].

Применение инструментальных методов и специальных технических средств непосредственно на месте пожара позволяет существенно расширить возможности пожарного специалиста (эксперта) по сбору и фиксации криминалистически значимой информации, необходимой для установления очага и причины пожара, повысить ее объективность и доказательность [10, 154].

При этом метод визуального исследования применим для формирования выводов об очаге только в случае пожаров, возникших на ограниченной площади, границы которой наблюдаются в зоне видимости лиц, участвующих в осмотре. Большинство же происходящих крупных природных пожаров характеризуются тем, что горение распространяется на большие площади, в границах которой подвергаются термическому воздействию разнообразные лесные насаждения. В результате этого визуальные признаки очага пожара нивелируются, либо образуются вторичные очаги горения. Следовательно, использование только визуального метода недостаточно, необходимо применение инструментальных методов исследования для оценки степени термических поражений лесных насаждений в границах природного пожара [55, 72, 76].

Научные исследователи в области изучения пожаров подчеркивают, что общий методический подход к решению задачи выявления очаговых признаков пожара основывается на том принципе, что термическое воздействие не проходит бесследно для большинства материалов: как сгораемых, так и негораемых. В их структуре и свойствах происходят, часто невидимые глазу, изменения, которые, однако, можно зафиксировать рядом современных инструментальных методов [154].

Объектами с места природного пожара, в результате исследования которых возможно получить криминалистически значимую информацию в целях пожарно-технической экспертизы, могут явиться: фрагменты почвы, фрагменты древесины, различные емкости, фрагменты ветоши, токопроводящие жилы [103].

В рамках настоящего диссертационного исследования проведен анализ физических и физико-химических методов исследования неразрушающего

контроля, которые заложены в основу применяемой методики для установления очага пожара в рамках пожарно-технической экспертизы (таблица 1.4) [84; 193].

Таблица 1.4 – Перечень методов пожарно-технической экспертизы, применяемых для определения очага пожара

Наименование метода	Используемые приборы	Объекты исследования	Возможность применения к лесным насаждениям
1	2	3	4
Ультразвуковой метод	Дефектоскоп	Бетонные и железобетонные конструкции	Отсутствует возможность
Метод определения электросопротивления	Комплект «АКО1-01-ЭП»	Обугленные фрагменты древесины	Имеется возможность
Метод инфракрасной спектроскопии	Спектрофотометр	Обугленные фрагменты древесины	Имеется возможность, не применяется
Метод термического анализа	«Дериватограф»	Обугленные фрагменты древесины	Имеется возможность, не применяется
Элементный анализ	Прибор для микроопределения углерода и водорода	Обугленные фрагменты древесины	Имеется возможность, не применяется
Определение содержания летучих веществ	Муфельная печь, керамические тигли	Обугленные фрагменты древесины	Имеется возможность, не применяется
Флуоресцентная спектроскопия	Флуориметр	Обугленные фрагменты древесины	Имеется возможность, не применяется
Метод рентгенографического анализа	Дифрактометр рентгеновский	Образцы окарины с металлических конструкций	Отсутствует возможность
Магнитный метод	Коэрцитиметр	Холоднодеформированные металлоизделия	Отсутствует возможность
Метод пенетрации	Штангенциркуль, «Зонд-01-ЭП»	Деревянные конструкции и материалы	Имеется возможность
Метод определения электросопротивления слоя копоти	Комплект «АКО2-01-ЭП»	Слой копоти	Отсутствует возможность

Продолжение таблицы 1.4

Наименование метода	Используемые приборы	Объекты исследования	Возможность применения к лесным насаждениям
1	2	3	4
Вихретоковый метод	Вихретоковый прибор «МВП-2М»	Окалина на поверхности стальных конструкций	Отсутствует возможность
Метод инфракрасной термографии	Тепловизоры, пирометры	Теплоемкие конструкции	Отсутствует возможность

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.

1.5 Средства комплексной системы мониторинга к оценке термических поражений лесных насаждений

Мониторинг играет важную роль в контроле и анализе ситуации, связанной с природными пожарами. Получаемые данные помогают выявить пожары на ранней стадии, определить их местоположение и направление распространения [62, 70, 71].

Для слежения за природными пожарами должны применяться системы наблюдения:

- визуальное наблюдение: традиционный метод обнаружения природного пожара;
- системы мониторинга, которые стали появляться с развитием информационных технологий [64, 177, 197].

В государственном стандарте Российской Федерации отмечен термин – мониторинг лесных пожаров (лесопожарный мониторинг). Под этим термином понимается система наблюдений и контроля за пожарной опасностью в лесу по

условиям погоды, состоянием лесных горючих материалов, источниками огня и лесными пожарами с целью своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению лесных пожаров и (или) снижению ущерба от них [32, 65].

На каждой территории различных земель с лесами должна быть организована эффективная система мониторинга пожарной опасности со взаимосвязанным комплексом различных методов и средств обнаружения пожаров [66, 71, 129].

Мониторинг природного пожара должен проводиться с использованием наземных, авиационных и космических средств в целях определения скорости распространения горения, наиболее опасного направления его развития, контура и примерной площади [71, 131, 182]. Результаты применения средств различных видов системы мониторинга активно используются должностными лицами в рамках определения очага природного пожара [74].

Перечень характеристик по природному пожару, которые могут быть получены определенными видами мониторинга, представлены в таблице 1.5 [59, 60, 61, 74].

Таблица 1.5 – Перечень характеристик природного пожара, фиксируемых средствами мониторинга

Характеристика объекта пожара	Вид мониторинга природного пожара			
	спутнико- вый	авиацион- ный	видео- мониторинг	назем- ный
Тип пожара	-	+	+	+
Виды горючих материалов	-	-	+	+
Степень термических поражений на различных участках	+	+	+	+
Полная картина степени термических поражений	+	+	-	-
Погодные условия (температура воздуха, влажность, давление, скорость и направление ветра)	-	-	-	+
Направление развития горения	+	+	+	-
Рельеф местности	-	+	+	+

Продолжение таблицы 1.5.

Характеристика объекта пожара	Вид мониторинга природного пожара			
	спутнико- вый	авиацион- ный	видео- мониторинг	назем- ный
Наличие препятствий	+	+	+	+
Тактико-техническое действие по тушению пожара	-	+	+	+

Следовательно, не один из видов мониторинга не позволяет в полном объеме получить информацию об объекте природного пожара. Для этого необходимо комплексное использование всех средств и методов мониторинга [68, 69, 74].

В связи с этим, в целях оценки термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов пожара должны применяться результаты использования средств комплексной системы мониторинга. Под комплексной системой мониторинга понимается совокупность использования всех средств мониторинга природного пожара, которые позволяют отслеживать возникновение и развитие горения в реальном времени с накоплением архивной информации по нему [83, 149].

В зоне наземной охраны лесов мониторинг лесных пожаров носит локальный характер и обычно осуществляется путем патрулирования лесов. С целью повышения эффективности обнаружения природных пожаров участки лесов оборудуются системами видеонаблюдения, оснащенными дальномерами и автономной системой передачи информации [131, 150].

Системы видеомониторинга круглосуточно следят за состоянием лесов и, когда фиксируют дым, программа автоматически записывает видеофрагменты и сразу отправляет их на пульт диспетчерской службы [197].

При снижении возможностей для выполнения авиационного мониторинга ситуация отслеживается при помощи спутников. Территории, отнесенные к космическому мониторингу, делятся на два уровня. К первому уровню относятся территории, на которых возможно применение авиации для уточнения данных космического мониторинга. Ко второму уровню относятся труднодоступные

территории, отчетность по которым формируется исключительно по данным космического мониторинга [47, 131, 158].

Для установления очага природного пожара могут быть использованы спутниковые снимки, которые позволяют определить траекторию распространения пожара. Снимки, сделанные с искусственных спутников, могут показать движение потоков дыма и тепловые изображения горящей территории. Эти изображения вместе с топографическими и метеокартами района могут позволить проследить развитие горения, начиная от очага, и раскрыть механизмы распространения горения [23, 67, 197].

1.6 Выводы по главе 1

В соответствии с проведенным литературным обзором сделаны следующие выводы:

1. В России одной из актуальных проблем является уничтожение или повреждение лесных насаждений. 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.

2. В границах расположения лесных насаждений необходимо выявить очаговые признаки и признаки направленности распространения горения, установить фронтальную, тыловую и фланговые зоны распространявшегося пожара, оценить особенности рельефа местности и характеристик лесных горючих материалов. Необходимые данные по природному пожару могут быть получены с использованием средств и методов комплексной системы мониторинга.

3. 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. На данный момент имеются перспективы совершенствования применения методов к оценке степени термических поражений лесных насаждений.

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. С учетом вышеизложенного выдвигаются основные задачи диссертационного исследования:

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.

ГЛАВА 2 КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ОЦЕНКЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

2.1 Методы исследования лесных насаждений к оценке термических поражений

Анализ методов исследования неразрушающего контроля, представленный в разделе 1.4 настоящего диссертационного исследования, показал, что только часть методов может быть использована для оценки степени термического поражения лесных насаждений с целью определения очага природного пожара. При этом основными объектами для исследования будут являться обугленные фрагменты деревьев. Оценка термических поражений проводится путем применения разнообразных методов исследования, которые необходимо использовать в достаточном количестве, результаты от которых будут иметь определенную значимость и полезность для исследования по установлению очага природного пожара.

Комплект оборудования для исследования карбонизированных остатков органических материалов «АКО1-01-ЭП» и устройство дистанционного зондирования угольного слоя «Зонд-01-ЭП» применяются для определения температуры и длительности теплового воздействия на деревянные конструкции и предметы [84, 154].

Ниже представлен перечень особенностей от применения методов неразрушающего контроля, которые в настоящее время наиболее часто используются в практической деятельности пожарно-технических экспертов по исследованию природных пожаров (таблица 2.1) [193].

Таблица 2.1 – 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 термолиза	Невозможность использования при пожарах на больших площадях по причине необходимости изъятия большого количества углистых остатков для исследования в лабораторных условиях

По каждому современному методу исследования, используемому для исследования природных пожаров, имеются как положительные возможности их использования, так и отрицательные аспекты применения. Для применения методов исследования с целью определения очага природного пожара, за исключением метода пенетрации, необходимо изъятие с места пожара значительного количества проб обугленных фрагментов с поверхности деревьев и их исследование в лабораторных условиях [173, 193]. Следовательно, получение итоговых результатов для оценки степени термического поражения лесных насаждений представляет собой достаточно трудоемкий процесс, что является недостатком в применении данных методов исследования. Кроме того, не представляется возможным оценить степень термического поражения лесных насаждений сразу в ходе осмотра места пожара. Следовательно, можно заключить, что использование рассмотренных инструментальных методов исследования неразрушающего контроля по оценке термических поражений

лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов природного пожара представляет определенные ограничения.

Рассмотрим примеры пожаров, по которым проводилось пожарно-техническое исследование по оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природного пожара.

Лесной пожар был обнаружен 26.07.2019 в лесном массиве квартала 35 выдела 16 Пестяковского участкового лесничества ОГКУ «Пучежское лесничество» [165].

На участке местности произошло выгорание травяной подстилки и торфяного слоя на глубину до 40 см. В месте данного выгорания обнаружено обугливание корневой системы деревьев и стволов в нижней части. На прилегающем участке выявлено поверхностное выгорание травяной подстилки. Выделена зона горения с наибольшими термическими поражениями, которая характеризуется выгоранием торфяного слоя на глубину до 40 см (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Зона горения с наибольшими термическими поражениями [165]

Место образования наибольших термических поражений было определено визуальным методом без применения каких-либо инструментальных методов исследования. Это стало возможным благодаря сосредоточенным следам горения в локальной зоне, которые обнаружены по наибольшей степени выгорания подстилки и обугливания на стволах деревьев. Соответственно контур пожара был определен без применения каких-либо технических средств по причине возможного визуального наблюдения всей площади пожара без обхода лесного участка. В данном случае был определен очаг природного пожара.

Лесной пожар был обнаружен 10.05.2019 в лесном массиве квартала 60 выдела 19 Мостовского участкового лесничества ОГКУ «Южское лесничество» [164].

На исследование специалисту были предоставлены схемы места пожара, фототаблицы осмотра места пожара. На лесном участке образовались термические поражения в виде обугливания коры деревьев и выгорания травяной подстилки. При этом в зоне с термическими поражениями имеются два участка со следами горения, разделенные между собой проселочной дорогой шириной около одного метра. На правом участке наблюдается преимущественно выгорание травяной подстилки и кустарников равномерно по всей площади длиной около 160 метров. На левом участке установлено выгорание травяной растительности и обугливание стволов деревьев длиной около 120 метров. Кора деревьев не имеет одностороннего обугливания. В дальней части выдела относительно въезда на участок установлено равномерное одностороннее обугливание упавших стволов деревьев левого участка со стороны правого участка, где произошло выгорание преимущественно травяной подстилки. Учитывая обширность термических поражений и отсутствие односторонних повреждений, специалистом образование термических поражений квалифицировано как зона горения № 1 (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Зона горения с образованием термических поражений [164]

Место образования наибольших термических поражений визуальным методом в данном случае специалисту определить не представилось возможным, так как произошло рассредоточение следов горения на значительной территории. На стволах деревьев образовалось обугливание. Наибольшая степень обугливания была выявлена на различных участках лесной территории. Таким образом, по причине невозможности исследования значительной лесной территории с образованием термических поражений очаг природного пожара определить не представилось возможным, выделена только зона горения на обширной территории, ограниченная выделом 19 квартала 60. На месте пожара применялся инструментальный метод исследования, который заключался в измерении глубины обугливания стволов деревьев с помощью штангенциркуля (метод пенетрации). Однако по причине сосредоточения следов горения на значительной территории результаты от применения метода пенетрации также не позволили установить очаг природного пожара.

Лесной пожар был обнаружен 27.07.2014 в 57 квартале 6, 11, 12 выделах ОГКУ «Южское лесничество» [163].

Визуальным методом выявлено, что квартал 57 имеет более выраженные термические поражения в южной части по сравнению с северной. Данные повреждения характеризуются выгоранием растительных горючих материалов, а также обугливанием коры деревьев на высоту до 1 метра. В северной части данного квартала поражения огнем выражены в меньшей степени. В юго-восточной части квартала 57 были обнаружены наибольшие термические поражения. Данные поражения характеризуются выгоранием подстилки на глубину до 50 см. В юго-западной части квартала также были выявлены повреждения огнем, которые носят локальный характер, в виде глубокого выгорания торфяной подстилки на ограниченном участке, на котором стволы деревьев имеют обугливание коры на высоту до 4 метров. Для использования визуального метода по оценке термических поражений в рассматриваемом случае потребовалось достаточно длительное время для пешего обхода всей лесной территории со следами горения. Вместе с тем, очаг природного пожара выявлен не был, установлена зона горения с наибольшими термическими поражениями, расположенная в юго-западной части квартала 57. Для установления данной зоны были использованы данные по погодным условиям в день пожара, а именно направление ветра. При северо-западном ветре фронт пожара в квартале 57 развивался из юго-западной его части в юго-восточную часть. Следовательно, первоначальное горение возникло в юго-западной части квартала 57, где образовались локальные термические поражения. В дальнейшем фронт пожара под влиянием воздушных потоков распространился в восточную часть квартала. Образование наибольших термических поражений в юго-восточной части произошло в результате более благоприятных условий для горения. Распространение горения в северную часть квартала происходило по поверхности растительных горючих материалов.

Лесной пожар был обнаружен 13.08.2021 по адресу: Ивановская область, Ильинский район, Щенниковское участковое лесничество [50]. Объектом пожара является лесная подстилка из сухой травы. В результате пожара огнем повреждена древесина на корню на площади 6058 м².

Визуальным методом выявлено, что следы горения установлены в лесном массиве в виде выгорания травянистой растительности и обугливания стволов деревьев. Наибольшие термические поражения участниками осмотра места происшествия выявлены в северо-западной части участка со следами горения. По мере удаления от северо-западной части участка к юго-восточной части поражения огнем уменьшаются, что квалифицировано экспертом как признак направленности распространения горения. На месте пожара применялся инструментальный метод исследования, который заключался в измерении глубины обугливания стволов деревьев с помощью штангенциркуля (метод пенетрации). Однако по причине сосредоточения следов горения на значительной территории результаты от применения метода пенетрации также не позволили установить очаг природного пожара. Электрорезистивный метод не применялся по причине нецелесообразности использования, так как требовалось изъятие значительного количества углистых остатков для исследования в лабораторных условиях. Таким образом, очаг природного пожара также не был обнаружен. Выделена обширная зона первоначального горения, расположенная в районе нахождения выдела 23.

Лесной пожар обнаружен 18.04.2021 на лесном участке квартала 93 выдела 20, 29 Мостовского участкового лесничества ОГКУ «Южское лесничество» [51]. В результате пожара огнем повреждена лесная не покрытая лесом площадь (несомкнувшиеся лесные культуры) на площади 7,7 га.

Визуальным методом выявлено, что на лесном участке квартала 93 выдела 20, 29 имеются поражения преимущественно в виде мелких растительных остатков, трав, крупных древесных остатков, молодых поколений древесных растений, кустарников. Пожар квалифицирован низовым. По данным от

применения средств мониторинга установлены фронт, тыл и фланги зоны пожара (рисунок 2.3).

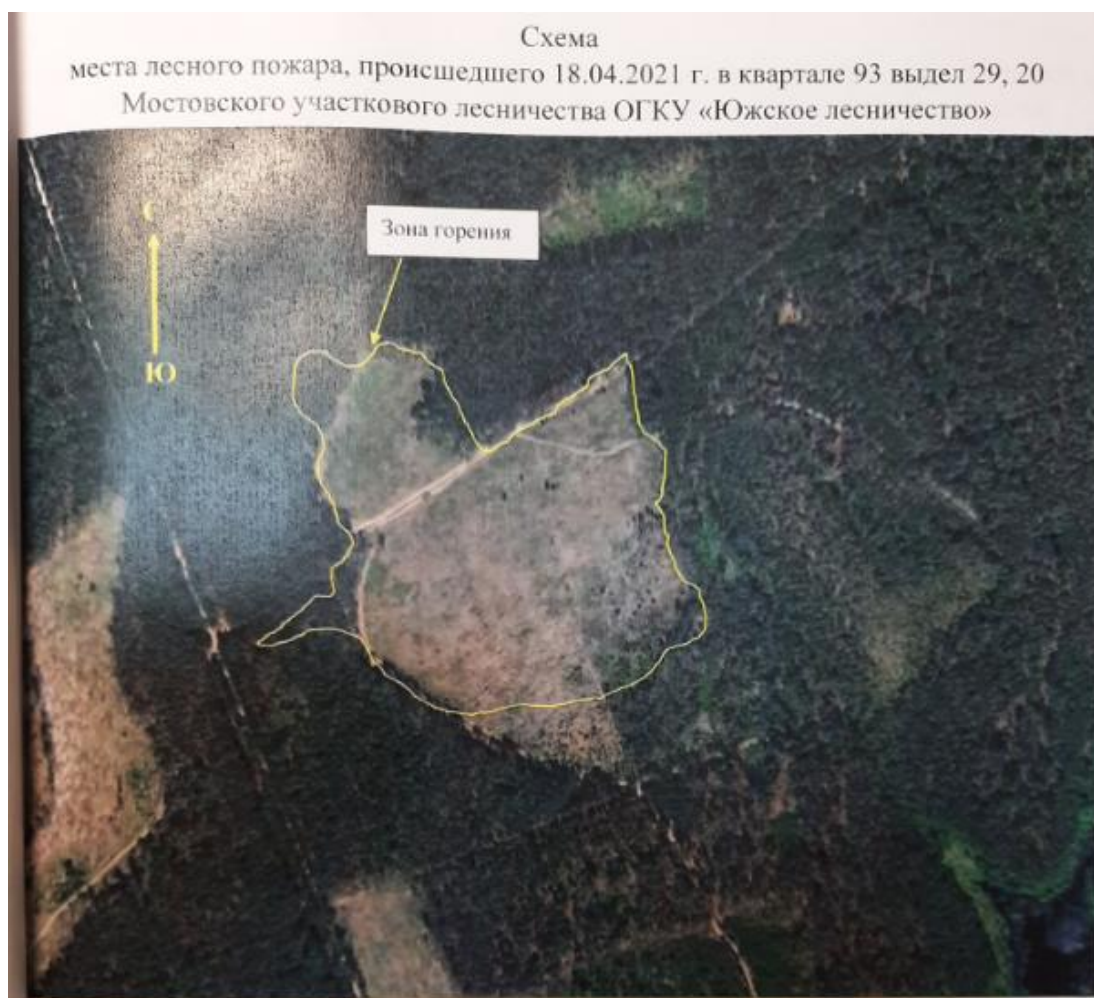


Рисунок 2.3 – Схема, полученная по результатам применения средств мониторинга [51]

Таким образом, с учетом направления ветра, результатов применения средств мониторинга и оценки степени термического поражения экспертом квалифицирована зона первоначального возникновения горения в северной части лесного участка со следами термических поражений в районе нахождения выдела 20 квартала 93. Однако данная зона имеет достаточно обширные площади, очаг природного пожара выявить не представилось возможным.

Таким образом, анализ практических примеров исследования лесных пожаров показал, что имеются трудности в установлении очага природного

пожара в случае образования следов горения на значительной территории. Для определения очага природного пожара необходимо использовать результаты применения средств мониторинга, проводить оценку степени термического поражения лесных насаждений, определять признаки направленности распространения горения, устанавливать границы кромки пожара (фронт, тыл, фланги), применять методы исследования, в том числе инструментальные непосредственно на месте пожара, а также при возможности в лабораторных условиях по исследованию изъятых объектов. В ходе проведенного анализа установлено, что использующиеся в настоящее время методы исследования неразрушающего контроля имеют ограничения в применении по установлению очага природного пожара.

Исследователями отмечается, что в настоящее время отсутствует достаточно разнообразный набор технических средств по исследованию именно объектов природного пожара, применяемых в целях упрощения получения и обработки результатов на определение признаков очага пожара [167]. Таким образом, этим обстоятельством определяется важность и значимость разработки научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов пожара в целях определения очага природного пожара. Комплексное использование современных методов исследования неразрушающего контроля с применением технических и программных средств позволит установить очаг природного пожара.

2.2 Экспериментальное исследование образцов пород деревьев при различных условиях воздействия температур

В результате развития природного пожара термическому воздействию подвергаются различные породы деревьев. В ходе оценке термических поражений лесных насаждений учитываются особенности процесса обугливания различных пород деревьев. При одинаковом тепловом воздействии разнообразные породы

деревьев могут подвергаться различной степени термического поражения, так как они обладают своими специфическими пожароопасными свойствами, связанными с различной плотностью и процентом влажности. В научных трудах исследователей отмечается, что различные породы древесины под тепловым воздействием имеют особенности в изменении своих характеристик [75].

В научной литературе отражены результаты испытаний при различных условиях температурных режимов нескольких пород деревьев (ель, сосна, береза, дуб). Так, образцы древесины испытывались под термическим воздействием в пределах от 200 до 500 °С с периодом термического воздействия 5, 15, 30, 45, 60 мин [6, 8].

Испытывались образцы сосны строганные, с продольным расположением волокон, размером 200×100×36 мм и влажностью 6–8 %, которые помещались в камеру размером 450×450×450 мм для сжигания без доступа воздуха. Для нагрева была использована радиационная панель мощностью 5 кВт, расположенная параллельно образцу, что позволяло поддерживать горение при одностороннем нагреве образца достаточно равномерным тепловым потоком (0,8–4,0 Вт/см²). На основании показаний термопар, установленных в массе образца, определяли динамику продвижения отдельных изотермических зон вглубь древесины. В ходе экспериментов получены результаты обугливания термически тонкого образца сосны при воздействии на него постоянных во времени и различных по величине тепловых потоков при «средневременной» температуре на поверхности образца до 700 °С [159].

В ряде испытаний в качестве исследуемых образцов использовалась древесина сосны, березы, кедра, лиственницы и осины. Образцы представляли собой цилиндры диаметром $1,6 \times 10^{-2}$ м и высотой 1×10^{-2} м. Для исследования влияния начальной температуры на время воспламенения высушенные образцы предварительно нагревали в сушильном шкафу около 1 часа при температуре 373 К. Анализ результатов показал, что при увеличении плотности потока излучения, время задержки зажигания опытных образцов уменьшается. Время

воспламенения древесины увеличивается по следующему ряду: кедр, лиственница, осина, сосна, береза. В результатах экспериментальных работ отмечено, что температура поверхности воспламенения мягких пород древесины на 50 градусов выше, чем твердых. Объясняется это различным строением древесины [181].

В научной литературе отмечается универсальная зависимость скорости обугливания древесины V_o (мм/мин) от интенсивности теплового потока (I , кВт/м²), которая применяется для различных пород древесины без разграничения, и выражается формулой:

$$V_o = 2,2 \cdot 10^{-2} \cdot I, \quad (2.1)$$

где V_o – скорость обугливания древесины, мм/мин;

I – интенсивность теплового потока, кВт/м² [187].

В работе Д. Драйздейла отмечено, что при температуре 1100 °С интенсивность излучения черного тела в соответствии с законом Стефана – Больцмана составляет 200 кВт/м². В этом случае скорость обугливания древесины согласно формуле (2.1) должна достигнуть 4,4 мм/мин [159].

В соответствии с [132] предел огнестойкости основных деревянных конструкций определялся с учетом обугливания их элементов, причем скорость обугливания принималась равной 0,7 мм/мин для элементов сечением 120×120 мм и более и 1 мм/мин – для элементов сечением менее 120 × 120 мм² [159].

В расчётной методике скорость обугливания древесины принимается 0,7 мм/мин. Указанное значение представляет собой усреднённую величину интенсивности обугливания преимущественно из хвойных пород древесины. Процесс обугливания может существенно зависеть от ряда факторов (порода древесины, влажность, плотность) [3, 6].

Таким образом, в научных публикациях отсутствуют единые данные по скорости обугливания различных пород деревьев. В связи с этим имеется

актуальность проведения исследований по оценки изменения состояний и определения скорости обугливания разнообразных пород деревьев при различных условиях воздействия температур.

Скорость обугливания зависит от температуры и длительности нагрева, при которой происходит пиролиз древесины. Имеются экспериментально полученные зависимости глубины обугливания от температуры и длительности нагрева. Эмпирические формулы для расчета температуры и длительности пиролиза древесины получены по результатам математической обработки большого массива экспериментальных данных, полученных сжиганием образцов древесины разных пород, толщины, при различных внешних тепловых потоках, условиях воздухообмена и других варьируемых факторах [190, 196].

При горении древесины происходит два основных процесса: пиролиз (разложение древесины при нагревании) и окисление (сжигание продуктов пиролиза). Плотность древесины оказывает влияние на скорость горения: чем плотнее древесина, тем медленнее происходит пиролиз, так как в плотной структуре материала труднее проникать теплу и газам. Более плотные древесины горят медленнее, так как в них ограничено количество воздуха для горения. Влажность древесины определяется содержанием в ней воды. Чем выше влажность древесины, тем медленнее и менее эффективно она горит. Это связано с тем, что вода в древесине поглощает значительную часть тепла, затрудняет поджигание и замедляет химические реакции горения [4, 11].

Обугливание, определяемое как образование остаточного высокоуглеродистого угля при пиролизе, обычно предполагается при температурах выше 280–300 °С. Скорость проникновения слоя угля известна как скорость обугливания. Результаты показывают, как глубина обугливания в основном изменяется во время фазы нагрева, с незначительным вкладом фазы охлаждения. Глубина обугливания, в основном, образуется во время нагрева, но также свое влияние оказывает фаза охлаждения на конечный результат обугливания. В целом, фаза нагрева составляет около 2/3 от общей эффективной

глубины угля, в то время как фаза охлаждения составляет около $1/3$. Во время фаз затухания огня и охлаждения тепло продолжает проникать внутрь древесины за счет теплопроводности [4, 200].

Соответственно, можно заключить, что современные научные исследования показывают, что на конечный результат глубины обугливания древесины влияет не только сам процесс теплового воздействия, но и процесс остывания, при котором также древесина подвергается обугливанию. Эксперту как лицу, производящему исследование последствий развития природных пожаров, приходится быть на месте пожара по истечении достаточно продолжительного времени после ликвидации горения. Эксперт проводит визуальное исследование состояния деревьев на месте пожара после того, как они полностью остыли, сформировав на поверхности выраженный слой угля. Следовательно, при исследовании процесса обугливания древесины важно учитывать как фазу нагрева, так и фазу охлаждения.

Характеристика выборки образцов разнообразных пород деревьев

В рамках настоящего диссертационного исследования для проведения эксперимента, исходя из расположения и доступности породного состава деревьев на конкретной территории Ивановской области, было выбрано 6 видов образцов пород деревьев, основные сведения по которым приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристика объектов исследования

№ объекта	Название	Принадлежность к породному составу	Диаметр, см	Длина, см
1	2	3	4	5
1	Осина	Лиственная порода	13,5	49
2	Береза	Лиственная порода	11,5	48
3	Сосна	Хвойная порода	13,0	35
4	Ель	Хвойная порода	12,0	43
5	Ольха	Лиственная порода	12,0	54
6	Липа	Лиственная порода	16	30

Объекты представляют собой участок стволов деревьев со слоем коры, имеющие с двух сторон следы спилов режущим инструментом (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Объекты выбранных пород деревьев
(ель, осина, сосна, липа, береза, ольха)

Выбранные для исследования объекты были отобраны из лесного массива и имели естественное состояние.

Гравиметрический анализ

Гравиметрия – метод количественного химического анализа, основанный на точном измерении массы искомого вещества или его составных частей. Гравиметрический (весовой) анализ считается референтным при определении влажности материалов. Весовой анализ выполнен с помощью метода выделения. Метод выделения основан на термическом или химическом удалении из предварительно взвешенного анализируемого образца всех сопутствующих веществ и получении определяемого компонента в индивидуальном состоянии [31, 92, 94, 108].

Общая выборка составила 30 образцов пород деревьев (по 5 образцов на каждый вид). Измерение времени высушивания в сушильном шкафу до постоянной массы образцов проводилось с помощью секундомера механического типа СОСпр (заводской № 7548).

Измерение массы образцов проводилось на электронных лабораторных весах ВК-600.1 (заводской № 001562), технические характеристики которых приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Технические характеристики электронных лабораторных весов ВК-600.1

Габаритные размеры платформы, мм	120
Вид весовой платформы	круглая
Наибольший предел взвешивания, г	600
Цена деления, г	0,02
Наличие ветрозащитного экрана	да
Выборка массы тары	во всем диапазоне взвешивания
Диапазон рабочих температур, °С	от +15 до +30
Масса, кг	2,1

В соответствии с требованиями весового метода от образцов было отпилено несколько фрагментов древесины, которые затем были взвешены и помещены в сушильный шкаф ШС-80-01 СПУ при температуре 100 °С на минимальное время до 5 часов. Для получения более точного результата фрагменты древесины были отобраны с поверхности противоположных частей образцов. Технические характеристики сушильного шкафа ШС-80-01 СПУ приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Технические характеристики сушильного шкафа ШС-80-01 СПУ

Заводской номер	30979
Год выпуска	2017
Технические условия	ТУ 9452-010-00141798-2005
Напряжение питания, В	220
Частота переменного тока, Гц	50
Мощность нагревательной камеры, кВт	1,6
Номинальная рабочая температура, °С	150
Наличие ветрозащитного экрана	да
Диапазон автоматического регулирования температуры, °С	40-150
Точность автоматического регулирования температуры, °С	±3
Размеры рабочей камеры (Ш×Г×В), мм	450×450×400

Отобранные фрагменты древесины с поверхности образцов предварительно были взвешены на электронных лабораторных весах, и была получена масса исходного взятого фрагмента. Далее фрагменты древесины в фарфоровом тигле помещались в сушильный шкаф. Спустя час испытаний фрагменты были вынуты и замерена их масса. После чего каждый час взвешивание было повторено до тех пор, пока значение массы не стало постоянным.

Значение абсолютной влажности рассчитано по формуле 2.2.

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

где W – значение абсолютной влажности, %;

m – масса исходного взятого фрагмента, г;

m_0 – масса высушенного фрагмента, г.

Таким образом, были получены значения абсолютной влажности образцов весовым методом. С помощью этого установлено процентное содержание влаги в образцах, по которому проведена оценка состояния образцов деревьев до проведения серии экспериментов. Результаты получения значений абсолютной влажности образцов различных пород деревьев весовым методом представлены в таблице 2.5.

В соответствии с классификацией видов древесины по влагосодержанию [31, 128] были сгруппированы образцы между собой:

– ель, ольха, липа: образцы с высоким процентном влажности, абсолютная влажность более 23 % (свежесрубленная древесина естественной влажности, значения влажности от 30 до 120 %);

– береза, осина, сосна: образцы с низким процентном влажности, абсолютная влажность 18–23 % (воздушно-сухая древесина, значение влажности 15–22 %).

Таблица 2.5 – Значения абсолютной влажности образцов пород деревьев до проведения серии экспериментов

Порода древесины	Исходная масса, г	Масса высушенного фрагмента, г	Значение влажности, %
Фрагмент ели № 1	15,0	10,1	48,5
Фрагмент ели № 2	8,2	5,4	51,8
Фрагмент ели № 3	14,5	9,8	47,9
Фрагмент ели № 4	14,6	10,3	41,7
Фрагмент ели № 5	9,3	5,9	57,6
среднее значение абсолютной влажности ели			49,5
Фрагмент березы № 1	14,3	12,3	16,2
Фрагмент березы № 2	8,1	6,9	17,3
Фрагмент березы № 3	8,6	7,3	17,8
Фрагмент березы № 4	14,1	11,8	19,4
Фрагмент березы № 5	14,9	12,9	15,5
среднее значение абсолютной влажности березы			17,2
Фрагмент сосны № 1	24,4	20,5	19,0
Фрагмент сосны № 2	20,5	17,8	15,2
Фрагмент сосны № 3	25,3	20,8	21,6
Фрагмент сосны № 4	19,5	16,6	17,5
Фрагмент сосны № 5	20,1	17,5	14,9
среднее значение абсолютной влажности сосны			17,6
Фрагмент липы № 1	5,5	4,4	25,0
Фрагмент липы № 2	5,9	4,6	28,2
Фрагмент липы № 3	5,1	4,2	21,4
Фрагмент липы № 4	6,3	4,8	31,2
Фрагмент липы № 5	5,6	4,3	30,2
среднее значение абсолютной влажности липы			27,2
Фрагмент ольхи № 1	25,1	16,0	56,8
Фрагмент ольхи № 2	28,4	18,5	53,5
Фрагмент ольхи № 3	24,4	15,6	56,4
Фрагмент ольхи № 4	26,3	17,3	52,0
Фрагмент ольхи № 5	29,3	19,4	51,0
среднее значение абсолютной влажности ольхи			53,9
Фрагмент осины № 1	9,9	8,4	17,8
Фрагмент осины № 2	5,9	4,9	20,4
Фрагмент осины № 3	10,4	8,4	23,8
Фрагмент осины № 4	5,5	4,5	22,2
Фрагмент осины № 5	5,4	4,4	22,7
среднее значение абсолютной влажности осины			21,5

Испытания объектов выбранных пород деревьев пламенем газовой горелки

Испытания проводились на открытой территории в дневное время с переменной облачностью. Источник пламени на жидком бутановом газе воздействовал на поверхность объекта на площади около 4 см². Расстояние от источника пламени до объекта около 6 см. Пламя воздействовало на нижнюю часть объектов. Испытания по воздействию пламени на поверхность объектов продолжались до 25 минут, после чего образцы выдерживались на открытом воздухе в течение времени до 20 минут с целью остывания. Измерение времени процесса испытаний проводилось с помощью секундомера механического типа СОСпр (заводской № 7548). Условия проведения испытаний представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Характеристики условий проведения испытаний

Условия испытания	Значения условий испытания
Температура окружающего воздуха	21–23 °С
Давление	759 мм.рт.ст.
Влажность воздуха	55–64 %,
Скорость ветра	3,8–5,1 м/с
Порывы ветра	7,7–8,7 м/с
Температура газовой горелки	до 1300 °С
Номинальная тепловая мощность газовой горелки	4,5 кВт

Оценка результатов воздействия пламени на поверхность объектов проводилась с использованием визуального метода [33, 101]. Особенности поведения образцов в ходе проведения огневых испытаний представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Результаты проведения огневых испытаний с объектами различных пород деревьев

Объект породы дерева	Особенности поведения объекта при испытании
1	2
Осина	5 минута: наблюдается видимое распространение пламени по поверхности в высоту 9 минута: образование ярко-выраженного прогара с выпадением слоя угля 21 минута: потемнение поверхности на всю высоту угля
Береза	1 минута: пламенное загорание коры от очага вверх 4 минута: потемнение поверхности вверх на всю высоту 10 минута: образование ярко-выраженного прогара
Сосна	1 минута: пламенное загорание коры от очага вверх 5 минута: обугливание и потемнение поверхности вверх на всю высоту 15 минута: образование ярко-выраженного прогара
Ель	1 минута: пробежка пламени по поверхности 10 минута: образование сквозного прогара
Ольха	12 минута: потемнение поверхности на всю высоту образца 22 минута: образование ярко-выраженного прогара
Липа	6 минута: потемнение на всю высоту 12 минута: образование ярко-выраженного прогара происходило тление образца в течение 15 минут после испытаний

В процессе воздействия пламени на поверхности объектов наблюдались следующие признаки термического поражения: пламенное горение поверхностного слоя; распространение пламени по поверхности; образование выгорания поверхности и обугливание вглубь (рисунок 2.5).

В ходе испытаний наблюдалось распространение горения по поверхности и внутрь образцов, результатом чего являлось их обугливание и выгорание поверхностного слоя. Происходило обугливание образцов как хвойных, так и лиственных пород деревьев, что в конечном итоге сопровождалось образованием выгорания поверхностного слоя.

В ходе испытаний также было отмечено, что непосредственно после пламенного воздействия на поверхности образцов был образован угольный слой, который впоследствии видоизменялся в ходе остывания объекта. В результате этого контуры обугливания были более выражены и визуально более ярко заметны. Также визуально степень обугливания становилась значительно больше.



Рисунок 2.5 – Объекты выбранных пород деревьев
после испытаний пламенем газовой горелки
(сосна, липа, ольха, береза, осина, ель)

С учетом выбранных образцов для испытаний стоит заметить, что для каждой породы дерева были отмечены свои особенности теплового воздействия, отличающиеся от других. Часть образцов имела воспламенение поверхности в начале испытаний, с дальнейшим более длительным распространением по поверхности. Некоторые образцы имели большее распространение горения вглубь, чем по поверхности. Соответственно выявлено, что каждая порода дерева имела свои отличительные особенности поведения под воздействием пламени. В результате этого образцы выбранных пород деревьев имели различную степень термического поражения, выявленную по обугливанию визуальным методом.

На всех образцах были установлены визуальные признаки образования ярко выраженного прогара на поверхности. Зафиксировано поверхностное обугливание поверхности образцов конвективными потоками над местом воздействия источника пламени. У всех образцов в первоначальный момент испытания происходило воспламенение слоя коры с дальнейшим его выгоранием.

По результатам огневых испытаний проводились геометрические измерения степени обугливания по поверхности и внутрь образцов при помощи штангенциркуля ШЦ- I (зав. № 080721561), а также с помощью рулетки измерительной «ЭНКОР» (зав. № 14). Технические характеристики штангенциркуля ШЦ-1 приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики штангенциркуля ШЦ-1

Диапазон измерений, мм	0–125
Цена деления, мм	0,1
Класс точности	1
Погрешность	от $\pm 0,03$ до $\pm 0,05$

Количественная оценка степени термического поражения образцов различных пород деревьев по результатам огневых испытаний представлена в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Количественная оценка степени термического поражения объектов по результатам испытаний пламенем газовой горелки

Количественный показатель	Объекты породы дерева					
	осина	береза	сосна	ель	ольха	липа
Образование прогара, мин	9	10	15	10	22	12
Потемнение поверхности на всю высоту от очага, мин	21	4	5	-	12	6
Длина обугливания, см	18	13	16	16	9	12
Длина выгорания, см	2	8	9	4	2	8

Длина обугливания и площадь выгорания поверхности составила различное значение для образцов. Наибольшая глубина обугливания отразилась в месте воздействия источника пламени. Глубина обугливания по периферии зоны выгорания установлена в меньшей степени. При этом на некоторых образцах это значение отличалось в несколько раз.

Таким образом, по результатам испытаний установлено, что в ходе воздействия пламени образцы пород деревьев обугливались и происходило выгорание поверхностного слоя в зоне воздействия источника пламени. Количественные параметры термических поражений у образцов отличались друг от друга.

По визуальным признакам зоной наибольшего теплового воздействия являлась зона выгорания поверхностного слоя, где образовался мелкочаеистый уголь с крупными трещинами. Штангенциркулем установлена зона с наибольшей степенью глубины обугливания в месте воздействия пламени газовой горелки. При этом глубина обугливания в зоне воздействия оказалась в два раза больше, чем на кромке зоны выгорания поверхностного слоя угля.

Таким образом, по результатам испытаний делается вывод, что сравнивать степень термического поражения, даже в условиях одинакового теплового воздействия, между различными породами деревьев нецелесообразно. Условия горения зависят от влажности и плотности конкретной породы дерева. Испытания показали, что различные породы деревьев при одинаковом тепловом воздействии имеют различную степень обугливания и выгорания поверхностного слоя.

Следовательно, в рамках оценки степени термического поражения корректно сравнивать между собой только схожие породы деревьев в одинаковом состоянии. Сделанный вывод по результатам испытаний соответствует общим методическим принципам пожарно-технической экспертизы, в которых отмечено, что в ходе исследования необходимо сравнивать между собой только схожие по своим свойствам объекты [193].

Методика испытаний для образцов разнообразных пород деревьев на оценку степени термического поражения

Современный межгосударственный стандарт регламентирует общие требования к методам испытаний строительных конструкций и элементов инженерных систем на огнестойкость при стандартных условиях теплового воздействия. Он применяется для установления пределов огнестойкости [98].

В рамках настоящего диссертационного исследования разработана методика испытаний для образцов разнообразных пород деревьев при различных условиях воздействия температур в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений. Методика испытаний позволяет оценить степень термолиза 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 [145-147].

Огневые испытания

При проведении испытаний проводилось экспериментальное исследование воздействия открытого пламени на поверхности образцов различных пород деревьев. Целью испытаний является проведение сравнительного анализа степени термического поражения различных пород деревьев при одинаковом огневом воздействии от пламени источника огня при температуре 1100 °С.

Смоделирована экспериментальная установка, в которой размещался источник пламени (газовая горелка) и создавались условия аккумуляции тепла. Образцы деревьев закреплялись на штативе. Пламя газовой горелки обеспечивало воздействие на образцы деревьев в условиях, схожих с воздействием лучистых тепловых потоков фронта природного пожара. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2.6.

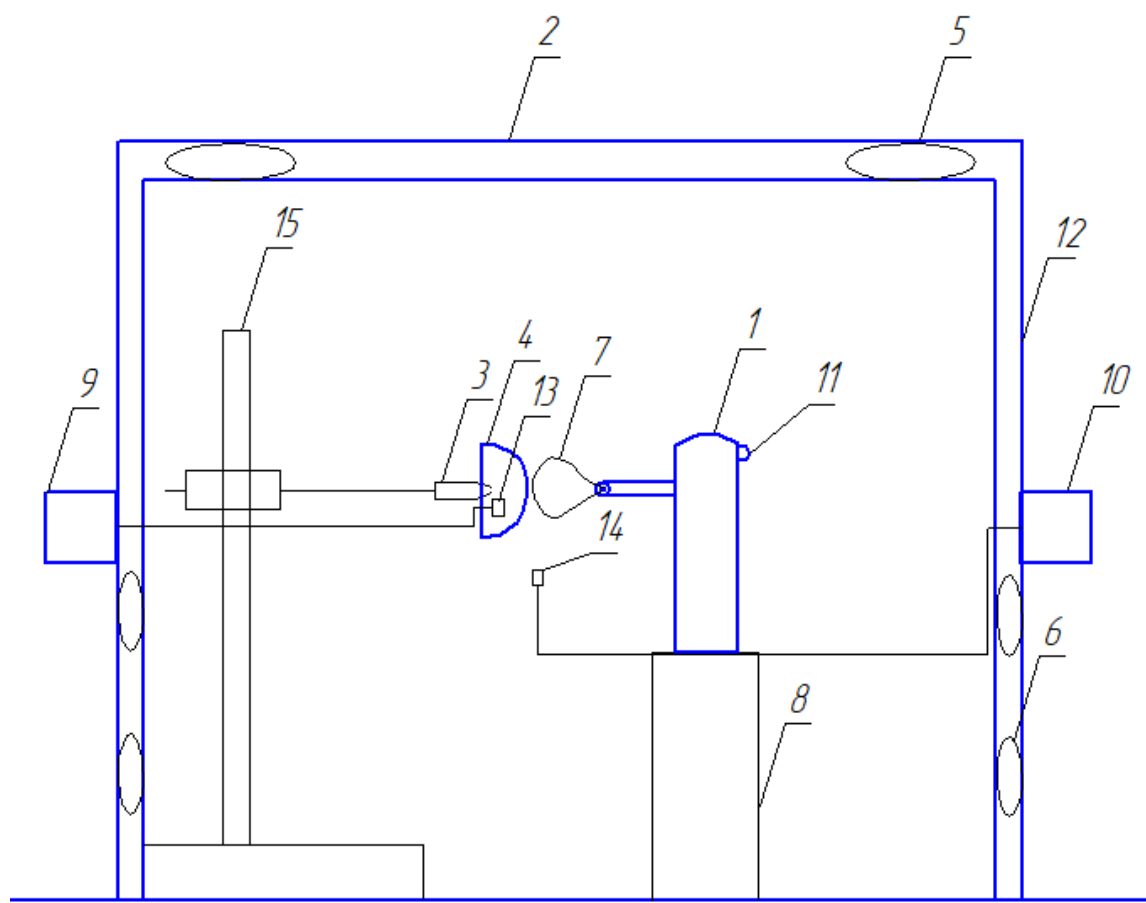


Рисунок 2.6 – Схема экспериментальной установки.

Обозначения: 1 – газовая горелка; 2 – крышка; 3 – держатель образца;
 4 – образец; 5 – отверстие для вытяжки; 6 – отверстие для доступа кислорода;
 7 – пламя горелки; 8 – подставка; 9 – регистратор температуры внутри образца;
 10 – регистратор температуры внутри установки; 11 – регулятор давления газа;
 12 – стенка; 13 – термопара внутри образца; 14 – термопара внутри установки;
 15 – штатив

Испытания в муфельной печи

Тепловое воздействие осуществлялось с помощью использования муфельной печи при температурах 300 °С, 500 °С, 700 °С, 900 °С. Постоянный температурный режим муфельной печи обеспечивал воздействие на образцы в условиях, схожих с воздействием конвективных тепловых потоков природного пожара.

Муфельная печь разогревалась до поддержания соответствующей постоянной температуры. Образцы помещались внутрь середины муфельной печи, закрывалась дверь, и выдерживалось время испытаний до 10 минут (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Расположение образцов в ходе испытаний в муфельной печи

После теплового воздействия внутри муфельной печи образцы охлаждались на открытом воздухе в течение времени до 20 минут. Технические характеристики печи муфельной ПМ-14М приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Технические характеристики печи муфельной ПМ-14М

Технические условия	ТУ 3442-012-31052367-2004
Терморегулятор	РТ-1250Т
Тип термопары	ТХА
Напряжение питания, В	220
Частота переменного тока, Гц	50
Мощность нагревательной камеры, кВт	4,0
Диапазон рабочей температуры, °С	150-1200
Объем камеры, л	12,5
Габариты камеры (Ш×В×Г), мм	220×220×300

Описание подготовки образцов

От подготовленных для испытаний объектов в виде участков стволов деревьев со слоем коры отрезаны участки цилиндрической формы толщиной до 60 мм, которые распилены пополам. Образцы с одной стороны имели естественное состояние со слоем коры, схожее с участком ствола дерева (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Образцы различных пород деревьев, подготовленные для проведения испытаний. Слева-направо: береза, осина, сосна, липа, ольха, ель

Для первой серии применения метода испытаний подготовлено 30 (тридцать) образцов, по 5 (пять) образцов на каждую породу дерева. Первые четыре образца подвергались тепловому воздействию в муфельной печи, пятый образец подвергался огневому воздействию пламенем газовой горелки. Всего было проведено десять серий испытаний с общим количеством 300 (триста) образцов. Характеристика образцов для первой серии испытаний в муфельной печи представлена в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Характеристика образцов для первой серии испытаний в муфельной печи

Порода дерева	№ образца	Влажность, %	Плотность, кг/м ³	Длина образца, мм	Высота образца, мм	Толщина образца, мм
Береза	1	17	620	110	56	49
	2			110	59	49
	3			110	58	58
	4			114	55	58
Осина	1	22	520	115	58	53
	2			118	70	53
	3			123	67	57
	4			123	70	56
Сосна	1	18	540	129	58	49
	2			125	62	54
	3			127	75	50
	4			126	65	50
Липа	1	27	510	150	78	59
	2			145	76	52
	3			150	80	59
	4			156	80	52
Ольха	1	54	640	125	60	45
	2			120	72	49
	3			128	70	41
	4			123	70	50
Ель	1	50	460	119	60	43
	2			125	56	39
	3			125	60	39
	4			125	64	56

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. Общее количество измерений глубины обугливания (глубины переугливания и глубины выгорания) на каждом образце составило 10 (десять) раз. Обработка полученных результатов с определением среднего арифметического значения глубины обугливания проводилась с использованием критерия Шовене. По окончании проведения всех десяти серий испытаний определялось среднее арифметическое значение скорости обугливания для каждой породы дерева по всем температурным режимам. Также определялось

среднеквадратичное отклонение среднего результата измерений скорости обугливания.

Статистический метод

Среднее арифметическое значение глубины обугливания и скорости обугливания проводилось по формуле 2.3:

$$x = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n, \quad (2.3)$$

где x – среднее арифметическое значение;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – отдельные числа в наборе;

n – количество чисел в наборе [116, 130].

Среднеквадратичное отклонение среднего результата измерений скорости обугливания проводилось по формуле 2.4:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - x)^2 + (x_2 - x)^2 + \dots + (x_n - x)^2}{n \times (n - 1)}}, \quad (2.4)$$

где S – среднеквадратичное отклонение среднего результата измерений скорости обугливания, мм/мин;

x – среднее арифметическое значение скорости обугливания, мм/мин;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ – отдельные значения скорости обугливания, мм/мин;

n – количество измерений скорости обугливания [116, 130].

Критерий Шовене – это статистический метод для выявления промахов (аномальных значений) в выборке. Критерий формулируется следующим образом: из ряда отсчётов выбирается аномальный результат. Вычисляется модуль его отклонения от среднего значения, полученного с учётом всех результатов измерений, в долях выборочного среднего квадратичного отклонения отдельных результатов. Затем определяется вероятность этого отклонения и ожидаемое число измерений, которые дадут результаты с отклонением не

меньшим, чем исследуемое значение. Если полученное значение количества измерений меньше 0,5, а при округлении до целого равно 0, то исследуемый результат считается промахом [94].

Проведение исследований с использованием критерия Шовене позволяет более точно определять значение истинной глубины обугливания на деревянных конструкциях, так как при его использовании исключается наиболее отклоняющееся значение из имеющихся на исследуемом участке. Данное обстоятельство способствует более объективному определению очага пожара, что важно для решения одной из задач пожарно-технической экспертизы [95].

По критерию Шовене стандартное отклонение S при измерении глубины обугливания определяется по формуле 2.5:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (2.5)$$

где X_i – полученные значения глубины обугливания, мм;

$\bar{X}$ – среднее арифметическое значение глубины обугливания, мм;

n – количество измерений глубины обугливания.

Результаты применения методики испытаний для образцов разнообразных пород деревьев на оценку степени термического поражения

Целью проведения испытаний является изучение особенностей процесса обугливания, определение скорости обугливания образцов пород деревьев в условиях различных температурных режимов огневого и теплового воздействия. В сравнительном анализе по результатам проведения испытаний участвуют образцы одной породы дерева, которые отобраны от одного участка ствола с одинаковым процентом влажности и схожей плотностью. В итоговых таблицах представлены средние арифметические значения глубины обугливания по результатам исследования всех образцов. Результаты исследования отражают особенности последствий термического воздействия на образцы выбранных

пород деревьев при различных температурных режимах. Результаты исследования образцов пород деревьев представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Результаты применения методики испытаний для образцов разнообразных пород деревьев

Порода дерева	№ образца	Температура испытания, °С	Глубина переугливания, мм	Глубина выгорания, мм	Глубина обугливания, мм	Скорость обугливания, мм/мин
1	2	3	4	5	6	7
береза	1	300	7,2	1,6	8,8	0,88
	2	500	7,1	4,4	11,5	1,15
	3	700	4,4	9,7	14,1	1,41
	4	900	5,2	11,3	16,5	1,65
	5	1100	6,4	11,8	18,2	1,82
осина	1	300	7,5	0	7,5	0,75
	2	500	7,6	1,2	8,8	0,88
	3	700	11,4	2,5	13,9	1,39
	4	900	12,3	2,1	14,4	1,44
	5	1100	10,7	5,5	16,2	1,62
сосна	1	300	6,5	2,4	8,9	0,89
	2	500	9,7	3,8	13,5	1,35
	3	700	9,5	7,4	16,9	1,69
	4	900	10,8	7,9	18,7	1,87
	5	1100	11,6	8,7	19,3	1,93
липа	1	300	6,1	2,3	8,4	0,84
	2	500	7,9	3,2	11,1	1,11
	3	700	10,4	4,2	14,6	1,46
	4	900	11,8	4,7	16,5	1,65
	5	1100	12,5	5,4	17,9	1,79
ольха	1	300	7,5	0	7,5	0,75
	2	500	8,1	0	8,1	0,81
	3	700	10,1	2,3	12,4	1,24
	4	900	11,4	3,1	14,4	1,44
	5	1100	11,4	4,3	15,7	1,57
ель	1	300	6,5	3,2	9,7	0,97
	2	500	8,6	4,3	12,9	1,29
	3	700	10,1	4,9	15,0	1,50
	4	900	10,5	8,1	18,6	1,86
	5	1100	11,6	8,6	20,2	2,02

По результатам проведенных испытаний установлено, что для образцов различных пород деревьев получены различные значения скорости обугливания. Установлено, что для образцов хвойных пород скорость обугливания оказалась достаточно большой для всех режимов испытаний. Результаты показали, что условия огневых испытаний имеют более значительное влияние на процесс обугливания образцов пород деревьев, характер и свойства образующегося угольного слоя при горении по сравнению с испытаниями в муфельной печи.

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 2.13.

Таблица 2.13 – Результаты среднего арифметического значения и среднее квадратичное 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

Продолжение таблицы 2.13

сос- на	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
оль- ха	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

Наибольшая скорость обугливания получена для образцов с наименьшими значениями влажности и плотности, а именно сосны и ели, которые являются хвойными породами. Из лиственных пород наибольшая скорость обугливания получена для образцов березы и липы, которые имели наименьшие значения влажности и плотности по сравнению с другими образцами лиственных пород.

С увеличением температуры воздействия толщина угля и скорость обугливания последовательно увеличивались для всех образцов. Значения среднеквадратичного отклонения среднего результата измерений скорости обугливания характеризуют разброс значений, который оказался практически одинаковым для всех пород деревьев при различных температурных режимах.

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 [94]. Получена линейная

зависимость среднего арифметического значения скорости обугливания от температуры. Аппроксимация скорости обугливания от температуры для различных пород деревьев представлена на рисунках 2.9–2.14.

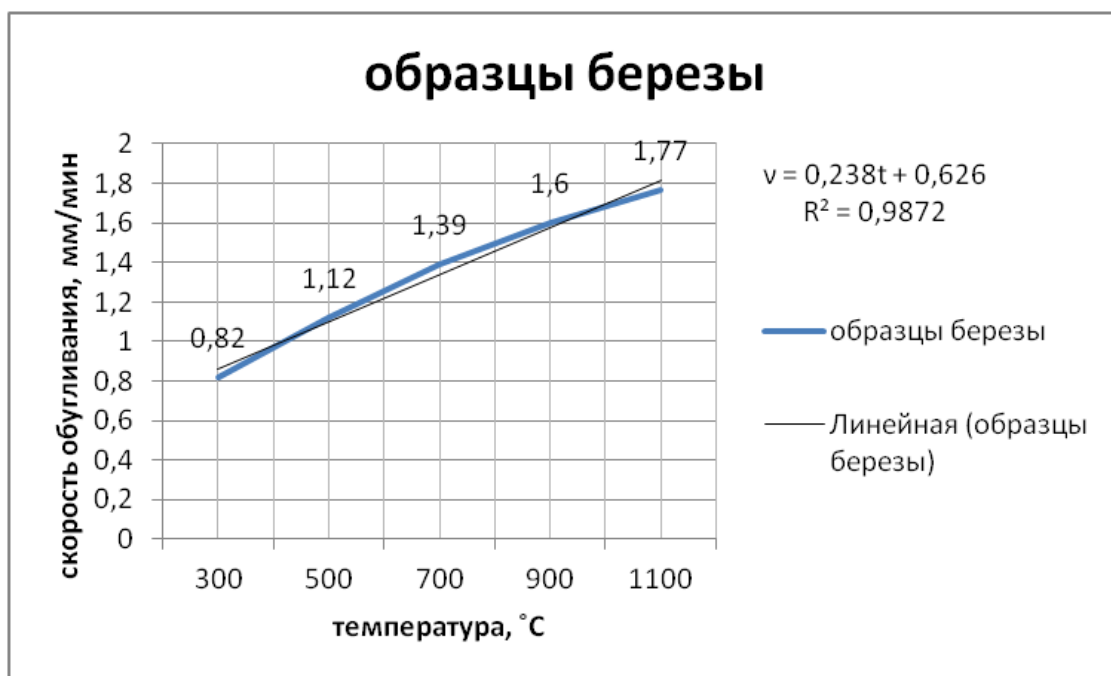


Рисунок 2.9 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов березы

Уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов березы, имеет вид:

$$v = 0,238 \times t + 0,626, \quad (2.6)$$

где v – скорость обугливания образцов березы, мм/мин;

t – температура, °C.

Для зависимости величины скорости обугливания от температуры образцов березы коэффициент детерминации составляет $R^2=0,9872$ (величина достоверности аппроксимации 0,98). Погрешность аппроксимации данной зависимости составляет не более 2 %.

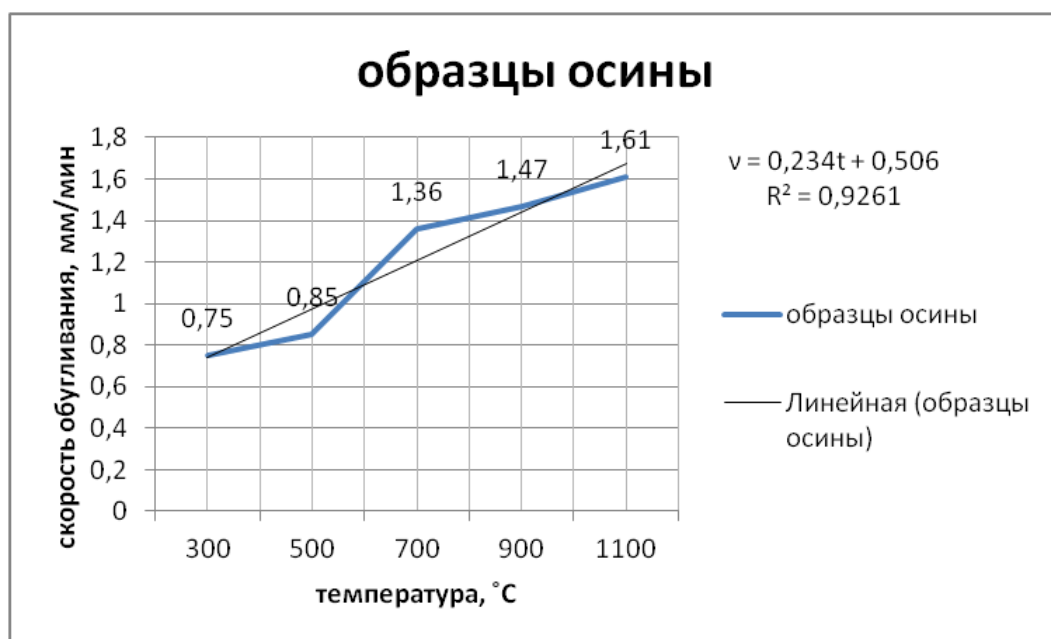


Рисунок 2.10 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов осины

Уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов осины, имеет вид:

$$v = 0,234 \times t + 0,506, \quad (2.7)$$

где v – скорость обугливания образцов осины, мм/мин;

t – температура, °C.

Для зависимости величины скорости обугливания от температуры образцов осины коэффициент детерминации составляет $R^2=0,9261$ (величина достоверности аппроксимации 0,92). Погрешность аппроксимации данной зависимости составляет не более 1 %.

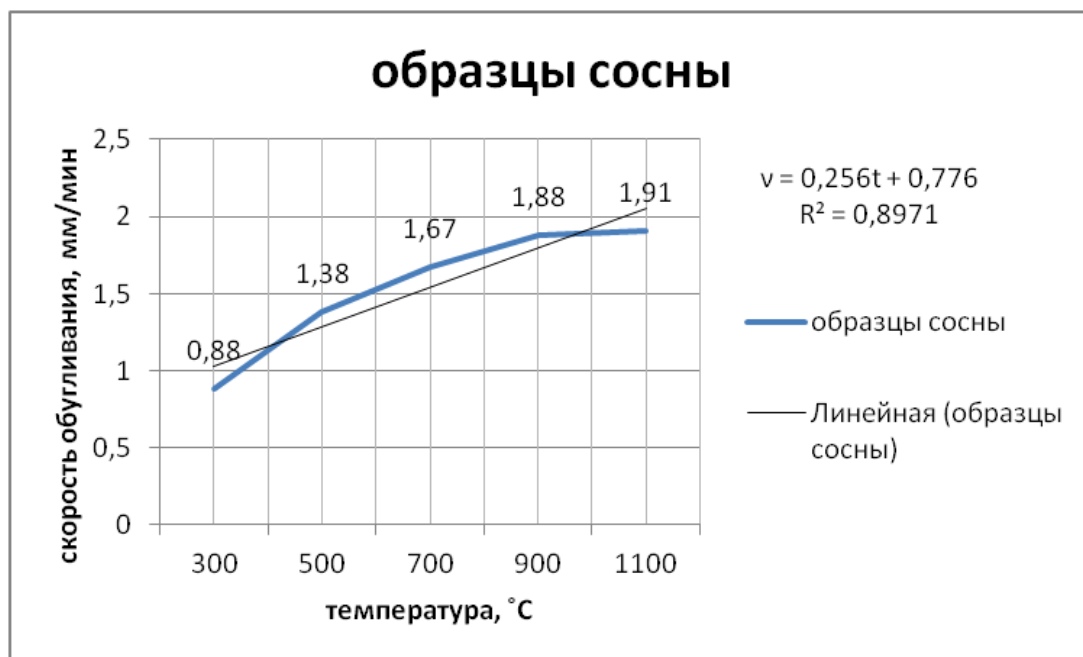


Рисунок 2.11 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов сосны

Уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов сосны, имеет вид:

$$v = 0,256 \times t + 0,776, \quad (2.8)$$

где v – скорость обугливания образцов сосны, мм/мин;

t – температура, °C.

Для зависимости величины скорости обугливания от температуры образцов сосны коэффициент детерминации составляет $R^2=0,8971$ (величина достоверности аппроксимации 0,89). Погрешность аппроксимации данной зависимости составляет не более 2 %.

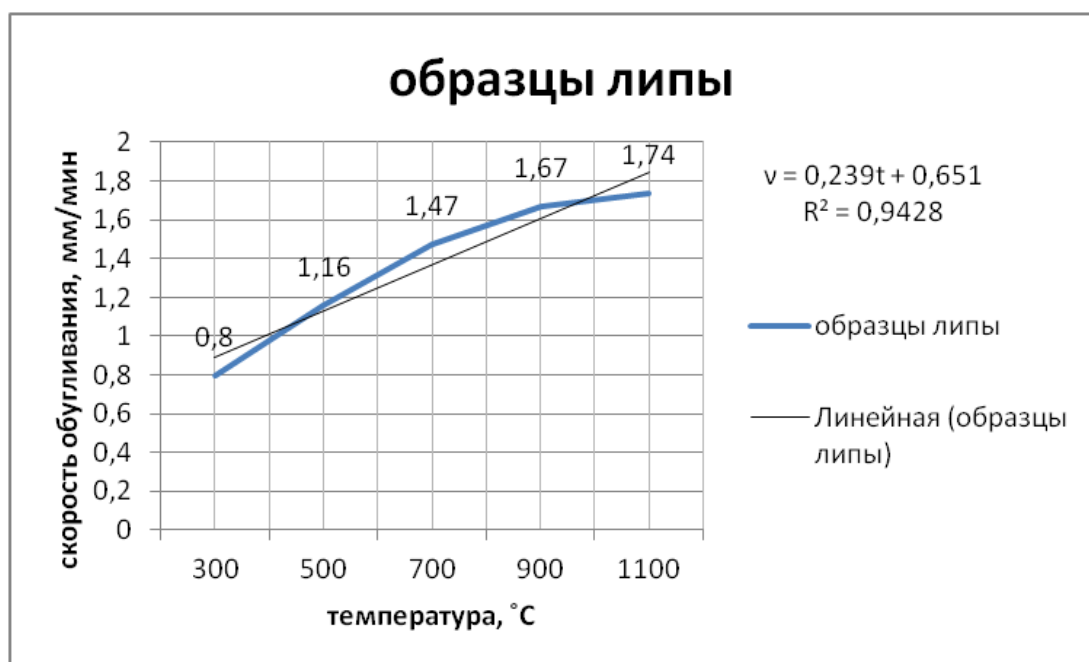


Рисунок 2.12 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов липы

Уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов липы, имеет вид:

$$v = 0,239 \times t + 0,651, \quad (2.9)$$

где v – скорость обугливания образцов липы, мм/мин;

t – температура, °C.

Для зависимости величины скорости обугливания от температуры образцов липы коэффициент детерминации составляет $R^2=0,9428$ (величина достоверности аппроксимации 0,94). Погрешность аппроксимации данной зависимости составляет не более 1 %.

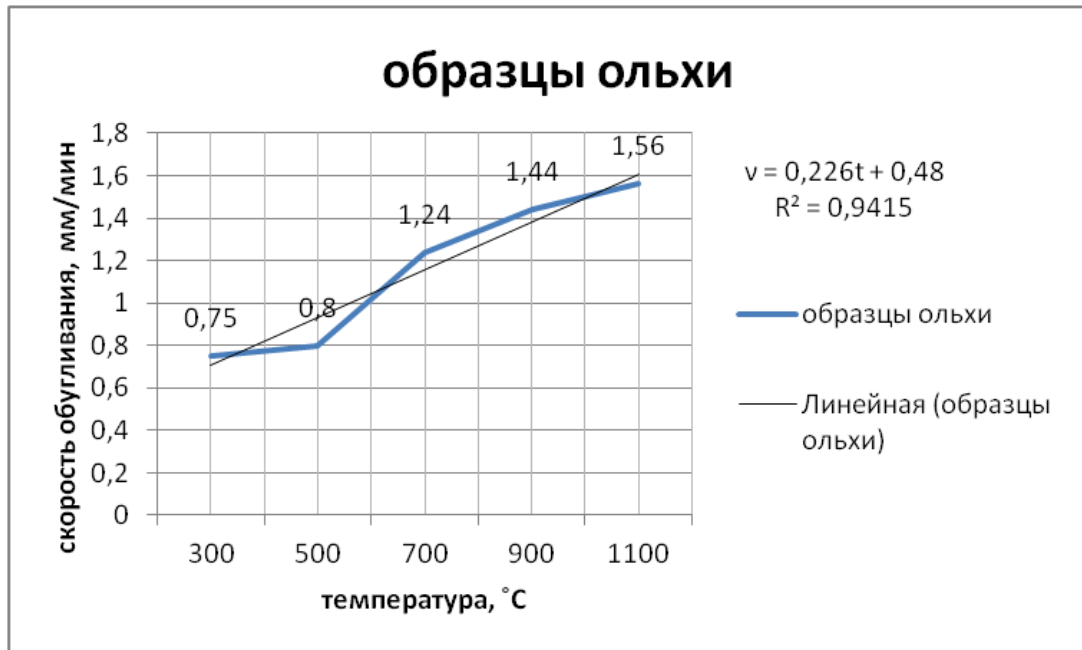


Рисунок 2.13 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов ольхи

Уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов ольхи, имеет вид:

$$v = 0,226 \times t + 0,48, \quad (2.10)$$

где v – скорость обугливания образцов ольхи, мм/мин;

t – температура, °C.

Для зависимости величины скорости обугливания от температуры образцов ольхи коэффициент детерминации составляет $R^2=0,9415$ (величина достоверности аппроксимации 0,94). Погрешность аппроксимации данной зависимости составляет не более 1 %.

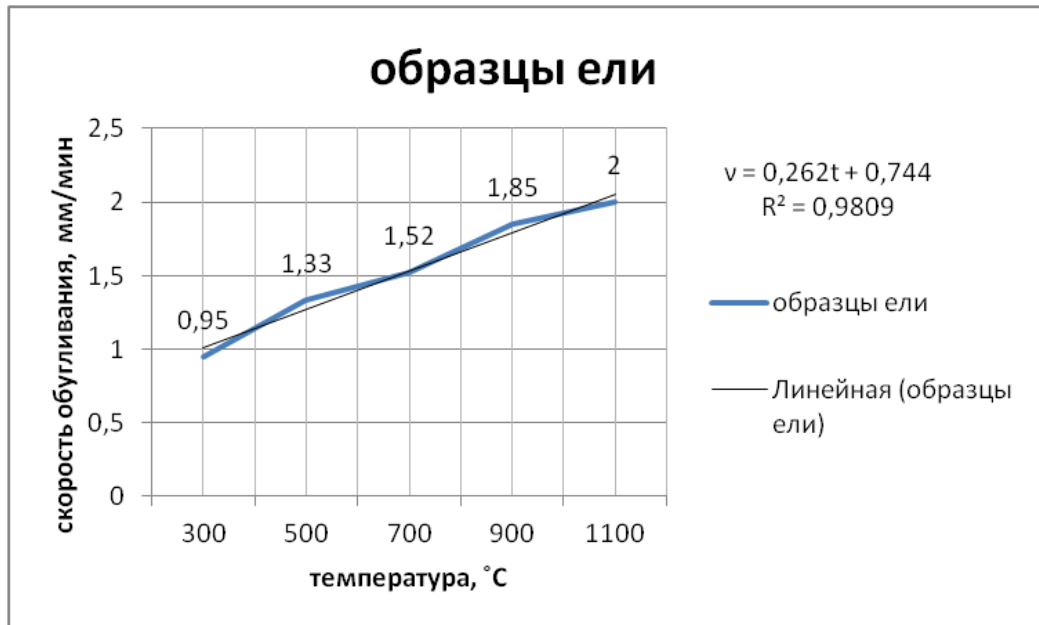


Рисунок 2.14 – Зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов ели

Уравнение аппроксимации, отражающей зависимость величины скорости обугливания от температуры для образцов ели, имеет вид:

$$v = 0,262 \times t + 0,744, \quad (2.11)$$

где v – скорость обугливания образцов ели, мм/мин;

t – температура, °C.

Для зависимости величины скорости обугливания от температуры образцов ели коэффициент детерминации составляет $R^2=0,9809$ (величина достоверности аппроксимации 0,98). Погрешность аппроксимации данной зависимости составляет не более 1 %.

С учетом полученных результатов погрешности аппроксимации можно сделать вывод, что приведенные зависимости изменения скорости обугливания от температуры образцов различных пород деревьев можно использовать при проведении оценки степени термического поражения. Полученные для различных

пород деревьев линейные зависимости изменения величины скорости обугливания от температуры воздействия позволяют проводить оценку динамики обугливания деревьев при различных режимах воздействия.

Таким образом, в ходе испытаний проведен сравнительный анализ изменения скорости обугливания для разнообразных пород деревьев в различных режимах воздействия температур. В итоге установлены значения параметра скорости обугливания образцов различных пород деревьев, которые можно использовать при проведении оценки степени термического поражения. Получен вывод, что увеличение скорости обугливания для различных пород деревьев связано с увеличением температуры воздействия.

Применение методики испытаний на оценку степени термического поражения различных пород деревьев с комплексным использованием методов исследования неразрушающего контроля

Целью проведения испытаний является сравнительная оценка термических поражений образцов различных пород деревьев в условиях огневого воздействия с комплексным использованием методов исследования неразрушающего контроля. В сравнительном анализе по результатам проведения испытаний участвуют образцы одной породы дерева, которые отобраны от одного участка ствола с одинаковым процентом влажности и схожей плотностью. По результатам испытаний применялись следующие методы исследования: визуальный метод; метод пенетрации; электрорезистивный метод [49, 101, 193]. Обработка полученных экспериментальных результатов проводилась с использованием статистического метода.

Метод пенетрации

Измерение глубины обугливания древесины проводится методом пенетрации (протыкания). В точке измерения следует определить толщину собственно угольного слоя и величину потери сечения конструкции [193].

Глубина обугливания рассчитывается как сумма этих двух величин (рисунок 2.15).

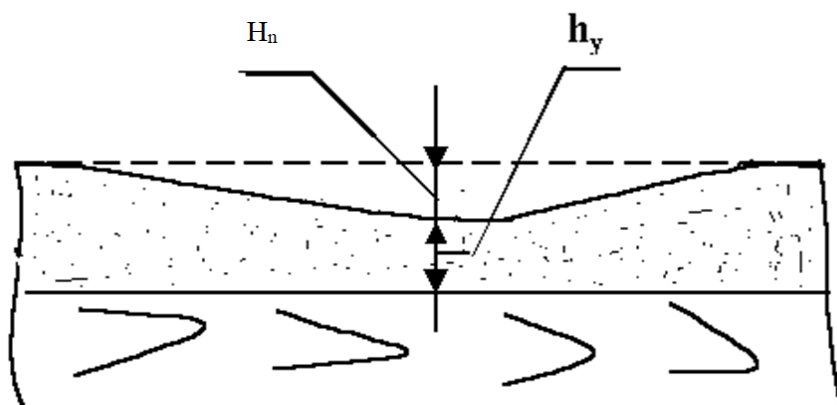


Рисунок 2.15 – Схема измерения параметров обугливания [193]

Применение метода пенетрации было реализовано с использованием прибора штангенциркуль.

Электрорезистивный метод

Электрорезистивный метод используется в судебно-экспертной деятельности для определения длительности и температуры в зоне воздействия термического источника. Данный метод широко используется в экспертной практике с целью получения информации, связанной с установлением очага пожара и путей распространения пламени. Он помогает экспертам выделять зоны термического поражения. Основными объектами для исследования в экспертной деятельности выступают деревянные конструкции на месте пожара.

При возрастании степени термического воздействия или времени термического воздействия на объект повышается степень обугливания древесины. При этом метод предусматривает сравнительное исследование только однотипных конструкций. Данный метод обладает преимуществом по сравнению с измерением только глубины обугливания, и это позволяет определить в конкретной точке температуру и длительность теплового воздействия. По длительности теплового воздействия определяется зона очага пожара, которая

является местом первоначального возникновения горения, т. е. на данном участке развитие пожара происходило наиболее длительное время. Как известно, степень термического поражения, впрочем, как и глубина обугливания, складывается из двух величин – длительности и температуры теплового воздействия. Соответственно, данный метод является наиболее объективным при определении особенностей горения в исследуемой точке [49, 193, 196].

Применение метода было реализовано с использованием комплекта приспособлений для экспрессного определения на месте пожара удельного электрического сопротивления обугленных остатков древесины «АКО1-01-ЭП» (входит в комплекс «Пирэкс»), позволяющего фиксировать удельное электрическое сопротивление по постоянному току в пределах от 1–10 до $1 \times 10^8 - 1 \times 10^{10}$ Ом×см с последующим нахождением ориентировочной температуры и длительности горения.

Комплект состоит из пресса с пресс-формой для сжатия угля с необходимым усилием в момент измерения, пробоотборника и комплектующего оборудования: мегаомметра ЭСО202/1-Г (зав. № 58275); фарфоровой ступки с пестиком ($V=24$ мл, $D=75$ мм); штангенциркуля ШЦ-1-125; ложечки для загрузки угля. Пресс с пресс-формой обеспечивает сжатие обугленных остатков древесины, измерение электросопротивления столбика угля постоянной высоты в момент сжатия, в направлении приложения давления [193].

С поверхности образцов отбирались углистые остатки (3–5 мм), предварительно очищенные от частиц золы. Отобранные угли растирались пестиком в фарфоровой ступке и сушились до постоянной массы. Затем пробы углей исследовались с помощью комплекса оборудования АКО1-01-ЭП. Пробу угля засыпали в пресс-форму, подвергали сжатию под давлением 3500–5000 кг/см² (гидравлический пресс конструкции ЛФ ВНИИПО), и в момент сжатия производились измерения электросопротивления с помощью мультиметра цифрового М890F (зав. № 705218894). Расчет температуры и длительности теплового воздействия в точках отбора проб пиролиза древесины производился

исходя из результатов анализа углей и геометрических параметров угольного слоя по формулам.

Расчет температуры пиролиза древесины производится по формуле:

$$T = 4540 / \{\ln[H \cdot P / (10 - P)] + 2,15\}, \quad (2.12)$$

где T – температура пиролиза древесины, К;

H – глубина обугливания, мм;

P – десятичный логарифм электросопротивления пробы угля [92].

Общее время пиролиза древесины рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{общ}} = \tau_{\text{д}} + \tau_{\text{o}}, \quad (2.13)$$

где $\tau_{\text{общ}}$ – время пиролиза древесины, мин;

$\tau_{\text{д}}$ – длительность пиролиза древесины (без учета индукционного периода), мин;

τ_{o} – продолжительность «индукционного периода», мин [193].

Длительность пиролиза древесины (без учета индукционного периода) находится по формуле:

$$\tau_{\text{д}} = \exp \{1,38 \ln H + 0,38 \ln [P / (10 - P)] - 1,19\}, \quad (2.14)$$

где H – глубина обугливания, мм;

P – десятичный логарифм электросопротивления пробы угля [92].

Длительность пиролиза древесины (без учета индукционного периода) находится по формуле:

$$\tau_{\text{o}} = 77 - 0,086 \cdot T, \quad (2.15)$$

где T – температура пиролиза древесины, К [193].

Обработка данных для расчета температуры и длительности теплового воздействия проводилась с использованием программы Wood, входящей в автоматизированный информационный комплекс «Экспотех» № 20150619.

С использованием комплекта оборудования могут быть получены значения температуры и длительность горения в точке отбора проб образцов. Также определяется значение электросопротивления, чем меньше значение которого, тем больше степень термического поражения. В условиях реальных пожаров электросопротивление обугленных остатков органических материалов уменьшается с увеличением температуры пожара и длительности горения. При низких температурах пиролиза удельное электросопротивление составляет порядка $1 \times 10^8 - 1 \times 10^9$ Ом $\times$ см, при высоких температурах пожара составляет единицы – десятки Ом $\times$ см [8; 160].

Результаты применения методики испытаний на оценку степени термического поражения различных пород деревьев с комплексным использованием методов исследования неразрушающего контроля

Результаты испытаний образцов пород деревьев представлены на рисунках 2.16–2.17.

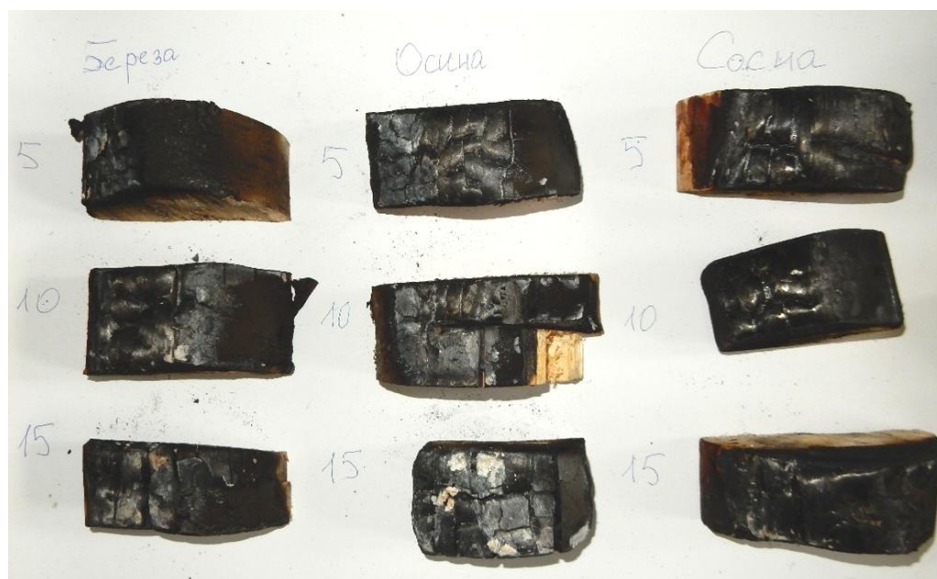


Рисунок 2.16 – Термические поражения образцов пород деревьев
с низким процентом влажности



Рисунок 2.17 – Термические поражения образцов пород деревьев
с высоким процентом влажности

В таблице 2.14 представлены средние арифметические значения глубины обугливания, температуры и длительности теплового воздействия по результатам исследования всех образцов.

Таблица 2.14 – Результаты исследования образцов пород деревьев с применением комплекса методов исследования

Образец породы дерева	Метод испытаний	Время огневого воздействия, мин			Вывод по наиб. степени поражения
		5	10	15	
		результаты испытаний			
береза	Визуально	Поверхностное обугливание	Глубокое обугливание	Обугливание с крупными трещинами	15 мин
	Пенетрация	8,8 мм	16,9 мм	24,2 мм	15 мин
	Электро- резистив.	1 345 000 Ом 957,1 К 7,2 мин	12 300 Ом 993,7 К 12,9 мин	450 Ом 1063,8 К 16,5 мин	15 мин
Общий вывод	Выявлена сходимость результатов примененных методов исследования				

Продолжение таблицы 2.14

Образец породы дерева	Метод испытаний	Время огневого воздействия, мин			Вывод по наиб. степени поражения
		5	10	15	
		результаты испытаний			
осина	Визуально	Поверхностное обугливание	Глубокое обугливание	Выгорание слоя угля	15 мин
	Пенетрация	7,9 мм	15,1 мм	20,3 мм	15 мин
	Электро-резистив.	78 300 ом 1097,8 к 5,1 мин	11 400 ом 1021,9 к 11,0 мин	580 ом 1094,3 к 13,2 мин	15 мин
Общий вывод	Выявлена сходимость результатов примененных методов исследования				
сосна	Визуально	Выгорание слоя угля	Выгорание слоя угля	Выгорание слоя угля с глубоким переугливанием	15 мин
	Пенетрация	9,7 мм	19,1 мм	28,1 мм	15 мин
	Электро-резистив.	180 000 ом 1012,2 к 7,2 мин	1400 ом 1061,8 к 13,0 мин	85 ом 1137,5 к 17,2 мин	15 мин
Общий вывод	Выявлена сходимость результатов примененных методов исследования				
липа	Визуально	Поверхностное обугливание	Поверхностное обугливание	Выгорание слоя угля	15 мин
	Пенетрация	8,6 мм	16,4 мм	24,1 мм	15 мин
	Электро-резистив.	960 ом 1335,6 к 4,2 мин	21 300 ом 979,0 к 12,8 мин	1 750 ом 997,0 к 18,3 мин	15 мин
Общий вывод	Выявлена сходимость результатов примененных методов исследования				
ольха	Визуально	Поверхностное обугливание	Выгорание слоя угля	Выгорание слоя угля с глубоким переугливанием	15 мин
	Пенетрация	7,5 мм	13,9 мм	16,8 мм	15 мин
	Электро-резистив.	430 ом 1471,3 к 3,3 мин	124 ом 1337,9 к 6,8 мин	34 200 ом 956,7 к 13,7 мин	15 мин
Общий вывод	Выявлена сходимость результатов примененных методов исследования				
ель	Визуально	Выгорание слоя угля	Выгорание слоя угля	Выгорание слоя угля с глубоким переугливанием	15 мин
	Пенетрация	9,8 мм	19,3 мм	27,4 мм	15 мин
	Электро-резистив.	67 ом 1583,4 к 3,9 мин	146 ом 1205,7 к 10,8 мин	330 ом 1051,0 к 19,0 мин	15 мин
Общий вывод	Выявлена сходимость результатов примененных методов исследования				

По результатам проведенных испытаний для всех образцов пород деревьев выявлена сходимость результатов примененных методов исследования. С увеличением времени огневого воздействия значения глубины обугливания и расчетные значения длительности пиролиза последовательно увеличивались. При этом также выявлено, что для всех образцов пород деревьев с увеличением времени огневого воздействия скорость обугливания снижалась. Эта закономерность связана с особенностями образования углистого слоя на поверхности образцов из-за наличия слоя коры.

Примененные методы исследования на определение степени термического поражения образцов различных пород деревьев показали, что они могут использоваться только для оценки однотипных пород деревьев. Отмечена разная структура образования формы угля на поверхности образцов деревьев в результате огневого воздействия.

По результатам проведенных испытаний установлено, что все методы исследования подтвердили корректные данные для всех образцов пород деревьев по изменению глубины обугливания относительно длительности огневого воздействия. Вместе с тем, электрорезистивным методом были получены значения температуры и длительности горения в точках отбора проб образцов, не соответствующие экспериментальным данным.

2.3 Разработка технического средства к оценке термического поражения лесных насаждений

В целях оценки термических поражений лесных насаждений в результате воздействия опасных факторов природного пожара должны применяться инструментальные методы исследования по современным методикам. Основными объектами для исследования последствий природного пожара являются обугленные поверхности деревьев. Природный пожар может иметь бесчисленное

множество таких объектов, по исследованию которых можно провести оценку степени термического поражения лесных насаждений.

В ходе теплового воздействия на деревья происходит обугливание или выгорание их стволов вглубь и по высоте как с наветренной, так и с подветренной стороны. Глубина обугливания и высота нагара на стволе дерева являются физическими параметрами, непосредственно характеризующими степень термического поражения, которые необходимо определять в ходе осмотра участка природного пожара. По совокупности распределения глубины обугливания на поверхности лесных насаждений выявляются признаки направленности распространения, по которым происходит оценка направления развития пожара в целях определения очага пожара.

В соответствии с методологией судебной пожарно-технической экспертизы древесина подвергается измерению глубины обугливания методом пенетрации. Глубина обугливания является количественной характеристикой, по которой определяются очаг и параметры пожара. Методика определения очага пожара для объектов защиты предусматривает экспресс-оценку степени обугливания деревянных конструкций с использованием штангенциркуля, с помощью которого при однократном измерении можно получить только одно значение глубины обугливания [25, 27, 193].

Результаты проведенного экспериментального исследования показали, что с помощью метода пенетрации возможно получить корректные значения глубины обугливания образцов деревьев, по которым проводится оценка степени термического поражения лесных насаждений на участке природного пожара. Соответственно, делается вывод, что представляется необходимым измерение глубины обугливания на поверхности стволов деревьев.

При этом на участке природного пожара каждый ствол дерева следует рассматривать как отдельный объект, обладающий своими специфическими свойствами до возникновения горения. Объектов сравнения для данного дерева не

существует. Соответственно, важно исследовать каждый конкретный ствол дерева с четырех его сторон на предмет определения степени термического поражения.

Современная экспертная методика по определению степени термического поражения обугленных остатков древесины также рекомендует подобный подход. Уголь необходимо отбирать со стороны, обращенной к источнику теплового воздействия. Если неясно, откуда происходило огневое воздействие, то отдельные пробы отбирают с двух сторон [153, 193].

С учетом данного требования при измерении глубины обугливания штангенциркулем с четырех противоположных сторон деревьев на участке природного пожара потребуется многократное использование данного прибора. Это обстоятельство при последствиях природного пожара создает условия практически нереализуемого применения метода пенетрации с использованием штангенциркуля из-за длительности проведения измерений, что является трудозатратным. Следовательно, применение прибора штангенциркуля в условиях природного пожара является нецелесообразным по причине отсутствия у прибора функции по получению и обработке значительного количества значений глубины обугливания у массива однотипных деревьев для сравнительного исследования.

В настоящее время отсутствует специализированный инструмент для измерения глубины обугливания именно стволов деревьев в границах природного пожара [135]. Таким образом, требуется совершенствовать способ определения глубины обугливания стволов деревьев для проведения оценки степени термического поражения лесных насаждений.

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 [115].

Оригинальная конструкция прибора обеспечивает осевое перемещение для охвата стволов различных диаметров и фиксацию положения для одновременного измерения глубины обугливания с противоположных сторон дерева. Прибор позволяет получить значения глубины обугливания одновременно с противоположных сторон стволов деревьев (рисунок 2.18).

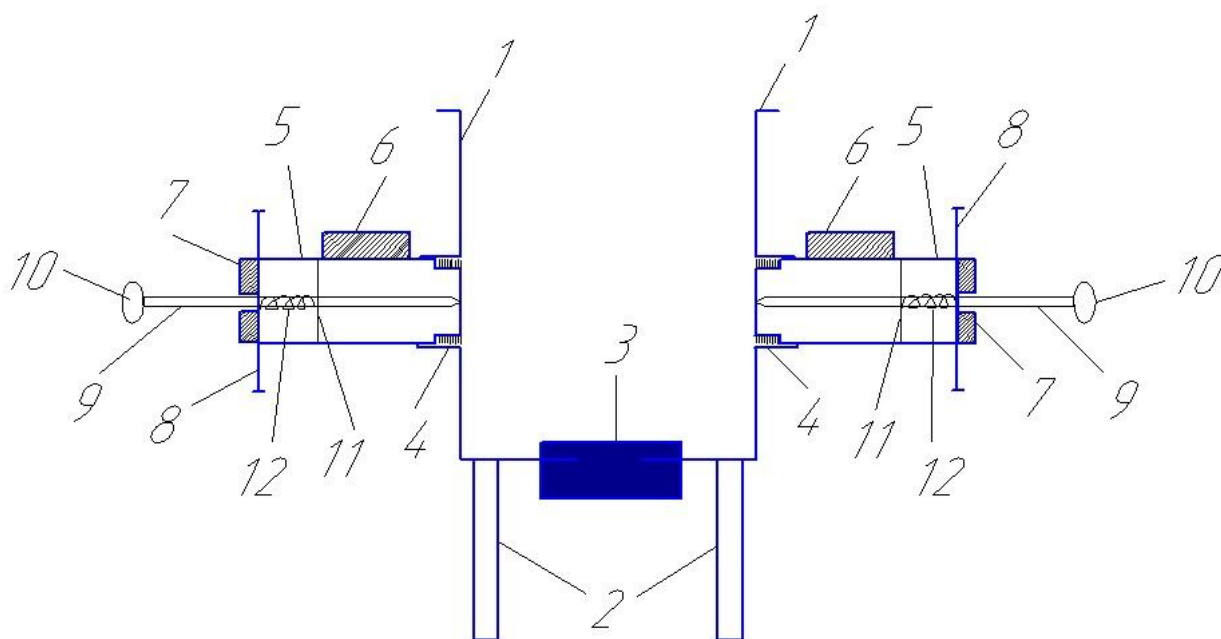


Рисунок 2.18 – Техническое исполнение прибора «Устройство для определения очага природных пожаров». Обозначения: 1 – Г-образные рамы; 2 – рукоятки; 3 – средство фиксации; 4 – втулка с резьбой; 5 – цилиндр; 6 – измерительный модуль; 7 – крышка; 8 – ручки; 9 – измерительный стержень; 10 – рукоятка; 11 – упор; 12 – пружина сжатия [115]

Прибор «Устройство для определения очага природных пожаров» состоит из следующих элементов, отмеченных цифрами на рисунке 2.18. Две Г-образные рамы, выполненные предпочтительнее из металла, снабженные рукоятями. Наличие рукоятей обеспечивает удобство и быстроту размещения и фиксации устройства на стволе дерева. Г-образные рамы, соединенные телескопически с возможностью взаимного перемещения для охвата ствола дерева, фиксации положения и закрепления на стволе с помощью средства фиксации. На каждой

раме жестко закреплена втулка с внутренней резьбой. В каждой втулке с возможностью осевого перемещения посредством резьбового соединения установлен цилиндр с встроенным электронным измерительным модулем, оснащенный экраном и кнопками управления. Электронный измерительный модуль выполнен с возможностью взаимодействия с цифровыми устройствами, такими как: персональный компьютер, ноутбук, смартфон. Электронный измерительный модуль снабжен антенной геолокации. С одного торца каждый цилиндр снабжен внешней резьбой, а у противоположного – торцевой крышкой с отверстием в центре и ручками. Наличие ручек обеспечивает удобство осевого перемещения цилиндра по резьбе при дополнительной фиксации на стволах, форма которых не близка к цилиндрической. В каждом цилиндре размещен с возможностью осевого перемещения заостренный стержень, снабженный рукояткой. На стержне закреплен дискообразный упор с пружиной сжатия. Параметры пружины предварительно рассчитывают и подбирают экспериментально из условия обеспечения углубления стержня в обугленный слой до слоя неповрежденной древесины. При этом на стержень, являющийся подвижной шкалой, нанесены риски [115].

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. Разработанный прибор обеспечивает повышение точности измерений и сокращение времени получаемых результатов, а также возможность автоматического сохранения результатов измерений для последующей их обработки.

Таким образом, 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.

Значение глубины обугливания связано с таким параметром, как высота нагара ствола дерева, по которому также представляется возможным провести оценку степени термического поражения лесных насаждений. Нагар как признак термического поражения – это участок вертикального обугливания стволов в нижней части при низовых пожарах [37].

Высота нагара на стволах деревьев является исходным параметром для описания механизма и динамики горения, по которому определяются остальные обязательные параметры природного пожара, позволяющие определить условия протекания горения. Высота нагара определяется через глубину обугливания.

Амосов Г. А. [197] установил зависимости между высотой нагара и получением следующих параметров: высота пламени; степень повреждения крон горячими газами; интенсивность пожара; скорость газового потока.

По высоте нагара рассчитывается высота пламени по формуле:

$$X = (y + 1,42)/2,06, \quad (2.16)$$

где X – высота пламени, дм;

y – высота нагара, дм [197].

Телицин Г. П. [197] установил зависимость между высотой нагара и следующим параметром: скорость распространения.

По высоте пламени определяется скорость продвижения кромки низового пожара по численному ряду, представленному в таблице 2.15 [197].

Таблица 2.15 – Корреляция скорости распространения низового пожара и высоты пламени

Высота пламени, м	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Скорость распространения, м/мин	0,6	1,3	2,2	3,6	5,4	7,0

По высоте пламени определяется интенсивность пожара по зависимости, представленной в таблице 2.16 [197].

Таблица 2.16 – Корреляция величин высоты пламени низового пожара и его интенсивности

Высота пламени, м	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Интенсивность пожара, тыс. ккал/м×мин	1	8	22	50	80	100

Численные значения интенсивности пожара используются для проведения теплофизических расчетов, а также определения расстояний, на которые возможен разлет горящих частиц. В последнем случае необходимы скорости конвекционных потоков над зоной лесного пожара, которая определяется по формуле:

$$y = 1,30 \times X^{0,334}, \quad (2.17)$$

где y – скорость конвекции, м/с;

X – интенсивность горения, тыс. ккал/м·мин [197].

В конечном итоге полученные параметры позволяют провести физико-математическое моделирование природных пожаров.

Следовательно, без значения высоты нагара невозможно установить все необходимые параметры развития природного пожара. Высота нагара является важным первоначальным показателем. Если будут получены некорректные

значения данного параметра, все остальные параметры также будут неверны, следствием чего будут получены неправильные выводы по динамике и механизму развития природного пожара на различных его участках.

С учетом практического опыта работы в области исследования природных пожаров и описаний в научной литературе известно, что на стволах деревьев могут образоваться нагары на нескольких участках, в том числе противоположных. Это создает проблемы для экспертов в случае выбора определяющего участка образования нагара для расчетов. Кроме того, участки с нагарами могут различаться по высоте и по образованию глубины обугливания.

Исследование практических примеров пожаров показало, что на стволах деревьев могут образоваться нагары на нескольких сторонах, в том числе противоположных. Кроме того, участки с нагарами могут различаться по высоте и по образованию глубины обугливания. В этом заключается трудность в определении участка, который необходимо выбирать для установления величины нагара. Наибольшая степень глубины обугливания может образоваться на участке ствола с меньшей высотой нагара. В уравнениях по определению параметров развития природного пожара следует принимать для расчета тот участок с нагаром, где глубина обугливания наибольшая. Соответственно, целесообразным представляется перед определением высоты нагара проведение измерений глубины обугливания ствола с различных сторон.

«Устройство для определения очага природных пожаров» для измерения глубины обугливания стволов деревьев позволяет наиболее эффективно получить значения глубины обугливания на разных участках нагара стволов, что в конечном итоге позволит сократить общее время на проведение измерения и получение корректных значений по высоте нагара. Таким образом, с использованием прибора для измерения глубины обугливания деревьев на месте природного пожара достигаются следующие преимущества:

- возможность одновременного получения количественного значения глубины обугливания с противоположных сторон каждого объекта исследования;

- позволяет провести больший охват для исследования территории природного пожара;
- удобство при использовании;
- определение координат расположения на местности объекта исследования;
- получение более объективных значений глубины обугливания для расчета параметров пожара;
- построение карты термических поражений для определения очага пожара;
- определение направления развития пожара по значениям глубины обугливания стволов деревьев на конкретной территории природного пожара.

2.4 Разработка программных средств к оценке термического поражения лесных насаждений

В ходе экспертного исследования природного пожара помимо стандартных принципов определения очага важно оценивать форму проекции зоны горения с учетом особенностей направления и скорости ветра, который образует специфическую зону пожара. Требуется выявить фронтальную, тыловую и фланговую зоны распространявшегося пожара [109, 197]. В большинстве случаев природный пожар имеет вид эллипса, у которого более широкий фронт пожара указывает на направление ветра. Средства комплексной системы мониторинга могут быть использованы при оценке степени поражения пройденных пожарами территорий [7; 20].

При прогнозировании последствий развития природного пожара должны учитываться особенности распределения на конкретной территории лесных насаждений. В целях возможности проведения прогнозирования природного пожара осуществляется классификация растительных горючих материалов и применение методов их картографирования, использование компьютерных программ пирологической характеристики таксационных выделов,

информационных баз данных, с помощью которых возможно оценить скорость распространения горения по территории, интенсивность горения, развитие пожара [18, 21, 22].

На основании вышеизложенного, в рамках настоящего диссертационного исследования предложена разработка программных средств, которые основаны на использовании кибернетического метода, метода моделирования и метода наложения карт. Использование программных средств с методами исследования позволят получить результаты, по которым будет возможно оценить форму проекции зоны горения при развитии природного пожара из зоны очага с учетом характеристики участка местности с лесными насаждениями и погодных условий, сложившихся на конкретной территории. Применение данных программных средств позволит в площади образования термических поражений на местности установить локальный участок меньших размеров, в котором расположен очаг природного пожара.

Разработка функционирования программных средств основана на научных исследованиях в области прогнозирования поведения и последствий низовых пожаров, а также с учетом положений экспресс-метода по оценке развития пожара с лесными насаждениями [15, 16, 19]. В соответствии с рекомендациями экспресс-метода необходимо выполнять следующие действия:

- 1) устанавливать форму и границы зоны горения и теплового воздействия последствий развития лесного пожара по картографической схеме;
- 2) проводить построение проекции зоны горения последствий лесного пожара;
- 3) в проекции зоны горения последствий лесного пожара определять геометрический центр фигуры, который определяет зону очага пожара;
- 4) проводить привязку участка с зоной очага пожара к координатной сетке местности;

5) проводить более детальное исследование выделенного участка с целью обнаружения вещественных доказательств и определения точной зоны, где первоначально возникло горение.

При определении границ зон лесного пожара необходимо учитывать рельеф местности, характеристику лесных горючих материалов и их количество, класс пожарной опасности лесного участка, действие ветра [109, 162].

Кибернетический метод

Кибернетический метод является одним из видов общенаучных методов, применяемых в экспертной деятельности. Такой метод позволяет производить поиск объектов, устанавливать связи между ними. Он связан с использованием компьютерных технологий и средств электроники и позволяет производить поиск сведений в имеющихся базах. Соответственно, на основе этого метода можно осуществить поиск и автоматическую обработку информации, которые могут содержаться в базе данных. База данных – это организованная совокупность структурированных данных, предназначенная для хранения, поиска и обработки информации [133, 134].

Модели, отражающие особенности развития горения на открытых территориях, должны содержать соответствующие ей информационные базы, которые обеспечивают проведение необходимых расчетов благодаря наличию пирологической характеристики растительных горючих материалов [21].

Результат применения кибернетического метода

В рамках настоящего диссертационного исследования разработана база 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» [142]. Назначение разработанной базы данных 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.

В разработанной базе отражаются данные, полученные из лесотаксационного описания конкретной территории, в которое должно быть включено: состав лесного насаждения, название каждой древесной породы. Сведения о характеристиках лесотаксационных выделов содержат информацию о номере выдела, его площади, составе лесного насаждения, характеристики подроста и подлеска, напочвенного покрова, рельефа и других особенностей [96, 107, 125]. В базе данных также содержатся данные, полученные средствами комплексной системы мониторинга, и результаты количественной оценки степени термического поражения лесных насаждений.

Таким образом, разработанная база содержит данные по характеристикам природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений лесных насаждений, которые используются для определения скорости распространения природного пожара.

Метод моделирования

Существуют различные виды моделей, которые описывают процесс распространения природного пожара [41, 42, 44]. Из числа российских математических моделей экспериментально-аналитического типа можно отметить модели Телицына Г. П. [16, 86, 161], Конева Э. В. [85; 86], Гусева В. Г. [43; 86], Доррера Г. А. [45; 86]. Из зарубежных источников выделяется американская модель Ротермела Р. [21; 202].

В России единственной моделью распространения низового лесного пожара, для которой созданы примеры информационных баз, является эмпирическая модель Софронова М. А. [21; 86].

Соответственно, 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.

Модель распространения низового пожара Софронова М. А. выражается формулой:

$$V_x = V_o \cdot K_w \cdot K_r \cdot K_\phi, \quad (2.18)$$

где V_x – скорость распространения природного пожара, м/мин;

V_o – базовая скорость, м/мин;

K_w – коэффициент влияния ветра;

K_r – коэффициент влияния относительной влажности воздуха;

K_ϕ – коэффициент влияния уклона поверхности [86].

Базовая скорость принимается в соответствии с типом основных проводников горения выдела и лесопожарным показателем засухи конкретного дня. Коэффициент влияния уклона принимается в соответствии с уклоном, указанным в пирологическом описании, экспозицией склона и направлением распространения горения. Коэффициент влияния относительной влажности воздуха принимается в соответствии с величиной прогнозируемой относительной влажности воздуха (r , %) по конкретным промежуткам времени.

Коэффициент влияния ветра принимается в соответствии со скоростью и направлением ветра по отношению к конкретной зоне пожара (фронт, фланг, тыл). Скорость ветра под пологом леса рассчитывается по формуле:

$$W = W_m \cdot K_c, \quad (2.19)$$

где W – скорость ветра под пологом леса, м/с;

W_m – скорость ветра на метеостанции, м/с;

K_c – коэффициент, учитывающий полноту древостоя.

Коэффициент, учитывающий полноту древостоя, принимается из пирологического описания выделов [16].

Результат применения метода моделирования

Результаты настоящего диссертационного исследования нашли отражение в следующих разработанных программах для ЭВМ:

1. «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» [143].

2. «Программа по оценке степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров» [144].

Первая программа имеет структуру для работы с базой данных, которая содержит описание характеристик природных объектов и сведений окружающей среды в границах образования термических поражений, а также результаты расчетов в программе по определению параметров развития горения для определения очага природных пожаров. Программа также используется для проведения расчетов по определению скорости распространения природного пожара по исходным данным. В программе отражаются картографические данные и результаты расчетов, которые необходимы для построения проекции зоны природного пожара во второй разработанной программе.

Вторая программа предназначена для получения расчетных данных, которые формируются на основе обработки картографических схем комплексной системы мониторинга и значений глубины обугливания на поверхности деревьев, получаемых с помощью прибора «Устройство для определения очага природных пожаров», в целях оценки степени термического поражения лесных насаждений

для установления очага природных пожаров. На первом этапе в программе осуществляется обработка картографических данных, которые получены с использованием комплексной системы мониторинга. Результатом обработки является построение проекции зоны горения с использованием эмпирической модели Софронова М. А. по распространению низового природного пожара, в которой используются данные по характеристикам природных объектов и сведениям окружающей среды в границах образования термических поражений лесных насаждений. В границах проекции зоны горения программой определяется контур области очага природного пожара.

Метод наложения карт

Сущность метода наложения карт заключается в совмещении двух и более картографических материалов в единой системе координат для наглядного сравнения, оценки, анализа или визуализации данных. Современные возможности позволяют активно применять компьютерные технологии при использовании данного метода. Для метода наложения карт характерны следующие этапы:

1. Подготовка данных. Все карты должны находиться в одном масштабе или их размеры можно привести к общему виду. Необходимо использовать географические системы координат для точности.
2. Сопоставление карт. Определение контрольных точек для точного совмещения карт.
3. Настройка прозрачности слоёв. Помогает при выравнивании карт и уточнении их положения.
4. Применение геопривязки. Корректировка координат карты с использованием специальных инструментов.
5. Проверка точности наложения. Ключевые объекты должны совпадать на картографических данных.
6. Сохранение результата. Экспорт итогового слоя в нужном формате для дальнейшего использования.

Таким образом, наложение слоёв позволяет находить взаимосвязи, которые невозможно увидеть на изолированных картах. Принципиальной является одинаковая система координат картографических данных [57, 185].

Результат применения метода наложения карт

Для определения очага природного пожара необходимо использовать принцип зонирования общей площади природного пожара. Общая площадь природного пожара – это площадь, в которой происходило развитие горения на местности с образованием термических поражений лесных насаждений. Следующая зона природного пожара – это локальный участок меньших размеров, установленный разработанными программными средствами в площади образования термических поражений на местности, из которого происходило первоначальное развитие горения по лесным насаждениям. Эта область характеризуется низкой интенсивностью горения и распространения огня, на которое больше всего влияет направление ветра и рельеф местности. Следующая зона – это очаг природного пожара, в котором находится точное место, где источник воспламенения вступил в контакт с горючими материалами, которые первоначально воспламенились, в результате чего и произошло развитие горения [56, 77, 89, 136].

Метод наложения карт реализуется посредством применения разработанной программы для ЭВМ «Программа по оценке степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров» [144].

С учетом отмеченных рекомендаций в научных исследованиях при работе с разработанной программой используются картографические схемы, полученные по результатам применения комплексной системы мониторинга, в которых отражены зоны первоначального обнаружения горения (рисунок 2.19).

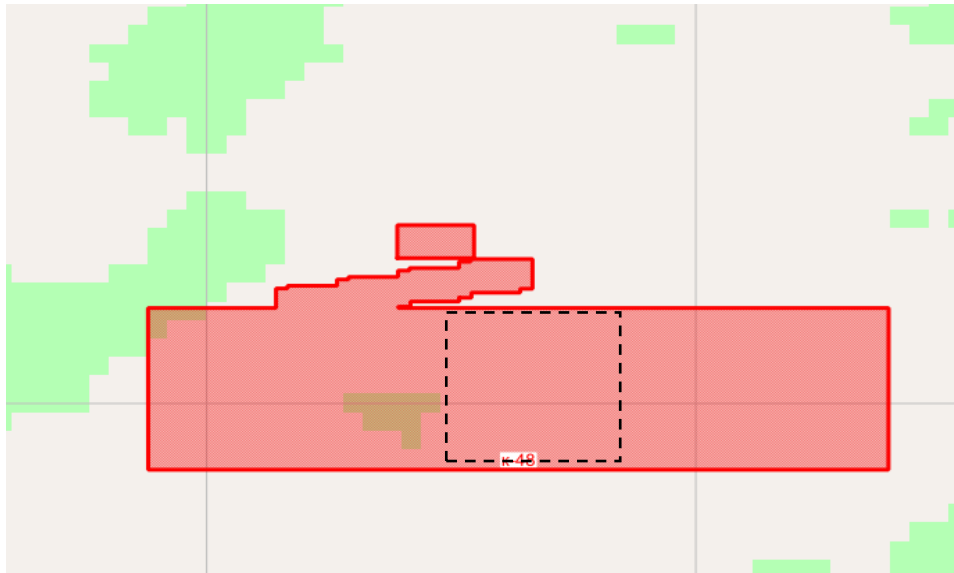


Рисунок 2.19 – Пример картографической схемы, полученной по результатам применения космического мониторинга [137]. Штрихпунктирной линией отмечена зона первоначального обнаружения горения

На данных схемах в программе осуществляется наложение картографического слоя, который отражает расчетную проекцию зоны горения по распространению низового природного пожара (рисунок 2.20).

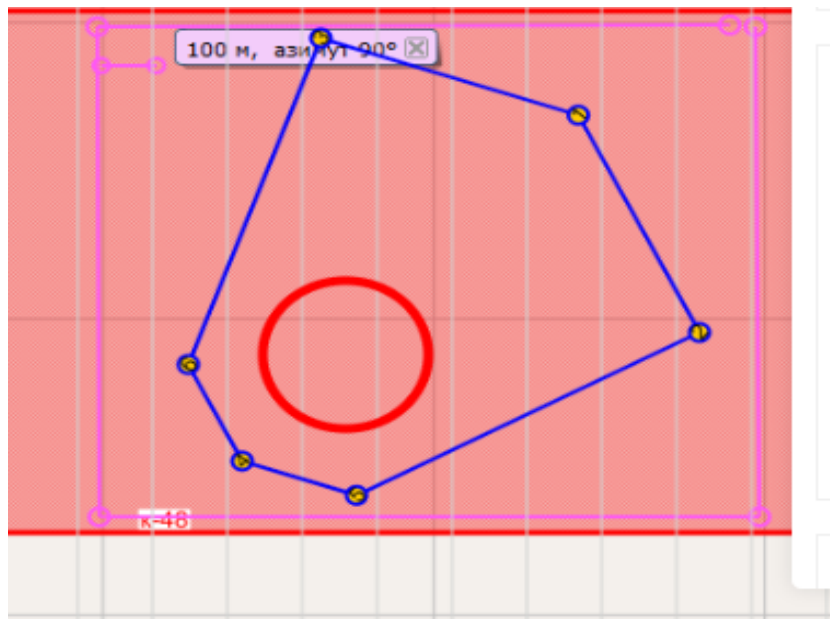


Рисунок 2.20 – Пример наложения картографических данных в программе. Красный круг – контур области очага природного пожара

В границах проекции зоны горения программой определяется контур области очага природного пожара (на рисунке 2.20 выделено красным кругом).

2.5 Функциональная структура разработанного комплекса технических решений

В ходе настоящего диссертационного исследования разработан комплекс технических решений к оценке термического поражения лесных насаждений в целях определения очага природных пожаров, который состоит из технического и программных средств со следующими названиями:

- прибор «Устройство для определения очага природных пожаров»;
- «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»;
- «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»;
- «Программа по оценке степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров».

Данные элементы комплекса разработаны, функционально проверены, зарегистрированы и реализованы практически. Реализация комплекса технических решений основана на использовании нескольких методов исследования: визуальный метод, кибернетический метод, метод моделирования, метод оценки, метод наложения карт, метод пенетрации.

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. Полученные результаты к оценке термических поражений лесных насаждений применяются для установления очага природных пожаров на этапе расследования по выявлению причины возникновения пожара лицами, производящими дознание или следствие, а также в ходе осуществления деятельности по производству пожарно-технической экспертизы.

Применение прибора по измерению глубины обугливания на месте природного пожара заключается в следующем. Пользователь на месте пожара выбирает необходимую зону обследования. Определяет зоны расположения деревьев для исследования. Оценивает особенности выбранной зоны: породу деревьев, картину термических поражений, рельеф, направление по сторонам света, тип пожара, вид растительности. Определение глубины обугливания проводится на одинаковой высоте для каждого выбранных объектов исследования. Прибор устанавливается на необходимой высоте, цилиндры ориентируются по сторонам света (например, для первого измерения – север-юг, для второго измерения – восток-запад) таким образом, чтобы ствол находился между Г-образными рамами. Затем фиксируется положение устройства на стволе. Для повышения точности измерений обеспечивается наиболее плотное прилегание к поверхности ствола дерева торцевых кромок каждого цилиндра за счет вращения ручки и перемещения цилиндра. Это дополнительно повышает надежность фиксации устройства на стволе, а также позволяет обеспечить контакт острия каждого стержня с поверхностью ствола. Подключается электронный измерительный модуль к внешнему устройству (например, ноутбуку). Перед началом измерений производится обнуление результатов нажатием соответствующей кнопки на электронном измерительном модуле. Для

определения глубины обугливания пользователь за рукоятку максимально до полного сжатия пружины отводит каждый стержень в сторону противоположную стволу и отпускает. Это обеспечивает воздействие на каждый стержень с одинаковым усилием при каждом измерении. Под воздействием пружины стержень углубляется в слой древесины. Электронный измерительный модуль фиксирует величину перемещения подвижной шкалы, вследствие чего на экране электронного измерительного модуля появляется величина перемещения подвижной шкалы, что соответствует величине углубления стержня в обугленный слой, т.е. величина глубины обугливания. Результат измерения отражается на экране, и одновременно данные передаются на внешнее устройство. Полученные таким образом результаты, включающие информацию о том, с какой стороны произведено измерение, сохраняются в памяти внешнего устройства для последующей аналитико-статистической обработки. Пользователь за рукоятку извлекает каждый стержень, выкручивает цилиндры, разблокирует средство фиксации и переориентирует устройство для второго замера. По результатам измерений в памяти внешнего устройства сохраняются четыре значения измерений глубины обугливания, соответствующие сторонам света. Оснащение электронного измерительного модуля антенной геолокации позволяет точно определять координаты места измерений.

Функционирование базы данных осуществляется без подключения к интернету на цифровом устройстве (компьютер, смартфон, планшет). После установки программы для работы с базой данных появляется файл: «База данных». При запуске файла появляется главное окно, состоящее из следующих элементов:

- 1) командная панель содержит область «рассчитать скорость развития пожара», которая необходима для осуществления расчета в программе по работе с базой данных по получению значений скорости развития природного пожара (фронт, фланги, тыл);

2) область «ввод данных» для наполнения базы данных. Также содержится подраздел формы поиска для быстрого нахождения необходимой информации;

3) основная область базы данных в табличной форме, которая состоит из следующих элементов:

3.1) раздел «описание пожара», в который включена следующая информация по характеристике пожара: дата пожара, адрес пожара, вид пожара, картографическая схема пожара, площадь и размер зоны горения, координаты участка, изменение площади пожара в различные промежутки времени, степень термических поражений;

3.2) раздел «описание участка местности», в который включена следующая информация по географическому описанию территории и особенностям характеристики местности: ландшафт местности, рельеф местности, описание растительности, наличие горючих материалов в объеме, естественные преграды;

3.3) раздел «метеоданные», в который включена информация по характеристике погодных условий;

3.4) раздел «входные параметры для расчета», в который включена информация по необходимым параметрам для осуществления расчета в программе по работе с базой данных по получению значений скорости развития природного пожара (фронт, фланги, тыл): тип основного проводника горения, лесопожарный показатель засухи, уклон (экспозиция склона, направление распространения горения), относительная влажность воздуха, базовая скорость; коэффициент, учитывающий уклон, коэффициент, учитывающий влажность воздуха, коэффициент, учитывающий полноту древостоя, коэффициент, учитывающий скорость и направление ветра (фронт, фланг, тыл), скорость ветра на метеостанции;

3.5) раздел «выходные расчетные параметры», в который включена информация по полученным значениям в результате выполнения расчетов в программе по работе с базой данных: скорость развития пожара для фронта,

скорость развития пожара для фланга, скорость развития пожара для тыла, скорость ветра под пологом леса.

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.

Функционирование программы для ЭВМ «Программа по оценке степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров» осуществляется без подключения к интернету на цифровом устройстве (компьютер, смартфон, планшет). После установки программы появляются три файла: «Анализ местности», «Анализ деревьев», «Анализ деревьев по стволам». При запуске первого файла «Анализ местности» появляется главное окно, состоящее из следующих элементов:

1) область отображения карты, в которой происходит размещение картографической схемы, а также получение проекции зоны горения по распространению низового природного пожара и контура области очага природного пожара. Для обработки картографической схемы выбрана калибровка масштаба со следующими значениями: 1 см=38 рх или 1 см=100 м;

2) командная (боковая) панель содержит область «настройка изображения», необходимую для обработки значений и построения проекции зоны горения по распространению низового природного пожара и контура области очага природного пожара. Боковая панель содержит следующие разделы:

2.1) «выбрать изображение» – для загрузки исходной картографической схемы;

2.2) «центральная точка» – для перемещения центральной точки контура-заготовки по горизонтальной и вертикальной осям картографической схемы в целях построения проекции зоны горения;

2.3) «перемещение фигуры» – для перемещения контура-заготовки по вертикальной оси картографической схемы в целях построения проекции зоны горения;

2.4) «масштаб» – для изменения размера контрольных точек для построения проекции контура зоны горения;

2.5) «поворот» – для перемещения вдоль своей оси проекции контура зоны горения;

2.6) «расстояние между линиями» – для изменения масштаба;

2.7) «расстояние точек» – для построения контрольных точек проекции контура зоны горения в соответствии с полученными значениями скорости распространения природного пожара (фронт, фланги и тыл);

2.8) «углы точек» – для перемещения контрольных точек построения проекции контура зоны горения вдоль своей оси;

2.9) «соединение точек» – соединение контрольных точек в целях построения итоговой проекции контура зоны горения;

2.10) «окружность» – изменение диаметра проекции области очага природного пожара;

2.11) «дизайн окружности» – изменение толщины и цветографического исполнения окружности соответствующей проекции области очага природного пожара.

В основу функционирования данной части программы входит метод наложения карт, результатом использования которого является определение области очага природного пожара. Использование данного метода с помощью программы позволяет осуществить принципы воспроизводимости, проверяемости и повторяемости, т.е. каждый последующий пользователь при работе с

программой сможет повторить процедуру с действиями и проверить полученные результаты с первоначальными данными.

При запуске второго файла «Анализ деревьев» появляется главное окно, состоящее из следующих элементов:

1) окно работы с картографической информацией с размещением картографической схемы с областью очага природного пожара, в которой происходило исследование деревьев на определение глубины обугливания;

2) командная нижняя панель содержит ячейки, необходимые для обработки размещенной картографической схемы. Нижняя панель содержит следующие разделы:

2.1) «максимальное количество точек» – предназначено для ввода количества исследованных деревьев;

2.2) «картинка карты» – предназначено для загрузки картографической схемы;

2.3) «размер точек», «размер шрифта», «цвет точек», «форма точек» – предназначены для редактирования элементов на картографической схеме, отражающих расположение деревьев на участке природного пожара;

2.4) «№ точки», «север», «юг», «восток», «запад», «сумма», «среднее» – отображают информацию о полученных значениях глубины обугливания по сторонам конкретного деревьев.

После загрузки картографической схемы осуществляется ее обработка с расстановкой на ней расположения фигур, отражающих нахождение исследованных деревьев на местности. После загрузки значений глубины обугливания по каждому объекту на схеме у каждой фигуры отражаются средние значения глубины обугливания. Далее в автоматическом режиме происходит объединение фигур изолиниями, входящими в один интервал среднего значения глубины обугливания.

При запуске третьего файла «Анализ деревьев по стволам» появляется главное окно, отражающее результаты измерений глубины обугливания на

различных участках по высоте ствола дерева. Для работы в программе необходимо задать количество исследованных деревьев. После этого создается таблица, в которой отражены результаты измерений глубины обугливания с различных сторон дерева на четырех уровнях по высоте. После заполнения таблицы в автоматическом режиме производится расчет среднего значения глубины обугливания по сторонам дерева, в соответствии с полученным наибольшим значением определяется высота нагара, значение которой заносится в соответствующую ячейку. После этого в программе производится расчет значений следующих параметров: высота пламени, скорость распространения, интенсивность пожара, скорость конвекционных потоков.

2.6 Выводы по главе 2

1. 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. Современные методы исследования неразрушающего контроля имеют ограничения в применении по установлению очага природного пожара. 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.

2. Впервые разработана методика испытаний образцов разнообразных пород деревьев с получением зависимости по изменению степени термического поражения лесных насаждений. Разработанная методика испытаний включает комплексное проведение огневых испытаний и испытаний в муфельной печи при различных условиях воздействия температур, близких к реальным условиям природного пожара. 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.

3. Проведена серия испытаний при различных условиях воздействия температур, целью которых являлось изучение особенностей процесса обугливания и определения скорости обугливания образцов различных пород деревьев. 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 увеличивалась 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.

4. 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, с помощью которого возможно получить корректные значения глубины обугливания на стволах деревьев. Для применения электрорезистивного метода на участке природного пожара требуется изъятие значительного количества обугленных проб для исследования в лабораторных условиях.

5. В настоящее время отсутствует специализированный инструмент для измерения глубины обугливания стволов деревьев. На основании полученных результатов экспериментальной части разработано техническое средство для оценки термического поражения лесных насаждений, с помощью которого достигается уменьшение затрачиваемого времени по измерению глубины обугливания на участке природного пожара по сравнению с применением штангенциркуля. Разработанный прибор обеспечивает повышение точности измерений и сокращение времени получаемых результатов, а также возможность автоматического сохранения результатов измерений для последующей их обработки.

6. Предложенный прибор позволяет измерять глубину обугливания одновременно на противоположных сторонах стволов деревьев, с помощью чего возможно получить корректные значения по высоте нагара на стволах деревьев. Полученные значения являются более объективными при использовании в теплофизических расчетах для моделирования процесса развития горения на всем участке природного пожара.

7. 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.

8. 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.

ГЛАВА 3 ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ К ОЦЕНКЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

3.1 Алгоритм применения комплекса технических решений

Методики судебно-экспертной деятельности посредством использования научных методов позволяют систематизировать применение различного вида оборудования [134, 186]. Судебно-экспертное исследование обычно включает три этапа: измерение или выявление (обнаружение) контролируемых показателей, сравнение их в различных объектах, представленных в распоряжение эксперта, или сопоставление с существующими требованиями к объекту и интерпретация результатов в плане решения вопросов, поставленных перед экспертом [172].

Место природного пожара следует рассматривать как сложный объект судебно-экспертизы, так как состоит из различных компонентов, которые подверглись термическому поражению. Методика расследования пожара должна быть построена на современной научно-технической базе и способствовать определению причины любого пожара [97, 175].

Эксперту следует стремиться к максимально возможному получению количественных данных, характеризующих взаимное расположение отдельных объектов в пределах зоны горения, в частности, термических поражений – глубину обугливания конструкций и предметов на различных их участках, величину и направленность деформаций металлоконструкций и др. [100].

Методы измерения количественных показателей помогают оценить объект через количественное значение, по которому лучше воспроизводится оценка его изменения, а в случае пожара – его поражения. Количественные измерения позволяют установить степень изменения поражения на всей территории участка природного пожара [157]. Для формирования достоверных данных о степени термического поражения лесных насаждений целесообразно использовать методы

в комплексе. Кроме того, необходимо принимать во внимание возникновение последствий развития природных пожаров на значительных площадях, что определяет нецелесообразное использование некоторых методов исследования. Следовательно, без применения методики, предусматривающей количественную оценку степени термического поражения лесных насаждений, невозможно установить очаг природного пожара.

В рамках настоящего диссертационного исследования разработан научный подход к оценке термических поражений лесных насаждений, основанный на использовании созданного комплекса технических решений с комбинированным применением методов по исследованию объектов природного пожара. Результаты экспериментального исследования, а также результаты разработки технического и программных средств явились основой для алгоритма применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений в целях определения очага природного пожара.

Алгоритм подразумевает применение разработанных технического и программных средств в определенной последовательности, благодаря чему имеется возможность воспроизводимости получаемых результатов (рисунок 3.1).

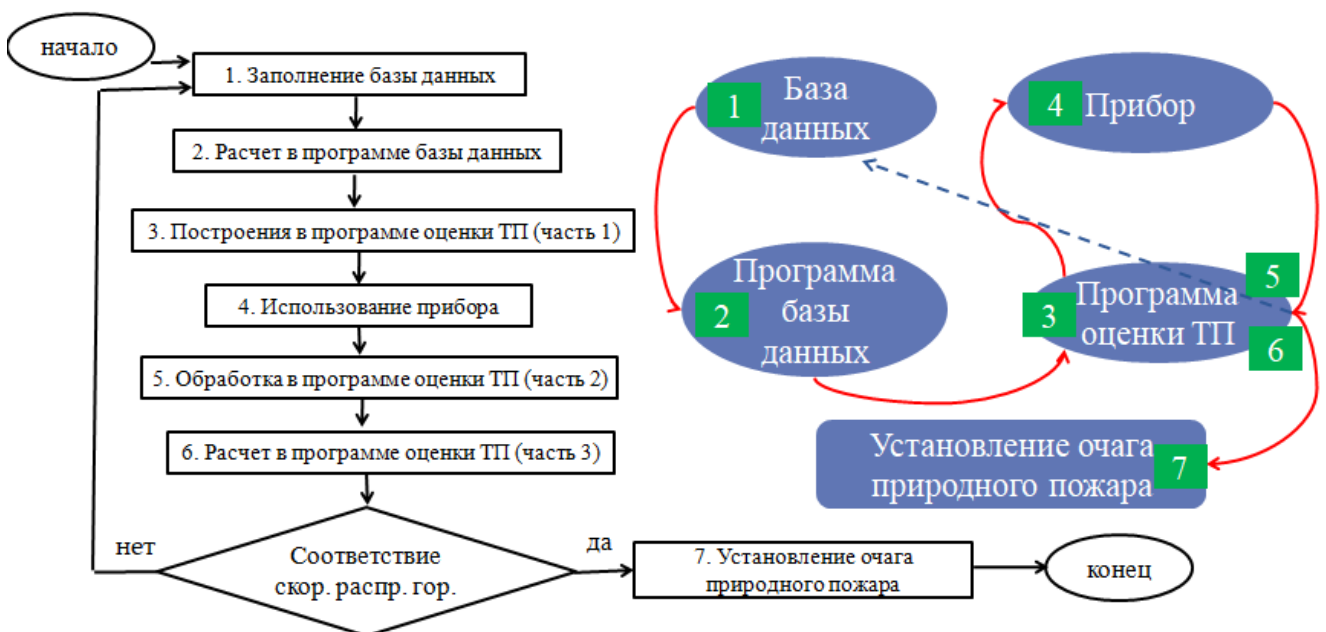


Рисунок 3.1 – Алгоритм применения комплекса технических решений

Описание этапов алгоритма применения комплекса технических решений

Первый этап. «Заполнение базы данных».

Перед заполнением базы данных с использованием средств комплексной системы мониторинга осматривают участок природного пожара для определения особенностей образования термических поражений лесных насаждений. С использованием лесотаксационного описания лесного участка конкретного пожара и результатов применения комплексной системы мониторинга проводится заполнение базы данных по характеристикам природных объектов и сведениям окружающей среды в границах образования термических поражений лесных насаждений.

Второй этап. «Расчет в программе базы данных».

Проводится расчет скорости развития пожара с использованием эмпирической модели Софронова М. А. по распространению низового природного пожара. Первоначально расчет проводится в направлении продвижения фронта пожара, затем – по направлениям флангов и тыла с учетом данных направления и скорости ветра, а также относительной влажности воздуха. Расчет вероятной скорости распространения низового пожара по модели Софронова М. А. в программе осуществляется для конкретного этапа развития горения с учетом данных мониторинга по зоне первоначального обнаружения горения.

Третий этап. «Построение в программе оценки термических поражений (часть 1)».

Осуществляется обработка картографических данных, которые получены с использованием комплексной системы мониторинга. В качестве исходной картографической схемы принимаются результаты космического мониторинга, которые имеют результаты проекции зоны горения природного пожара. В качестве примера можно выделить картографические схемы, содержащиеся в системе ИСДМ-Рослесхоз. Результатом обработки является построение проекции зоны горения. На картографической схеме по полученным значениям скорости

распространения природного пожара (фронт, фланги и тыл), строится форма проекции зоны горения, в которой, с учетом направления ветра, определяется контур области очага природного пожара с конкретными координатами, по которым имеется возможность определить данный участок непосредственно на местности с целью проведения количественной оценки степени термического поражения лесных насаждений.

Четвертый этап. «Использование прибора».

В установленной области очага природного пожара визуальным методом выбираются одинаковые породы деревьев, которые находятся в наибольшем количестве. При этом по возможности для исследования выбираются деревья со схожим диаметром и высотой ствола, но не менее 10 деревьев для сравнительного исследования. С использованием разработанного прибора проводится измерение глубины обугливания с противоположных сторон стволов однотипных пород деревьев. Полученные данные по глубине обугливания фиксируются в памяти внешнего устройства. По распределению значений глубины обугливания по различным сторонам стволов деревьев определяются признаки направленности распространения горения в области очага природного пожара. Таким образом, исследование каждого дерева по определению стороны с наибольшей глубиной обугливания позволяет установить пути развития горения в области очага природного пожара.

Пятый этап. «Обработка в программе оценки термических поражений (часть 2)».

Производится обработка полученных данных по значениям глубины обугливания на поверхности противоположных сторон деревьев в установленной области очага природного пожара. По рассчитанным в программе средним значениям измерений глубины обугливания с учетом координат расположения деревьев проводится построение картографической схемы (карты термических поражений). В программе на карте термических поражений выделяются изолиниями зоны с интервалами распределения среднего значения измерений

глубины обугливания, по которым выявляется участок с наибольшей степенью термического поражения. Анализ результатов картографической схемы позволяет провести оценку степени термического поражения лесных насаждений в целях определения предварительной зоны очага природного пожара.

Шестой этап. «Расчет в программе оценки термических поражений (часть 3)».

Производится обработка полученных данных по значениям глубины обугливания на поверхности противоположных сторон деревьев с целью определения высоты нагара на стволах. По высоте нагара определяются параметры развития горения на участке природного пожара. Ключевым параметром является скорость распространения пламени, полученное значение которого сравнивается с принятым значением для построения расчетной проекции зоны пожара и определения области очага природного пожара. Если значения отличаются друг от друга, то полученное в программе значение скорости распространения пламени принимается за основу, и проводится повторное построение расчетной проекции зоны пожара и определения области очага природного пожара, в которой строится карта термических поражений с корректировочными данными. Если полученное в программе значение скорости распространения пламени не отличается от принятого значения для построения расчетной проекции зоны пожара, то в установленной области определяется итоговый очаг природного пожара.

Седьмой этап. «Установление очага природного пожара».

Зона на карте термических поражений, которая содержит наибольшие средние значения глубины обугливания стволов деревьев с учетом полученных признаков направленности распространения горения, определяет итоговый очаг природного пожара.

3.2 Методические рекомендации применения комплекса технических решений

Методические рекомендации по применению комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – 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 3.1

Этап	Описание этапа	Средства реализации
1	2	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

Методические рекомендации для эксперта по исследованию участка природного пожара в границах визуальной видимости зоны горения с использованием прибора «Устройство для определения очага природного пожара» представлены следующими этапами:

1) определение границы расположения лесных насаждений для исследования устройством для измерения глубины обугливания. В данной зоне определить породу деревьев, особенности выгорания, рельеф, провести ориентировку по сторонам света, определить тип пожара и вид растительности;

2) перевод устройства для измерения глубины обугливания в рабочее положение. Перед проведением измерения на экране блока расчета выставлять номер измерения, соответствующий порядку исследованного объекта. Начинать проведение измерений на каждом дереве с северной стороны для соблюдения принципа последовательности фиксации измерений по их последующему сравнению;

3) формирование информации в табличном виде на цифровом устройстве по значениям глубины обугливания и координат расположения каждого дерева.

Выполнение расчетов в программе по среднему значению глубины обугливания каждого дерева;

4) построение на цифровом устройстве карты термических поражений с отражением для наглядности полученных значений глубины обугливания на противоположных сторонах стволов деревьев;

5) построение схемы с изображением направления наибольшего воздействия тепловых потоков на стволы деревьев и определения признаков направленности распространения горения;

6) проведение реконструкции процесса развития горения на участке природного пожара;

7) формирование вывода по месту расположения очага природного пожара.

Определение высоты нагара стволов деревьев в зоне очага природного пожара с использованием прибора «Устройство для определения очага природных пожаров» проводится по следующему алгоритму:

1) первые значения глубины обугливания определяются со всех сторон ствола на наивысшей высоте, где произошло обугливание поверхности дерева;

2) вторые значения глубины обугливания определяются со всех сторон ствола на середине участка между уровнем земли и измерением первых значений глубины обугливания;

3) третьи значения глубины обугливания определяются со всех сторон ствола на середине участка между первым и вторым измерениями глубины обугливания;

4) четвертые значения глубины обугливания определяются со всех сторон ствола на середине участка между уровнем земли и измерением вторых значений глубины обугливания;

5) определение среднего значения глубины обугливания по сторонам света с учетом четырех проведенных измерений;

6) наибольшее значение средней глубины обугливания, полученное на определенной стороне дерева, выбирается как квалифицирующее для установления на этой стороне высоты нагара;

7) измерение высоты нагара на стороне дерева с полученным наибольшим значением средней глубины обугливания;

8) определение параметров природного пожара с учетом полученной квалифицирующей высоты нагара.

Для наглядности на рисунке 3.2 изображены условно на стволе дерева по высоте зоны с примером порядка очередности для измерения глубины обугливания.

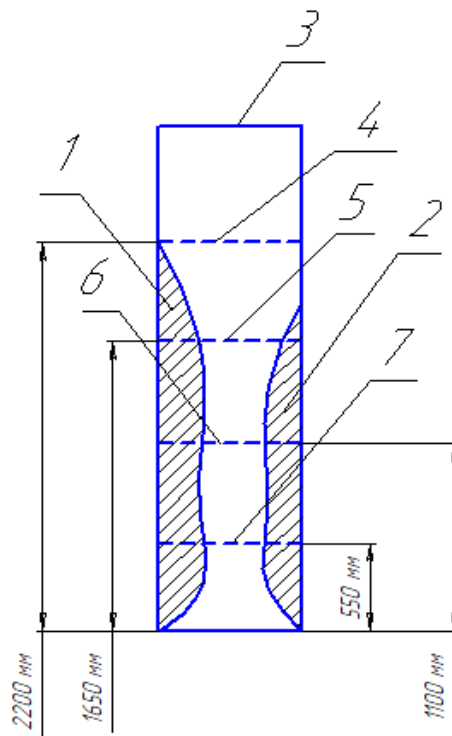


Рисунок 3.2 – Пример порядка очередности измерения глубины обугливания на стволе дерева. Обозначения: 1 – обугливание с наветренной стороны;

2 – обугливание с подветренной стороны; 3 – ствол дерева;

4 – участок № 1 по измерению глубины обугливания;

5 – участок № 2 по измерению глубины обугливания;

6 – участок № 3 по измерению глубины обугливания;

7 – участок № 4 по измерению глубины обугливания

Разработанные рекомендации определения высоты нагара стволов деревьев в зоне очага природного пожара позволяют оценить не просто среднюю высоту пламени по средней величине высоты нагара, а максимальную высоту пламени на конкретном выбранном участке по величине высоты нагара с наибольшей степенью обугливания. Следовательно, рекомендации позволяют учитывать в дальнейших расчетах последствия от воздействия максимальной мощности теплового потока на данном участке.

Таким образом, для применения комплекса технических решений разработаны методические рекомендации, которые позволяют на основе проводимых исследований с применением всех взаимосвязанных между собой элементов по логическим схемам выполняемых операций определить очаг природного пожара.

3.3 Практическая реализация применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений

Практическая реализация применения комплекса технических решений к оценке термических поражений лесных насаждений представляется на иллюстрирующем примере исследования пожара в границах лесного участка с целью определения очага природного пожара. Задача исследования – проведение оценки степени термического поражения лесных насаждений с использованием элементов разработанного комплекса технических решений.

Реализация первого этапа. Общая площадь зоны горения составила 540 га, форма зоны горения схожая с прямоугольником. Термические поражения отразились по всей площади зоны горения. Произошло выгорание крон деревьев, обугливание стволов деревьев и кустарников, выгорание травянистого покрова. Вид пожара – лесной низовой. Деревья расположены на площади до 340 га, преимущественно расположены лиственные породы. Кустарники и травы расположены на площади до 110 га. Наличие горючих материалов в объеме не

выявлено. Погодные условия: температура $+28^{\circ}\text{C}$, влажность 35%, давление 755 мм рт. ст., ветер юго-восточный, скорость 3 м/с. Пожар был ликвидирован в 14 часов 50 минут. В 10 часов 40 минут контуры пожара наблюдались только в границах лесного участка.

Реализация второго этапа. По результатам выполненных расчетов в программе установлено:

- скорость ветра под пологом леса составила 1,14 м/с;
- скорость развития пожара для фронта составила 0,528 м/мин;
- скорость развития пожара для фланга и тыла составила 0,35 м/мин.

Реализация третьего этапа. Из обстоятельств известно, что пожар развивался не менее 8 часов, т. е. около 480 мин. Соответственно, по фронту пожар распространился на 253 м, по тылу и флангам пожар распространился на 168 м. Форма проекции зоны горения, в которой, с учетом направления ветра, определена область очага природного пожара, отмечена на рисунке 3.3.

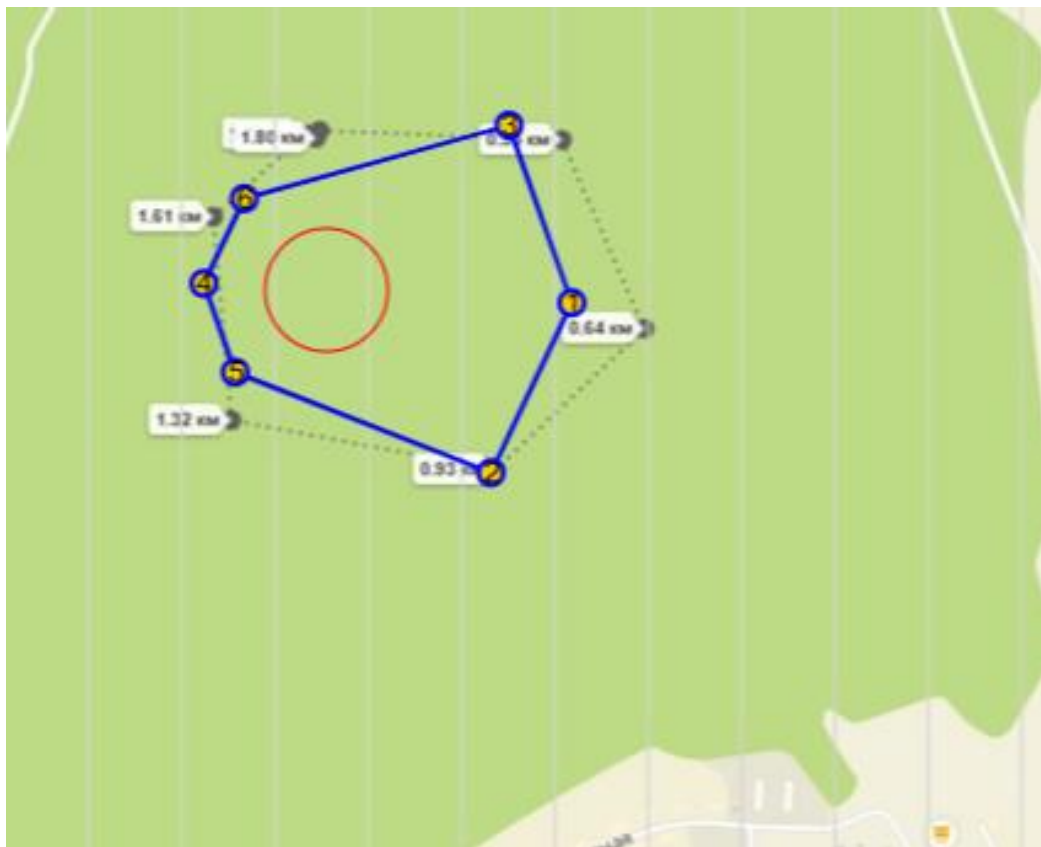


Рисунок 3.3 – Форма проекции зоны горения с областью очага природного пожара

Реализация четвертого этапа. В установленной области очага природного пожара расположены лиственные породы деревьев (березы). Исследованию подвергается участок природного пожара, который состоит из двадцати одного однотипного дерева, который изображен на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – 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 3.5.

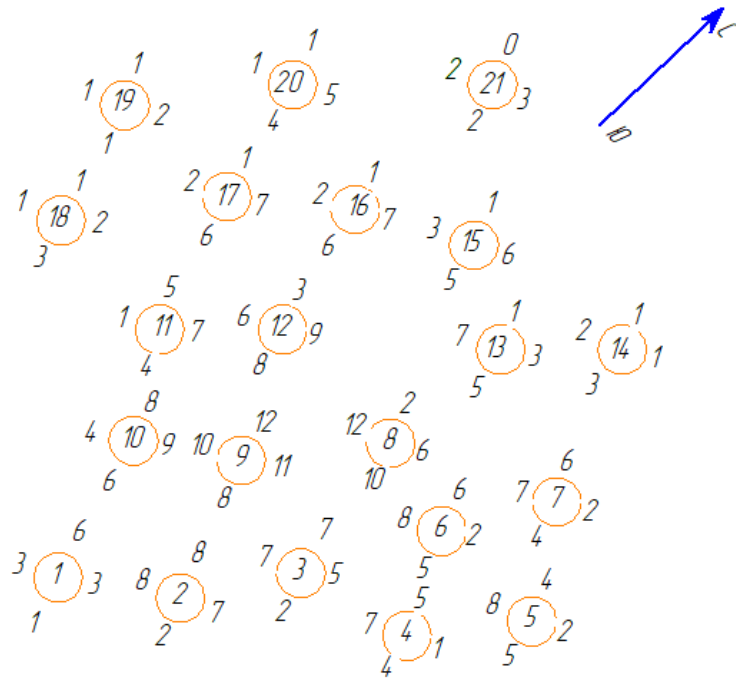


Рисунок 3.5 – Результаты полученных значений глубины обугливания деревьев

Результаты наибольшего теплового воздействия на стволы деревьев по распределению полученных значений глубины обугливания по сторонам света представлены на рисунке 3.6.

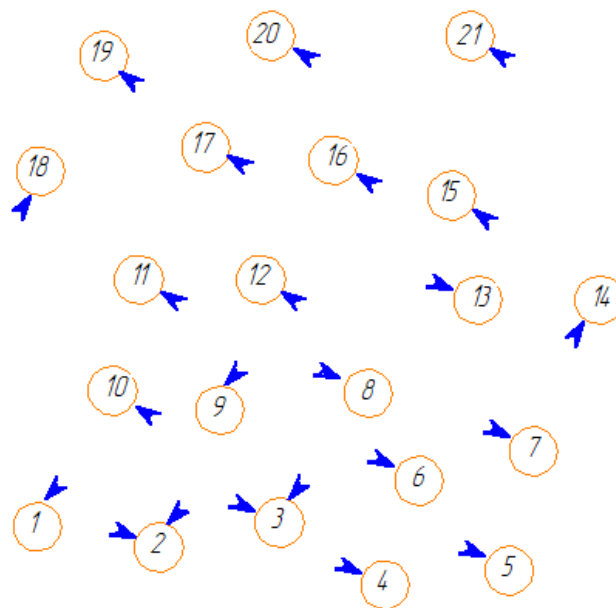


Рисунок 3.6 – Результаты наибольшего теплового воздействия на стороны деревьев

Реализация пятого этапа. Результаты полученных значений глубины обугливания деревьев в установленной области очага природного пожара и результаты выполнения расчетов по среднему арифметическому значению измерений глубины обугливания по каждому объекту представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты значений глубины обугливания деревьев в установленной области очага природного пожара

Номер объекта	Глубина обугливания по сторонам света, мм				Среднее значение глубины обугливания, мм
	Север	Юг	Восток	Запад	
1	2	3	4	5	6
№ 1	6	1	3	3	3,25
№ 2	8	2	7	8	6,25
№ 3	7	2	5	7	5,25
№ 4	5	4	1	7	4,25
№ 5	4	5	2	8	4,75
№ 6	6	5	2	8	5,25
№ 7	6	4	2	7	4,75
№ 8	2	10	6	12	7,50
№ 9	12	8	11	10	10,25
№ 10	8	6	9	4	6,75
№ 11	5	4	7	1	4,25
№ 12	3	8	9	6	6,50
№ 13	1	5	3	7	4,00
№ 14	1	3	1	2	1,75
№ 15	1	5	6	3	3,75
№ 16	1	6	7	2	4,00
№ 17	1	6	7	2	4,00
№ 18	1	3	2	1	1,75
№ 19	1	1	2	1	1,25
№ 20	1	4	5	1	2,75
№ 21	0	2	3	2	1,75

Минимальное среднее значение измерения глубины обугливания составило 1,25 мм, максимальное среднее значение измерения глубины обугливания составило 10,25 мм. Целесообразно выделить четыре интервала между значениями глубины обугливания, с которой будут строиться изолинии на карте термических поражений. Следовательно, шаг между интервалами составит 2,25 мм. Соответственно, границы интервалов между изолиниями имеют

следующий вид: первый интервал: 1,25–3,5 мм; второй интервал: 3,5–5,75 мм; третий интервал: 5,75–8 мм; четвертый интервал: 8–10,25 мм.

Далее с помощью программы, которая позволяет строить изолинии и зоны по не располагающимся на одинаковом расстоянии друг от друга точкам измерений, проводится построение карты термических поражений с распределением среднего значения глубины обугливания по исследованным деревьям (рисунок 3.7).

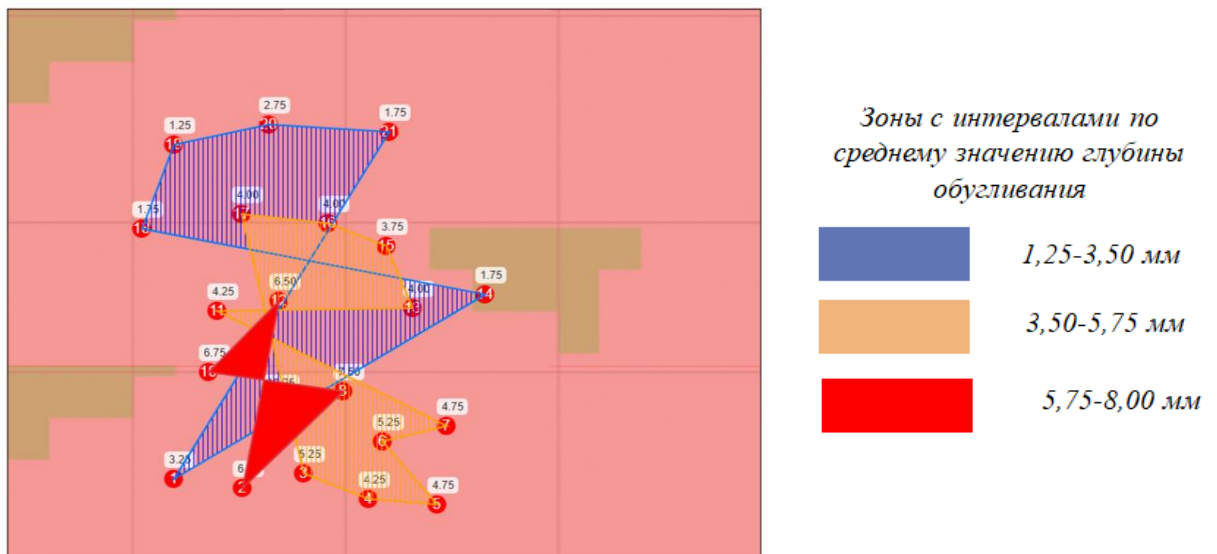


Рисунок 3.7 – Карта термических поражений с распределением среднего значения глубины обугливания

По карте термических поражений определяем, что в третьем интервале с наибольшим средним значением глубины обугливания находятся несколько исследованных объектов под №№ 2, 8, 10, 12. Однако наибольшее среднее значение глубины обугливания получено в месте расположения дерева № 9.

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 3.8.

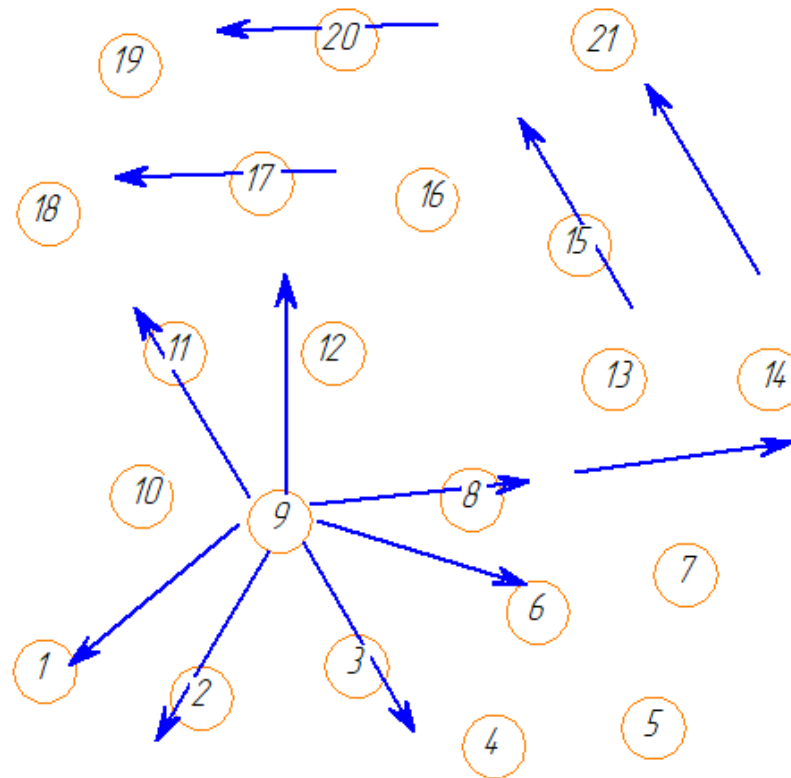


Рисунок 3.8 – Пути развития пожара в области очага природного пожара

Реализация шестого этапа. Представим результат исследования дерева в области очага природного пожара, что отмечено на рисунке 3.9.

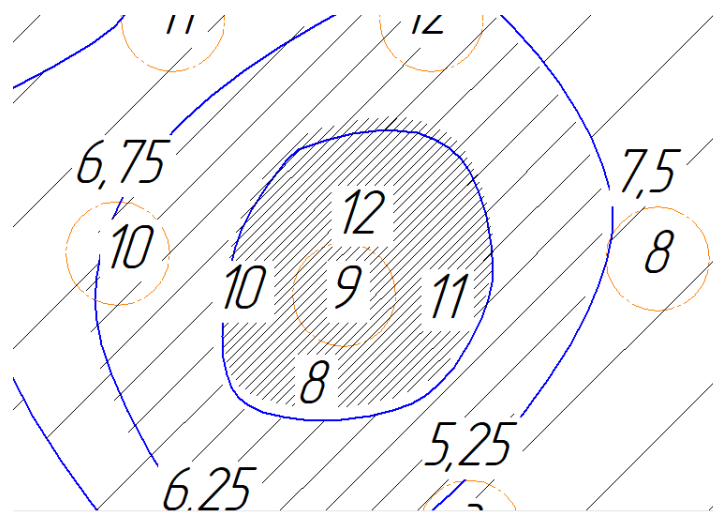


Рисунок 3.9 – Выбранный для исследования объект № 9

Полученные значения глубины обугливания на различных участках ствола дерева № 9 представим в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты измерений глубины обугливания на различных участках ствола дерева

Виды измерения	Глубина обугливания по сторонам света, мм			
	север	юг	восток	запад
1	2	3	4	5
№ 1 (на высоте ствола 2,2 м)	2	0	1	1
№ 2 (на высоте ствола 1,1 м)	12	8	11	10
№ 3 (на высоте ствола 1,65 м)	8	5	9	5
№ 4 (на высоте ствола 0,55 м)	14	9	14	10
расчетное среднее значение	9	5,5	8,75	6,5

Наибольшее расчетное среднее значение глубины обугливания (9 мм) было получено на северной стороне. Соответственно высота нагара для объекта № 9 составила 2,2 м (22 дм). По высоте нагара рассчитаем высоту пламени в районе объекта № 9: $x = (22 + 1,42) / 2,06 = 11,4$ дм (1,14 м).

Высота пламени в районе объекта № 9 составила 1,14 м. Скорость низового пожара в районе объекта № 9 составила 1,55 м/мин. Интенсивность пожара в районе объекта № 9 составила 12 тыс.ккал/м×мин. Скорость конвекции в районе объекта № 9 составила 2,98 м/с.

Таким образом, расчетное значение скорости распространения пламени в установленной области очага природного пожара составила 1,55 м/мин, что является отличным от значений, полученных с использованием исходных данных (для фланга – 0,528 м/мин; для тыла и фланга – 0,35 м/мин). С использованием программы по оценке степени термических поражений природных объектов с учетом полученного расчетного значения скорости распространения пламени (1,55 м/мин) проведем повторное построение проекции зоны пожара.

Реализация седьмого этапа. С учетом построения повторной проекции зоны пожара в установленной области расположения очага определяется итоговый очаг природного пожара, где произошло образование наибольшей степени глубины обугливания (рисунок 3.10).

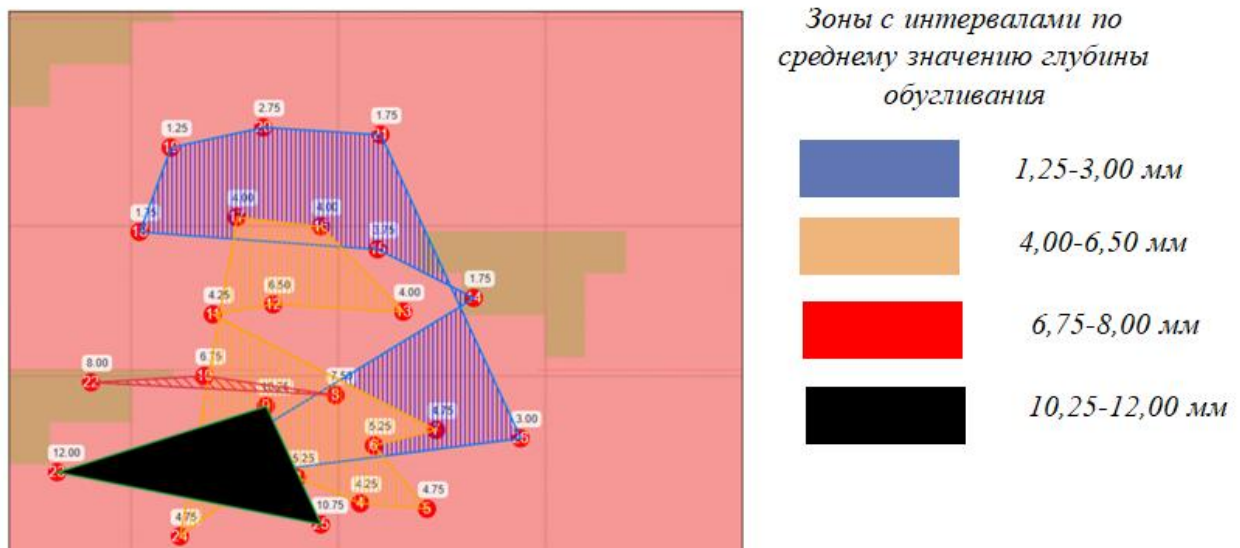


Рисунок 3.10 – Карта термических поражений с распределением среднего значения измерения глубины обугливания

Таким образом, 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.

Целесообразность применения комплекса технических решений по оценке термических поражений лесных насаждений определяется трудоемкостью использования разработанных технического и программных средств в сравнении с современными применяемыми методами по исследованию природных пожаров в рамках дознания сотрудниками органов дознания и судебно-экспертных учреждений [78–80].

По описанию практической реализации применения комплекса технических решений на основе иллюстрирующего примера определена трудоемкость

использования разработанных технического и программных средств в сравнении с применяемыми методами современной методики по исследованию природных пожаров, которая представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Трудоемкость использования разработанных технического и программных средств в сравнении с применяемыми методами современной методики по исследованию природных пожаров

№ п/п	Наименование этапа применения комплекса технических решений	Длительность выполнения, мин	№ п/п	Наименование этапа современной методики	Длительность выполнения, мин
1.	Заполнение базы данных	15	1.	Изучение результатов мониторинга	5
2.	Расчет скорости развития кромки пожара	1	2.	Измерение и фиксирование глубины обугливания на деревьях с использованием штангенциркуля	42
3.	Построение проекции зоны горения с предварительной областью очага	10			
4.	Измерение глубины обугливания на деревьях	21	3.	Изъятие проб углистых остатков	20
5.	Построение карты термических поражений по средним значениям глубины обугливания	1	4.	Исследование проб углей электрорезистивным методом	40
6.	Получение результатов по выявлению зоны с наибольшей степенью термического поражения	1	5.	Проведение расчетов на определение длительности пиролиза	20
7.	Определение параметров развития горения	5	6.	Построение карты термических поражений	30
8.	Построение итоговой проекции зоны пожара	5	7.	Формирование результата по зоне с наибольшей степенью термического поражения	5
9.	Установление зоны очага природного пожара	1			
Итого		60	Итого		162

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. Следовательно, тем самым подтверждается эффективность комплекса технических решений по затрачиваемому времени на применение разработанных технического и программных средств.

В целях обоснования применения комплекса технических решений, позволяющего объективно и достоверно проводить оценку термических поражений лесных насаждений в целях повышения точности определения очага природного пожара, проанализирована характеристика нескольких лесных пожаров в различных регионах страны за текущий год в системе ИСДМ-Рослесхоз [138–141]. С использованием разработанных программных средств определены параметры развития каждого выбранного лесного пожара, по которым с учетом картографических данных космического мониторинга установлена область очага природного пожара. Результаты анализа выбранных лесных пожаров в различных регионах страны за текущий год с использованием разработанных программных средств по определению параметров развития горения и области очага природного пожара представлены в таблице 3.5.

Таким образом, 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.

Таблица 3.5 – Результаты анализа лесных пожаров с использованием разработанных программных средств по определению параметров развития горения и области очага природного пожара

№ пожара, ссылка на источник	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 [138]	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
№ 2 [139]	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

Продолжение таблицы 3.5

№ пожара, ссылка на источник	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
№ 3 [140]	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 [141]	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

3.4 Сравнительный анализ разработанного научного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений с современной методикой

В результате развития природных пожаров происходит образование термических поражений на значительной по площади территории. Оценка степени термических поражений лесных насаждений должна проводиться в площади всего участка природного пожара, а также наиболее детально в границах локального участка меньших размеров, из которого происходило первоначальное развитие горения по лесным насаждениям.

В соответствии с современной методикой для оценки термических поражений лесных насаждений применяются визуальные и инструментальные методы исследования, а также источники информации по обстоятельствам обнаружения горения. Однако зачастую необходимая информация отсутствует или не имеется возможности применения инструментальных методов исследования, по которым выявляются признаки направленности распространения горения с учетом образования различной степени термических поражений лесных насаждений. В площади всего участка природного пожара представляется трудозатратным применение визуального метода. В связи с этим в современной методике для выявления локальной зоны меньших размеров используются результаты применения комплексной системы мониторинга, а также данные по опросу очевидцев пожара. Однако получаемые при этом результаты не всегда объективно и достоверно позволяют установить границы локального участка природного пожара, по результатам чего не представляется возможным определить очаг природного пожара.

В рамках настоящего диссертационного исследования разработан научный подход, который основывается на применении созданного комплекса с техническим и программными средствами, который позволяет оценить степень термических поражений лесных насаждений как на площади всего участка природного пожара, так и в границах локального участка. Результаты от

применения разработанного комплекса технических решений повышают точность определения очага природного пожара. Сравнение современной методики и разработанного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений представлено на рисунке 3.11.

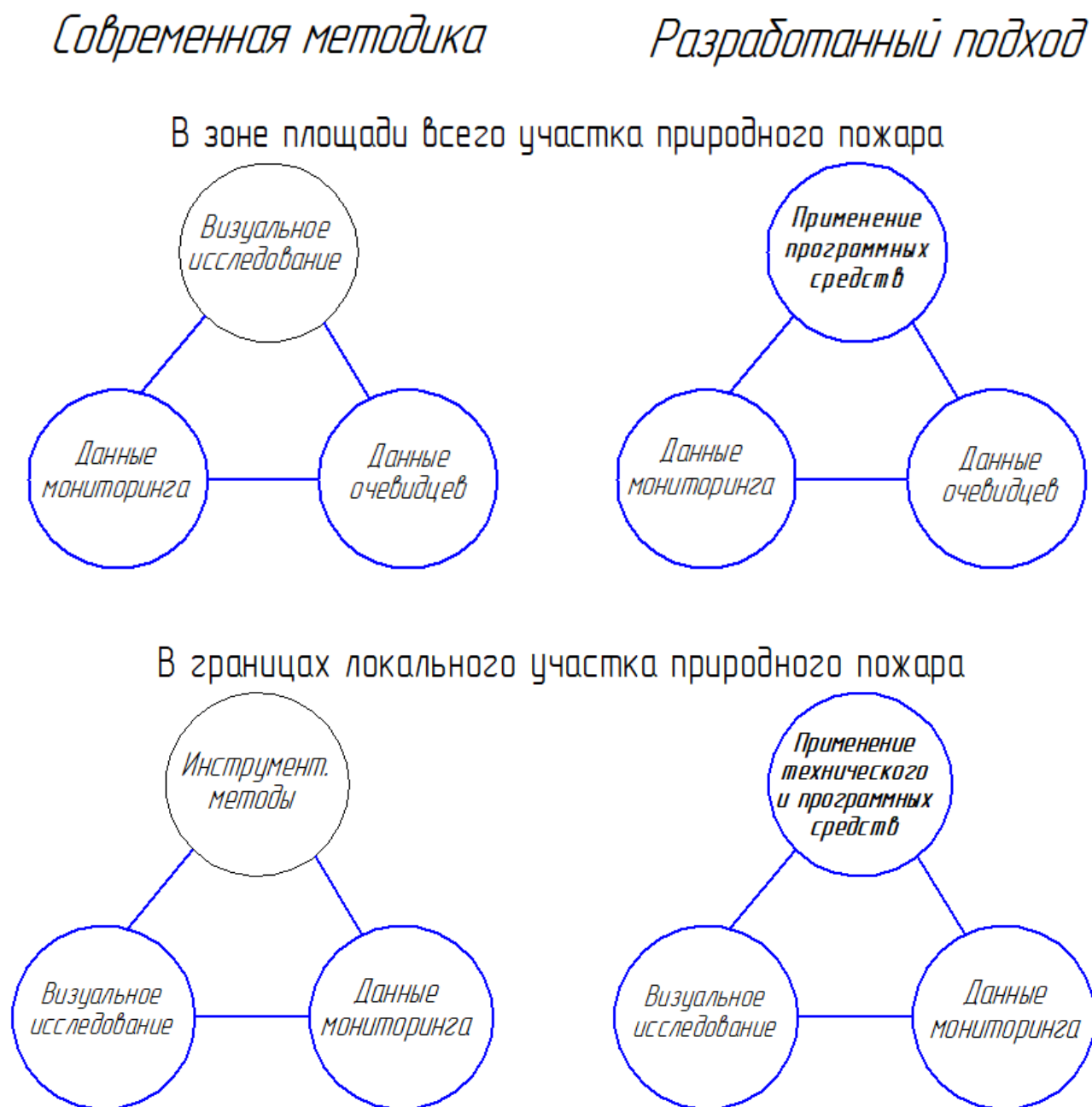


Рисунок 3.11 – Сравнение современной методики и разработанного подхода к оценке термических поражений лесных насаждений

Сравнение современной методики и разработанного подхода по использованию методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений представлено на рисунке 3.12.

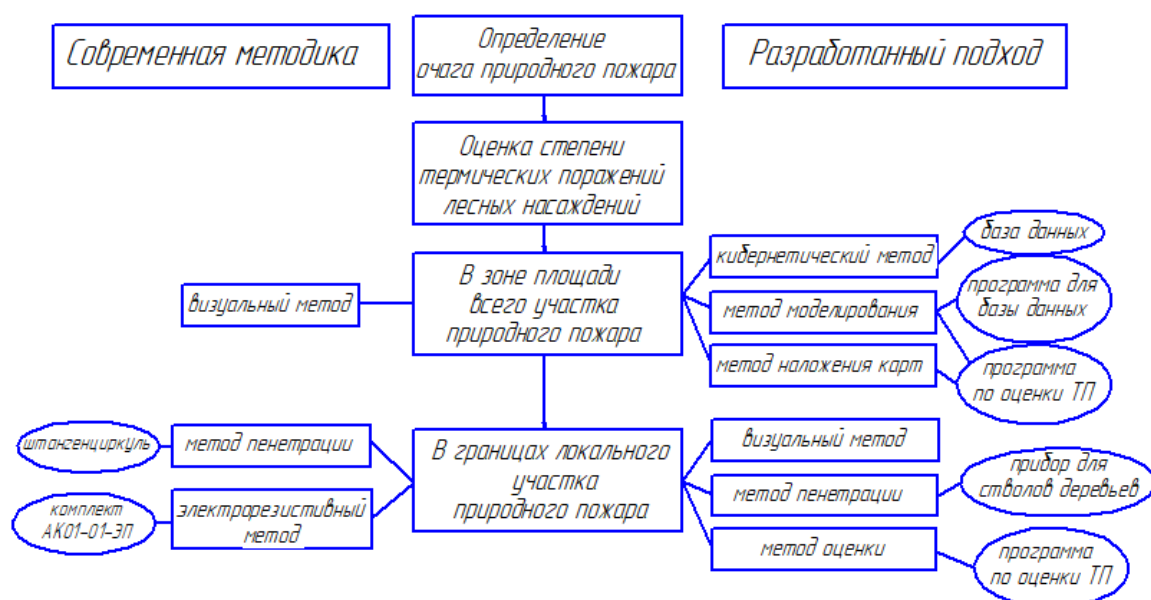


Рисунок 3.12 – Сравнение современной методики и разработанного подхода по использованию методов исследования к оценке термических поражений лесных насаждений

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.

3.5 Выводы по главе 3

1. 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.

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

3. 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.

4. Определена трудоемкость использования разработанных технического и программных средств в сравнении с применяемыми методами современной методики по исследованию природных пожаров. Установлена эффективность комплекса технических решений по затрачиваемому времени на применение разработанных технического и программных средств.

5. С использованием разработанных программных средств определены параметры развития горения нескольких лесных пожаров в различных регионах страны с целью возможности установления по ним области очага природного пожара. Тем самым установлена возможность и целесообразность применения комплекса технических решений, позволяющего достоверно проводить оценку термических поражений лесных насаждений в целях повышения точности определения очага природного пожара.

6. Проведен сравнительный анализ разработанного научного подхода с современной методикой оценки термических поражений лесных насаждений. Определено, что разработанный комплекс технических решений с комбинированным использованием методов исследования эффективно дополняет современную методику оценки термических поражений лесных насаждений в целях повышения точности определения очага природного пожара.

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство № 1096546 А1 СССР, МПК G01N 21/64. Способ определения места возникновения пожара: № 3519133: заявл. 08.12.1982: опубл. 07.06.1984 / И. Д. Чешко, К. П. Смирнов, Б. С. Егоров [и др.]; заявитель Ленинградский филиал Всесоюзного Научно-исследовательского Института Противопожарной Обороны.
2. Авторское свидетельство № 1377791 А1 СССР, МПК G01R 33/16. Способ определения очага пожара: № 3658368: заявл. 24.10.1983: опубл. 28.02.1988 / А. В. Данилов.
3. Алексеев С. Г., Глухих П. А., Барбин Н. М. Некоторые мифы и стереотипы в судебной пожарно-технической экспертизе. Часть 1 // Техносферная безопасность. 2018. № 2 (19). С. 25–32.
4. Горение древесины при пожаре: учебное пособие / С. П. Амельчугов, Р. Г. Шубкин, А. В. Антонов [и др.]. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. 148 с.
5. Арцыбашев Г. С. Основные задачи лесной пирологии // Горение и пожары в лесу: сборник статей. Красноярск, 1984. С. 5–7.
6. Исследование параметров обугливания деревянных конструкций длительного срока эксплуатации / О. В. Арцыбашева, А. Ю. Гречко, Б. Б. Серков [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2013. № 3. С. 64–68.
7. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений / С. А. Барталев, Ф. Б. Стыценко, С. А. Хвостиков [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 176–193.
8. Беляк А. Л., Руденко М. Б. Определение степени обугливания древесностружечных материалов в условиях низкотемпературной деструкции в

рамках производства пожарно-технической экспертизы // Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2018. № 3(7). С. 8–11.

9. Богатищев А. И., Зернов С. И. Концепция применения технических средств и методов при исследовании и экспертизе пожаров // Технологии техносферной безопасности. 2009. № 4 (26). С. 7.

10. Богатищев А. И., Зернов С. И., Карпов С. Ю. Методы решения задач пожарно-технической экспертизы: учебное пособие для курсантов и слушателей по очной и заочной форме обучения. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 153 с.

11. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.

12. Бруевич М. Ю. Анализ совокупности информации и формирование вывода об очаге пожара по преступлениям, связанным с пожаром // Криминалистика – наука без границ: традиции и новации: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 26–27 ноября 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет МВД РФ, 2025. С. 43–48.

13. Бруевич М. Ю., Антонов А. О., Зуев А. В. Особенности подготовки материалов для производства пожарно-технической экспертизы // Вопросы российского и международного права. 2022. Т. 12. № 9А. С. 293–300.

14. Брюханов А. В., Осавелюк П. А. Справочно-информационная система «Природные пожары» // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2009. № 2(3). С. 17–22.

15. Валендик Э. Н., Матвеев П. М., Софронов М. А. Крупные лесные пожары. М.: «Наука», 1979. 198 с.

16. Волокитина А. В. Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами: практические рекомендации. Красноярск, 2002. 63 с.

17. Волокитина А. В., Софронова Т. М. К методике определения запасов растительных горючих материалов // Леса России: политика, промышленность,

наука, образование: материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2023 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2023. С. 202–204.

18. Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Методы создания информационной базы данных для прогноза поведения пожаров растительности // Научные основы устойчивого управления лесами: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 30-летию ЦЭПЛ РАН, Москва, 25–29 апреля 2022 года. М.: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2022. С. 148–151.

19. Волокитина А. В., Софронов М. А., Корец М. А. Проблема прогнозирования поведения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19. № 4. С. 41–48.

20. Волокитина А. В. Прогнозирование пирологических ситуаций в бореальных лесах // Вестник КрасГАУ. 2014. № 1 (88). С. 77–83.

21. Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Прогнозирование поведения пожаров растительности // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2020. № 1 (373). С. 9–25.

22. Волокитина А. В. Разработка определителя типов основных проводников горения // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 50–62.

23. Организация хранения данных спутникового мониторинга лесных пожаров / А. А. Галеев, А. А. Прошин, Д. В. Ершов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2005. № 2. Т. 2. С. 367–371.

24. Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Дементьев Ф. А. Пожарно-техническая экспертиза: учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2013. 108 с.

25. Галишев М. А., Бельшина Ю. Н., Дементьев Ф. А. Полевые инструментальные методы исследования объектов пожарно-технической

экспертизы: учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018. 136 с.

26. Галишев М. А. Установление технической причины пожара при расследовании дел о пожарах. СПб: СПб университет ГПС МЧС России, 2007. 256 с.

27. Голиков А. Д., Черкасов Е. Ю., Лобова С. Ф. Обзор приближённых методов расчёта обугливания деревянных конструкций // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2016. № 3-4. С. 20–30.

28. Горбунов А. С. Разработка метода и прибора контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара: дис. ... канд. техн. наук / Горбунов Александр Сергеевич. Красноярск, 2023. 187 с.

29. ГОСТ 12.1.033-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения: введ. 1982-07-01. М.: Государственный комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 1981. 11 с.

30. ГОСТ 18486-87. Лесоводство. Термины и определения: введ. 1989- 01-01. М.: Государственный комитет СССР по стандартам: Изд-во стандартов, 1988. 18 с.

31. ГОСТ 16588-91. Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. М.: Стандартиформ, 2009. 5 с.

32. ГОСТ Р 22.1.09-99. Государственный стандарт Российской Федерации «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования». М.: Стандартиформ, 1999. 11 с.

33. ГОСТ Р ИСО 5492-2014. Органолептический анализ. Словарь. М.: Стандартиформ, 2020. 57 с.

34. ГОСТ Р 56695-2015. Возобновляемые источники сырья. Лесные ресурсы. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2016. 23 с.

35. ГОСТ Р 59058-2020. Охрана окружающей среды. Защита, рациональное использование и воспроизводство лесов. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2020. 16 с.

36. ГОСТ Р 70739-2023. Судебная пожарно-техническая экспертиза. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2023. 40 с.
37. ГОСТ Р 70861-2023. Охрана лесов от пожаров. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 20 с.
38. ГОСТ Р 7.0.110-2025. Национальный стандарт Российской Федерации. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Оригиналы текстовые авторский и издательские. Требования к типографическому оформлению. М.: Российский институт стандартизации, 2025. 20 с.
39. Грачева О. С., Ремизов П. В. Понятие леса в российском законодательстве // Вопросы российского и международного права. 2022. Т. 12. № 7-1. С. 35–41.
40. Грибунов О. П., Морозов Р. О. Использование результатов информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров при расследовании уничтожения или повреждения лесных насаждений // ОКриминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2022. № 1 (21). С. 26–34.
41. Гришин А. М. Общая физико-математическая модель зажигания и горения древесины // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2010. № 2 (10). С. 60–70.
42. Гришин А. М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2008. № 2 (3). С. 105–114.
43. Гусев В. Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. СПб: ФГУ «СПбНИИЛХ», 2005. 199 с.
44. Данилов П. В., Мигунова Ю. С., Краснов А. А. Исследование процесса горения лесных горючих материалов с применением математического моделирования // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 1 (38). С. 37–42.

45. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 404 с.

46. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. 424 с.

47. Об особенностях применения геоинформационной системы дистанционного мониторинга земли при установлении обстоятельств и причин лесных пожаров / А. А. Дятлов, Е. С. Убиенных, М. А. Никулин [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 1 (36). С. 65–77.

48. Экспертное исследование на месте пожара неорганических материалов: методические рекомендации / Ю. Н. Елисеев, И. Д. Чешко, В. Г. Плотников [и др.]. СПб.: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. 36 с.

49. Экспресс-методы экспертного исследования неорганических материалов при установлении очага пожара: методические рекомендации / Ю. Н. Елисеев, И. Д. Чешко, В. Г. Плотников [и др.]. СПб.: ФГБОУ ВО «СПб университет ГПС МЧС России», 2019. 61 с.

50. Заключение № 144/21 от 03 сентября 2021 года по причине пожара, произошедшего 13.08.2021 по адресу: Ивановская область, Ильинский район, Щенниковское участковое лесничество.

51. Заключение № 209/21 от 17 ноября 2021 года по причине пожара, произошедшего 18.04.2021 на лесном участке квартала 93 выдела 20, 29 Мостовского участкового лесничества ОГКУ «Южское лесничество».

52. Залесов С. В., Залесова Е. С., Оплетаев А. С. Охрана лесов от пожаров: пособие для лесного пожарного. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. 63 с.

53. Зернов С. И. Задачи пожарно-технической экспертизы и методы их решения: учебное пособие. М.: ГУ ЭКЦ МВД России, 2001. 200 с.

54. Зернов С. И. Расчетные оценки при решении задач пожарно-технической экспертизы: учебное пособие. М.: ЭКЦ МВД России, 1992. 88 с.

55. Осмотр места происшествия с использованием беспилотного летательного аппарата: методические рекомендации / В. С. Зырянов, А. А. Шеков, А. Г. Уланов [и др.]. Иркутск: ФГКОУ ВО ВСИ МВД России, 2015. 42 с.

56. Иванилова Т. Н., Коморовская Н. А. Компьютерное моделирование геометрии динамики лесного пожара на основе информации ИСДМ-Рослесхоз // *Universum: технические науки*. 2013. № 1. С. 4.

57. Каверин А. В., Киселева О. Н. Использование метода наложения карт в управлении растительными ресурсами Республики Мордовия // Структура, динамика и функционирование природно-социально-производственных систем: наука и практика: межвузовский сборник научных трудов. Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2018. С. 206–209.

58. Казанцев С. Я., Скрипко Г. А. Особенности расследования лесных пожаров и возникающие в связи с этим проблемы // *Вестник Казанского юридического института МВД России*. 2023. Т. 14. № 3(53). С. 104–111.

59. Калашников Д. В., Апарин А. А., Семенов А. О. Анализ методов наземного мониторинга лесных пожаров // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной празднованию 60-летия Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, Иваново, 21 мая 2026 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2026. С. 206–213.

60. Калашников Д. В., Апарин А. А., Семенов А. О. Анализ способов наземного мониторинга природных пожаров с использованием тепловизоров // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 27 марта 2025 года. Иваново:

Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2025. С. 271–275.

61. Калашников Д. В., Апарин А. А., Семенов А. О. Анализ способов проведения авиационного мониторинга лесных пожаров // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной празднованию 60-летия Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, Иваново, 21 мая 2026 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2026. С. 213–217.

62. Калашников Д. В., Апарин А. А., Семенов А. О. Анализ технических средств и информационных ресурсов для обеспечения мониторинга природных пожаров // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 27 марта 2025 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2025. С. 267–270.

63. Калашников Д. В., Дашин Н. С., Трифонов Е. А. Инструментальные исследования металлических крепежных изделий (гвоздей), подверженных термическому воздействию в ходе возникновения и развития пожара // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России, Иваново, 11 декабря 2019 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2019. С. 91–97.

64. Калашников Д. В., Семенов А. О. Мониторинг пожаров и ЧС на открытых территориях // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 26 мая 2023 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. С. 83–88.

65. Калашников Д. В., Семенов А. О. Методы раннего обнаружения природного пожара // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VII международной научно-практической конференции, Иваново, 17 октября 2024 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. С. 139–143.

66. Калашников Д. В., Семенов А. О. Об организации охраны лесов от пожаров на территории Ивановской области // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы IX Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 19–20 марта 2024 года. М.: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 89–94.

67. Калашников Д. В., Семенов А. О. Особенности использования комплекса «Термические точки» на территории Ивановской области // Актуальные вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 26 мая 2023 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. С. 77–83.

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

69. Калашников Д. В., Семенов А. О., Титова Е. С. Особенности применения технических средств в мониторинге развития природных пожаров // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VII международной научно-практической конференции, Иваново, 17 октября 2024 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. С. 134–139.

70. Калашников Д. В., Семенов А. О. Особенности современного мониторинга природных пожаров в Российской Федерации // Актуальные

вопросы пожаротушения: сборник материалов III Всероссийского круглого стола, Иваново, 28–29 марта 2024 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. С. 92–96.

71. Калашников Д. В., Семенов А. О. О терминах и понятиях в области мониторинга природных пожаров // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 11 апреля 2024 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. С. 155–158.

72. Калашников Д. В., Семенов А. О. Оценка степени пожарной опасности в лесах при мониторинге природных пожаров // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 23 ноября 2023 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. С. 1050–1054.

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

74. Калашников Д. В., Семенов А. О., Смылова А. И. Система мониторинга как средство для экспертного исследования природных пожаров / // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России, Иваново, 21 ноября 2024 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная

академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2024. С. 885–889.

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

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

77. Каницкая Л. В. Лесная пирология: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2013. 206 с.

78. Карасев Е. В., Таратанов Н. А. Оценка эффективности деятельности органов дознания государственного пожарного надзора федеральной противопожарной службы // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 3(32). С. 61–71.

79. Карасев Е. В., Таратанов Н. А., Бирюкова И. А. Оценка эффективности деятельности сотрудников и работников судебно-экспертного учреждения // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 1(34). С. 84–93.

80. Карпов С. Ю. Определение факторов и критериев оценки деятельности дознавателя МЧС России на основе экспертного метода // Технологии техносферной безопасности. 2019. № 4(86). С. 87–95.

81. Кириллов Г. Н., Галишев М. А., Кондратьев С. А. Расследование пожаров: учебник. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2007. 544 с.

82. Мобильные средства тушения некоторых видов ландшафтных пожаров / В. М. Климовцов, В. А. Максимкин, И. А. Ольховский [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 3 (105). С. 155–169.

83. Коморовский В. С., Доррер Г. А., Мельник А. А. Сравнительные характеристики данных о природных пожарах, полученных из разных источников // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2012. № 2 (2). С. 5–8.

84. Комплексная методика определения очага пожара / К. П. Смирнов, И. Д. Чешко, В. Г. Голяев [и др.]. Л.: ЛФ ВНИИПО, 1988. 114 с.

85. Конев Э. В. Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов // Теплофизика лесных пожаров: сборник научных трудов. Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1984. С. 99–125.

86. Корец М. А., Волокитина А. В. Методика и программное обеспечение для прогнозирования распространения пожара растительности // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2019: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, Севастополь, 23–26 сентября 2019 года / под ред. Л. И. Лукиной, Н. В. Ляминой. Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2019. С. 810–814.

87. Коржанский Н. И., Круглов Е. И., Шепелев К. Е. Квалификация и расследование лесных пожаров: учебное пособие. Волгоград: Науч.-исслед. и ред.-изд. отд. Высш. следств. школы МВД, 1979. 82 с.

88. Котельников Р. В. Нормативная правовая база охраны лесов от пожаров: методическое пособие. Пушкино: ВНИИЛМ, 2022. 52 с.

89. Крапивин В. С., Плотникова Г. В. Проблемы экспертного сопровождения расследования лесных пожаров // Деятельность правоохранительных органов в современных условиях: сборник материалов XXVI международной научно-практической конференции, Иркутск, 11 июня

2021 года. Иркутск: Восточно-Сибирский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации, 2021. С. 263–267.

90. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с.

91. Курбатский Н. П. Современная теория распространения лесных низовых пожаров. Архангельск, 1976. С. 90–96.

92. Кунце У. Р., Шведт Г. Основы качественного и количественного анализа. М.: Мир, 1997. 424 с.

93. Лапин В. О. Актуальные вопросы практики и организации расследования уничтожения или повреждения лесных насаждений, совершенных путем поджога // Стратегическое развитие системы МВД России: состояние, тенденции, перспективы: сборник материалов международной научно-практической конференции. М.: Академия управления МВД России, 2020. С. 472–482.

94. Макаричев Ю. А., Иванников Ю. Н. Методы планирование эксперимента и обработки данных: учеб. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 131 с.

95. Оценка степени термодеструкции деревянных конструкций через измерение глубины обугливания / М. А. Максимова, А. С. Павлов, Д. В. Калашников [и др.] // Актуальные вопросы естествознания: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 30 марта 2023 года / сост. Т.В. Фролова. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2023. С. 68–72.

96. Основы лесного хозяйства и таксация леса: учебное пособие для студентов направления 250300 «Технология и оборудование лесозаготовительного и деревообрабатывающего производств» и специальности 120303 «Городской кадастр» / А. Н. Мартынов, Е. С. Мельников, В. Ф. Ковязин [и др.]. СПб.: ООО Изд-во «Лань», 2008. 372 с.

97. Мегорский Б. В. Методика установления причин пожаров: (Общие положения методики и основы пожарно-технической экспертизы). М.: Стройиздат, 1966. 347 с.
98. Межгосударственный стандарт ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. М., 1994. 8 с.
99. Мелехов И. С. Лесные пожары и борьба с ними. Изд. 2-е, дополненное. Архангельск: Севкрайгиз, 1934. 52 с.
100. Методология судебной пожарно-технической экспертизы: основные принципы. М.: ФГБУ ВНИИПО, 2013. 23 с.
101. Митричев В. С., Хрусталева В. Н. Основы криминалистического исследования материалов, веществ и изделий из них: учебное пособие. СПб: Питер, 2003. 198 с.
102. Морозов Р. О. Особенности использования специальных знаний при проведении осмотра места происшествия в ходе расследования уничтожения или повреждения лесных насаждений // Российский следователь. 2024. № 11. С. 2–5.
103. Морозов Р. О. Особенности использования специальных знаний при расследовании уничтожения или повреждения лесных насаждений: дис. ...канд. техн. наук / Морозов Руслан Олегович. Иркутск, 2024. 192 с.
104. Моторыгин Ю. Д. Системный анализ моделей описания процессов возникновения и развития пожара: дис. ...д-ра техн. наук / Моторыгин Юрий Дмитриевич. Санкт-Петербург, 2011. 247 с.
105. Негреев М. А., Неверов Е. Н. Особенности расследования лесных пожаров // Холодильная техника и биотехнологии: сборник тезисов V Национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 6–8 декабря 2023 года. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. С. 132–134.

106. Нестеров В. Г. Лесные пожары и меры борьбы с ними. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 16 с.
107. Таксация леса: практикум для подготовки бакалавров по направлению 250100 «Лесное дело» / И. В. Никифорчин [и др.]. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 160 с.
108. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1991. 303 с.
109. Оркин А. Н., Журавлев Ю. Н. Расследование лесных пожаров: учебное пособие. Хабаровск: Хабаровская ВШ МВД, 1989. 80 с.
110. Патент № 2275624 С1 Российская Федерация, МПК G01N 27/02. Способ выявления скрытых признаков очага пожара, путей распространения горения и устройство для его реализации: № 2004134368/28: заявл. 25.11.2004: опубл. 27.04.2006 / И. Д. Чешко, С. В. Вакуленко, А. Н. Соколова; заявитель Федеральное государственное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России).
111. Патент № 2329077 С2 Российская Федерация, МПК А62С 3/00, G01N 29/04. способ выявления скрытых очаговых признаков пожара: № 2006108124/12: заявл. 16.03.2006: опубл. 20.07.2008 / И. Д. Чешко, А. Н. Соколова, Ю. Н. Елисеев; заявитель Федеральное Государственное Учреждение «Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России).
112. Патент № 2342965 С2 Российская Федерация, МПК А62С 39/00, G01N 3/12. Способ определения степени термического поражения: № 2006133276/12: заявл. 18.09.2006: опубл. 10.01.2009 / И. Д. Чешко, А. Н. Соколова, С. Н. Данилов; заявитель Федеральное Государственное Учреждение «Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России).

113. Патент № 2381495 С1 Российская Федерация, МПК G01N 27/90. Способ выявления скрытых признаков очага пожара и путей распространения горения: № 2008131763/28: заявл. 01.08.2008: опубл. 10.02.2010 / А. Н. Соколова, И. Д. Чешко; заявитель Федеральное Государственное учреждение «Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ ВНИИПО МЧС России).

114. Патент № 2837489 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/00, G01N 3/32. Способ выявления очага пожара: заявл. 14.05.2024: опубл. 31.03.2025 / Ю. Н. Елисеев, А. В. Мокряк, А. Ю. Мокряк; заявитель Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева».

115. 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.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

116. Пашкова Т. В., Снегирев Д. Г., Есина М. Г. Физика. Практикум: учебное пособие. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. 114 с.

117. Плахов С. И. Современные возможности судебной пожарно-технической экспертизы // Теория и практика судебной экспертизы. 2010. № 4(20). С. 114–120.

118. Плотников В. Г., Чешко И. Д., Юн Н. В. Осмотр места пожара: методическое пособие. М.: ВНИИПО, 2004. 503 с.

119. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.

120. Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 № 1614 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах».

121. Постановление Правительства РФ от 23.05.2026 № 591 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах».

122. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.12.2023 № 2155 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. № 736».

123. Приказ МЧС РФ от 15 декабря 2002 г. № 587 «О мероприятиях по организации и осуществлению дознания по делам о пожарах».

124. Приказ Минприроды России от 01.04.2022 № 244 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров».

125. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 14.10.2022 № 687 «Об утверждении состава сведений, включаемых в таксационное описание лесосеки, порядка составления таксационного описания лесосеки, требований к его формату в электронной форме, порядка определения несоответствия таксационного описания информации о фактическом состоянии лесосеки, формы таксационного описания лесосеки».

126. Приказ МЧС России от 11 сентября 2024 г. № 771 «Об утверждении Порядка разработки и утверждения планов тушения ландшафтных (природных) пожаров (за исключением лесных пожаров и других ландшафтных (природных) пожаров на землях лесного фонда, землях обороны и безопасности, землях особо охраняемых природных территорий».

127. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 08.10.2024 № 599 «Об утверждении состава и формы представления данных о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах».

128. Расев А. И. Сушка древесины: учеб. для ПТУ. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. 224 с.

129. Распоряжение Правительства РФ от 19.07.2019 № 1605-р «Об утверждении нормативов обеспеченности субъекта Российской Федерации лесопожарными формированиями, пожарной техникой и оборудованием, противопожарным снаряжением и инвентарем, иными средствами предупреждения и тушения лесных пожаров».

130. Реброва И. А. Планирование эксперимента: учебное пособие. Омск: СиБАДИ, 2010. 105 с.

131. Родин С. А., Рябинков А. П. Пирологические исследования в лесах Российской Федерации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2019. 205 с.

132. Ройтман М. Я. Противопожарное нормирование в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 590 с.

133. Россинская Е. Р. Судебная экспертиза в гражданском, арбитражном, административном и уголовном процессе: монография. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Норма: ИНФРА-М, 2025. 576 с.

134. Россинская Е. Р., Галяшина Е. И., Зинин А. М. Теория судебной экспертизы (Судебная экспертология): учебник / под ред. Е. Р. Россинской. 2-е изд., перераб и доп. М.: Норма: ИНФРАМ, 2024. 368 с.

135. Методические рекомендации по отбору кернов древесины для целей дендрохронологических исследований в лесоведении и лесоводстве: учебно-методическое пособие / Д. Е. Румянцев, В. А. Липаткин, А. В. Черакшев [и др.]. М., 2022. URL: <http://scipro.ru/conf/wood.pdf>.

136. Савченкова В. А., Суховей М. В., Провин К. Н. Разработка методики предварительного определения причин возникновения лесного пожара // Успехи современного естествознания. 2021. № 5. С. 31–38.

137. Сайт Федерального агентства лесного хозяйства // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [сайт]. [1997-2026]. URL: https://nffc.aviales.ru/secure/reports/all_forms_list.shtml (дата обращения: 22.01.2026).

138. Сайт Федерального агентства лесного хозяйства // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [сайт]. [1997-2026]. URL: https://pushkino.aviales.ru/secure/reports/form3.sht?fire_id=36412 (дата обращения: 07.08.2026).

139. Сайт Федерального агентства лесного хозяйства // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [сайт]. [1997-2026]. URL: https://pushkino.aviales.ru/secure/reports/form3.sht?fire_id=42641 (дата обращения: 07.08.2026).

140. Сайт Федерального агентства лесного хозяйства // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [сайт]. [1997-2026]. URL: https://pushkino.aviales.ru/secure/reports/form3.sht?fire_id=37572 (дата обращения: 07.08.2026).

141. Сайт Федерального агентства лесного хозяйства // Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [сайт]. [1997-2026]. URL: https://pushkino.aviales.ru/secure/reports/form3.sht?fire_id=28471 (дата обращения: 07.08.2026).

141. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026621041 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: заявл. 03.03.2026: опубл. 12.03.2026 / Д. В. Калашников, А. О. Семенов, А. А. Апарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной

службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

143. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616847 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: заявл. 03.03.2026: опубл. 12.03.2026 / Д. В. Калашников, А. О. Семенов, А. А. Апарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

144. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026665485 Российская Федерация. Программа по оценки степени термических поражений природных объектов прилегающих территорий объектов защиты для определения очага природных пожаров: заявл. 24.03.2026: опубл. 25.05.2026 / Д. В. Калашников, А. О. Семенов, А. А. Апарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

145. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026684313 Российская Федерация. Программа для внесения данных в базу данных применения методов испытаний в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений: заявл. 03.08.2026: опубл. 10.08.2026 / Д. В. Калашников, А. О. Семенов, А. А. Апарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной

службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

146. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026623938 Российская Федерация. База данных применения методов испытаний в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений: заявл. 03.08.2026: опубл. 18.08.2026 / Д. В. Калашников, А. О. Семенов, А. А. Апарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

147. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026685267 Российская Федерация. Программа для анализа данных в базе данных применения методов испытаний в целях оценки степени термических поражений лесных насаждений: заявл. 03.08.2026: опубл. 20.08.2026 / Д. В. Калашников, А. О. Семенов, А. А. Апарин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

148. Седнев В. А., Тетерина Н. В. Анализ негативного воздействия крупномасштабных лесных пожаров на населённые пункты и территории субъектов Российской Федерации // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 3 (67). С. 176–180.

149. Использование систем мониторинга при фиксации направления развития и динамики природного пожара / А. О. Семенов, Д. В. Калашников, А. Г. Бубнов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 4(57). С. 57–67.

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

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

152. Сикорова Г. А. Комплексная методика оценки степени термического поражения стальных изделий кузова автомобиля для обеспечения пожарной безопасности: дис. ... канд. техн. наук / Сикорова Галина Александровна. СПб., 2023. 139 с.

153. Полевые инструментальные методы исследования объектов пожарно-технической экспертизы: учебное пособие / Г. А. Сикорова, А. Ю. Лебедев, Ф. А. Дементьев [и др.]. СПб.: Санкт-Петербургский ун-т МВД России, 2019. 135 с.

154. Соколова А. Н., Чешко И. Д. Инструментальные методы экспертных исследований места пожара // Пожарная безопасность. 2012. № 4. С. 86–89.

155. Софронов М. А. Пирологическая характеристика растительности в верхней части бассейна р. Турухан // Лесные пожары и борьба с ними: сб. науч. тр. М.: ВНИИЛМ, 1988. С. 106–117.

156. Сысоева Т. П. Комплексная методика исследования металлических изделий с целью установления очаговых признаков и причин пожаров автомобилей: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)»: дис. ... канд. техн. наук / Сысоева Татьяна Павловна. СПб., 2015. 152 с.

157. Тартаковский Д. Ф. Измерительная информация в системе доказательств. СПб.: Издательство «Юридический центр Пресс», 2003. 172 с.

158. Татаринов В. В., Калайдов А. Н., Муйкич Э. Применение беспилотных летательных аппаратов для получения информации о природных пожарах // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1 (71). С. 160–168.

159. Таубкин И. С. Определение температуры и длительности горения древесины на пожаре по параметрам обугленного слоя: методические рекомендации // Теория и практика судебной экспертизы. 2017. Т. 12. № 4. С. 37–47.

160. Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы. М.: ВНИИПО МВД РФ, 1999. 600 с.

161. Телицын Г. П. О распространении горения в лесу // Горение и пожары в лесу: сборник. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1973. С. 164–176.

162. Терентьева Н. А., Доррер Г. А., Иванилова Т. Н. Вероятностно-множественное моделирование контура лесного пожара по индикатрисе скорости его фронта // Проектирование и разработка информационных систем: сборник статей VII Всероссийской конференции. Красноярск: ГОУ ВПО «СибГТУ», 2009. С. 138–142.

163. Техническое заключение № 253-2-3 от 14 августа 2014 года по причине пожара, произошедшего 27.07.2014 в 57 квартале 6, 11, 12 выделах ОГКУ «Южское лесничество».

164. Техническое заключение № 106-3-3 от 25 мая 2019 года по причине пожара, произошедшего 10.05.2019 в лесном массиве квартала 60 выдела 19 Мостовского участкового лесничества ОГКУ «Южское лесничество».

165. Техническое заключение № 153-3-3 от 10 августа 2019 года по причине пожара, обнаруженного 26.07.2019 в лесном массиве квартала 35 выдела 16 Пестяковского участкового лесничества ОГКУ «Пучежское лесничество».

166. Толстых В. И. Пожарно-технические методы установления причин пожаров автотранспортных средств: специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)»: дис. ... канд. техн. наук / Толстых Валентин Иванович. СПб., 2004. 120 с.

167. Тумановский А. А., Субботин А. А., Чешко И. Д. Применение расчетных методов при определении очага пожара: учебное пособие. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. 84 с.

168. Уголовный кодекс Российской Федерации от 13.06.1996 № 63-ФЗ.

169. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18.12.2001 № 174-ФЗ.

170. О мерах по сокращению площади лесных пожаров в Российской Федерации: Указ Президента России от 15 июня 2022 г. № 382.

171. Особенности производства осмотра места происшествия при проверке сообщений о лесных пожарах / С. В. Унжакова, В. С. Ишигеев, В. С. Крапивин [и др.] // Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. 2020. № 3. С. 157–165.

172. Методологические особенности валидации судебно-экспертных методик / А. И. Усов, Г. Г. Омелянюк, Г. И. Бебешко [и др.] // Теория и практика судебной экспертизы. 2023. Т. 18. № 1. С. 76–96.

173. Усов А. И., Карпухина Е. С., Кузнецов В. О. Некоторые аспекты использования системного подхода к исследованию объектов судебной экспертизы // Теория и практика судебной экспертизы. 2022. Т. 17. № 2. С. 6–17.

174. О пожарной безопасности: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ.

175. О государственной судебно-экспертной деятельности в Российской Федерации: Федеральный закон от 31 мая 2001 г. № 73-ФЗ.

176. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 28.12.2025).

177. Лесной кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ.

178. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ.

179. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования деятельности в области пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.12.2020 № 454-ФЗ.

180. Федотов А. И., Ульянов Л. Н., Мегорский Б. В. Пожарно-техническая экспертиза. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1978. 210 с.

181. Фильков А. И. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров и исследование особенностей сушки, пиролиза и зажигания горючих материалов: дис. ... д-ра физ.-мат. наук / Фильков Александр Иванович. Томск, 2014. 359 с.

182. Построение системы работы с данными прибора MODIS для решения задач мониторинга лесных пожаров и их последствий / Е. В. Флитман, И. В. Балашов, М. А. Бурцев [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 127–138.

183. Червонный М. Г. Охрана лесов от пожаров. М.: Лесная промышленность, 1973. 104 с.

184. Черничук Ю. П. Структура и содержание заключения судебной пожарно-технической экспертизы // Адвокат. 2016. № 10. С. 67–77.

185. Черных М. А. Мониторинг земельных ресурсов методом совмещенного анализа карт // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 25–26 сентября 2024 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2024. С. 308–311.

186. Чеснокова Е. В. Методические материалы по производству судебной экспертизы: основные понятия, сходство и различие // Теория и практика судебной экспертизы. 2022. Т. 17. № 4. С. 24–32.

187. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х книгах. Кн.1. СПб: Береста, 2010. 708 с.

188. Чешко И. Д., Плотников В. Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х книгах. Кн. 2. СПб: Береста, 2012. 364 с.

189. Чешко И. Д. Исследование и экспертиза пожаров: словарь общих и специальных терминов / под ред. д-ра техн. наук, проф. И. Д. Чешко. М.: ВНИИПО, 2009. 256 с.

190. Чешко И. Д., Парийская А. Ю., Лобова С. Ф. Вопросы, разрешаемые в экспертных исследованиях по делам о природных пожарах // Расследование пожаров: сборник статей / под общ. ред. И. Д. Чешко. Вып. 6. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. С. 186–194.

191. Чешко И. Д., Тумановский А. А., Принцева М. Ю. Пожарно-техническая экспертиза в системе Федеральной противопожарной службы МЧС России: экспертные специальности, технические возможности, подготовка экспертов // Судебная экспертиза. 2019. № 4 (60). С. 33–41.

192. Чешко И. Д. Понятия метода и методики в судебной пожарно-технической экспертизе // Расследование пожаров: сборник статей. Вып. 3. М.: ВНИИМО МЧС России, 2009. С. 7–13.

193. Чешко И. Д., Соколова А. Н. Применение инструментальных методов и технических средств экспертизы пожаров: сборник методических рекомендаций. СПб.: СПб филиал ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. 279 с.

194. Чешко И. Д., Касаев Р. А., Мокряк А. Ю. Терминология судебной пожарно-технической экспертизы (терминологический словарь). СПб.: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России», 2019. 178 с.

195. Чешко И. Д. Технические основы расследования пожаров: учебно-методическое пособие. М.: ВНИИПО, 2002. 330 с.

196. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / Под науч. ред. канд. юр. наук Н. А. Андреева. 2-е изд., стереотип. СПб.: СПбИПБ МВД России, 1997. 562 с.

197. Экспертное исследование природных пожаров: методическое пособие / И. Д. Чешко, А. Ю. Парийская, М. Ю. Принцева [и др.]. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2019. 252 с.

198. John D. DeHaan. Kirks Fire Investigation. Fourth Edition – Prentice Hall, 1996. 464 p.

199. John D. DeHaan Kirks Fire Investigation. Third Edition. BREDI, 1991, 416 p; авторизованный перевод П.П. Романенко, Н.В. Юн СПбФ ФГУ ВНИИПО МЧС России.

200. Lucherini, A. Estimating the effective char depth in structural timber elements exposed to natural fires, considering the heating and cooling phase / A. Lucherini, D.S. Pitelkova, V. Mozer // Engineering Structures 323 (2025) 119255. PP. 1–16.

201. NFPA-921. Guide for Fire and Explosion Investigations. 1992 Edition. USA, NFPA, p. 122.

202. Rothermel R.C. A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels. Research Paper INT-115. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. 40 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Патент на полезную модель



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации базы данных

№ 2026621041

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

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (RU)*

Авторы: *Калашников Дмитрий Владимирович (RU), Семенов Алексей Олегович (RU), Апарин Александр Александрович (RU)*

Заявка № **2026620738**
Дата поступления **03 марта 2026 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных **12 марта 2026 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 **Ю.С. Зубов**

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2026616847

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

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (RU)*

Авторы: *Калашников Дмитрий Владимирович (RU), Семенов Алексей Олегович (RU), Апарин Александр Александрович (RU)*

Заявка № **2026615695**
Дата поступления **03 марта 2026 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **12 марта 2026 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2026665485

**Программа по оценки степени термических поражений
природных объектов прилегающих территорий
объектов защиты для определения очага природных
пожаров**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Ивановская
пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной
службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий» (RU)*

Авторы: *Калашников Дмитрий Владимирович (RU), Семенов Алексей
Олегович (RU), Апарин Александр Александрович (RU)*

Заявка № **2026618236**
Дата поступления **24 марта 2026 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **25 мая 2026 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2026623938

**База данных применения методов испытаний в целях
оценки степени термических поражений лесных
насаждений**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Ивановская
пожарно-спасательная академия Государственной
противопожарной службы Министерства Российской
Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным
ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»
(RU)*

Авторы: *Калашников Дмитрий Владимирович (RU), Семенов
Алексей Олегович (RU), Апарин Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2026623679

Дата поступления 03 августа 2026 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 18 августа 2026 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2026684313

**Программа для внесения данных в базу данных
применения методов испытаний в целях оценки степени
термических поражений лесных насаждений**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Ивановская
пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной
службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий» (RU)*

Авторы: *Калашиников Дмитрий Владимирович (RU), Семенов Алексей
Олегович (RU), Апарин Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2026683841

Дата поступления 03 августа 2026 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 10 августа 2026 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2026685267

**Программа для анализа данных в базе данных
применения методов испытаний в целях оценки степени
термических поражений лесных насаждений**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Ивановская
пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной
службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской
обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий
стихийных бедствий» (RU)*

Авторы: *Калашиков Дмитрий Владимирович (RU), Семенов Алексей
Олегович (RU), Апарин Александр Александрович (RU)*

Заявка № 2026683997

Дата поступления 03 августа 2026 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 20 августа 2026 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования



УТВЕРЖДАЮ
Начальник ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по
Ивановской области
подполковник внутренней службы
Р.А. Коровин
«03» _____ 2026 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
Калашникова Дмитрия Владимировича, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по научной специальности
2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки),
в практическую деятельность ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области.

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – заместитель начальника ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области капитан внутренней службы Березуцкий Д.А.

Члены комиссии:

– ВрИО начальника сектора судебных экспертиз ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области старший лейтенант внутренней службы Кулик Е.В.

– эксперт сектора судебных экспертиз ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области лейтенант внутренней службы Порада Д.П.

Подтверждает, что результаты диссертационной работы Калашникова Дмитрия Владимировича планируются внедрить в практическую деятельность ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области в целях определения очага природного пожара.

Председатель комиссии:

Д.А. Березуцкий

Члены комиссии:

Е.В. Кулик

Д.П. Порада

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Ивановской пожарно-спасательной
академии ГПС МЧС России
по учебной работе
полковник внутренней службы
А.С. Федоринов



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Калашникова Дмитрия Владимировича, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук по научной специальности
2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки),
в образовательную деятельность Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС
МЧС России

Комиссия в составе:

Председатель комиссии – старший преподаватель кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. техн. наук, майор внутренней службы Апарин А.А.

Члены комиссии:

– доцент кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. биол. наук, доцент Зейнетдинова О.Г.

– старший преподаватель кафедры основ гражданской обороны и управления в ЧС Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. психол. наук, подполковник внутренней службы Мигунова Ю.С.

Подтверждает, что результаты диссертационной работы Калашникова Дмитрия Владимировича применяются при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам кафедры.

Председатель комиссии:

Старший преподаватель кафедры
основ гражданской обороны и управления в ЧС
Ивановской пожарно-спасательной академии
ГПС МЧС России, канд. техн. наук,
майор внутренней службы

А.А. Апарин