

На правах рукописи



Горбунов Александр Сергеевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА И ПРИБОРА КОНТРОЛЯ СТЕПЕНИ
ТЕРМИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА МЕСТЕ
ПОЖАРА**

Специальность:

2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов,
изделий, веществ и природной среды

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2023

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Елфимова Марина Владимировна

Официальные оппоненты: **Шарапов Сергей Владимирович**
доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное учреждение «Пожарно-спасательный колледж «Санкт-Петербургский центр подготовки спасателей», директор

Яровой Сергей Викторович
кандидат технических наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кафедра информационно-управляющих систем, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Защита диссертации состоится «28» апреля 2023 года в 14 часов на заседании диссертационного совета 24.2.404.05, созданного на базе Сибирского федерального университета, по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 26, ауд. УЛК 112.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Сибирского федерального университета www.sfu-kras.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Кайзер Юрий Филиппович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Пожар является неконтролируемым горением. Данное явление представляет опасность в части экологических и экономических последствий, вреда жизни и здоровью людей, а также в целом интересам общества и государства.

Причины пожаров разнообразны. Наиболее распространёнными причинами пожаров являются: неосторожное обращение с огнем; аварийные пожароопасные режимы работы электросети и оборудования; нарушение требований правил пожарной безопасности к устройству отопительных систем; поджог; действия сил природы (грозы, солнечной энергии); неправильное хранение веществ, склонных к самовозгоранию.

Качественное расследование пожаров позволяет снизить количество пожаров путем правильного выбора курса профилактических мероприятий, а также в результате неизбежности наказания за совершенное правонарушение, связанное с пожарной безопасностью.

В Российской Федерации существует отдельный род экспертиз (пожарно-технические), а также орган дознания по преступлениям связанными с пожарами в виде Федерального государственного пожарного надзора МЧС России. В развитых странах мира существуют специалисты в области расследования и экспертизы пожаров. В Японии исследованием пожаров и установлением их причин занимается специализированная сеть региональных центров входящих в пожарные департаменты. В Соединенных Штатах Америки существуют организации, которые обеспечивают расследование пожаров и проведение экспертиз, в том числе в составе страховых компаний. Существуют также общественные организации, к примеру, Международная ассоциация исследователей пожаров и поджогов.

Актуальность проблемы качественного расследования пожаров с каждым годом становится все более очевидной. Установление первоначального места и истинной причины возникновения горения является важным аспектом правого государства, в части привлечения виновных лиц к ответственности и возмещения убытков в результате пожара. Наличие частной собственности и системы страхования оказывает существенное влияние на важность и актуальность данной темы. Наличие судебной системы обязывает специалистов и правоохранительные органы предоставлять доказательства своих предположений и суждений, основанных на объективности и полноте исследований с использованием современных достижений науки и техники.

Проведя обзор и анализируя существующие на данный момент методики исследования материалов на пожаре для установления очага и путей распространения, выявлено, что методики индивидуальны для каждого материала, и специалисту необходимо вывозить собой целый автомобиль (мобильную лабораторию) с арсеналом приборов различных видов. Специалисты не в полной мере используют на месте пожара весь технический

арсенал, а основываются на органолептических методах и личном жизненном опыте, что приводит к ошибкам и недостоверности доказательств.

Таким образом, необходимо разработать универсальный метод контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара и установления очага пожара с помощью одного прибора. Данный метод позволит специалисту чаще применять технические средства и повысит качество расследования пожаров.

Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации (Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899) по п. 1. Безопасность и противодействие терроризму, а также п. 4 (разработка универсального оборудования обеспечивающего повышение эффективности выполнения подразделениями МЧС России задач по предназначению) приоритетных направлений научно-технической деятельности МЧС России (приказ МЧС России от 29.01.2021 № 37).

Степень разработанности темы. Методики исследования материалов на месте пожара базируются на фундаментальных законах физики, химии и других специализированных областях науки. «Исследование пожаров» или «Экспертиза пожаров» (Fire Investigation) является самостоятельным разделом прикладной науки. В основе его лежат научные разработки Б.В. Мегорского, Г.И. Смелкова, Кирка, Де Хаана, Шонтага, Хагемайера, И.Д. Чешко и др.

Сформированы специальные методики, которые позволяют путем исследования материальной обстановки на месте пожара, устанавливая место его возникновения (очаг пожара), пути развития горения, устанавливая причину пожара. Данные методики позволяют установить место первоначального горения на крупных по площади и сложных по развитию пожарах. Большой вклад в разработку методик внесли Н. Защук, Н. Макагонов, М. Зайцев, Г. Павлов, а также сотрудники и работники Санкт-Петербургского филиала ФГУ ВНИИПО МЧС России, на сегодняшний день Исследовательского центра экспертизы пожаров Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (ИЦЭП).

Колориметрия используется в различных областях науки: химии, медицине, для контроля качества воды, в промышленности.

Основным методом оценки степени термических повреждений является визуальный метод. Однако данный метод субъективен. Восприятие человеком цвета зависит от многих факторов, что оказывает влияние на достоверность полученных результатов.

По результатам анализа вышеперечисленных методик установлено, что на данный момент существуют методы и приборная база, которые позволяют объективно оценить степень термических повреждений материалов на пожаре. Однако данные методы индивидуальны для каждого типа вещества или материала, а также часть методов может быть использована только в лабораторных условиях.

Цель диссертационной работы: повысить пожарную и экологическую безопасность в результате качественного расследования пожаров путем повышения объективности контроля степени термических повреждений веществ и материалов.

Задачи исследования:

1. Разработать метод контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара, основанный на измерении цветовых характеристик.

2. Разработать прибор контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара, имеющий лучшие характеристики по сравнению с аналогами.

3. Экспериментально установить зависимости цветовых характеристик от температуры и времени термического воздействия на объектах исследования и критерий оценки степени их повреждений разработанным методом и прибором.

4. Разработать рекомендации по практическому применению предложенного метода и прибора контроля для повышения объективности в принятии решения по установлению очага пожара.

Объектами исследования являются наиболее распространённые материалы и вещества на месте пожара: бетон, сталь, древесина, полимеры в виде поливинилхлорида (далее – ПВХ), отложения копоти.

Предметом исследования является изменение цветовых характеристик при термическом воздействии на материалы и вещества.

Научная новизна работы:

1. Разработан новый метод контроля степени повреждений веществ и материалов на месте пожара, основанный на изменении цветовых характеристик в результате термического воздействия, отличающийся от известных своей универсальностью.

2. Разработан новый прибор контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара с лучшими характеристиками по сравнению с существующими аналогами.

3. Впервые экспериментально установлены закономерности изменения цветовых характеристик веществ и материалов от температуры и времени термического воздействия.

4. Предложен новый критерий оценки степени термических повреждений веществ и материалов.

Теоретическая значимость работы:

– установлены закономерности влияния температуры и времени термического воздействия на изменение цветовых характеристик веществ и материалов;

– разработан метод контроля степени повреждений веществ и материалов на месте пожара, основанный на изменении цветовых характеристик в результате термического воздействия;

– разработан прибор контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара с лучшими характеристиками по сравнению с существующими аналогами;

– предложен критерий оценки степени термических повреждений веществ и материалов.

Практическая значимость работы. Разработаны рекомендации по практическому применению предложенного метода и прибора контроля для повышения объективности в принятии решения по установлению очага пожара.

Основные результаты работы могут быть использованы в практической деятельности при расследовании пожаров специалистами испытательных пожарных лабораторий, а также дознавателями и следователями МЧС, МВД и СК России.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовались эмпирические методы исследования (наблюдение и эксперименты). В результате применения эмпирических методов исследования была определена цель, сформулированы задачи исследования и выдвинута гипотеза. При проведении эксперимента применялись методы колориметрии для измерения цвета в системе RGB. Проведена обработка с помощью методов математической статистики полученных в ходе эксперимента результатов изменений цветовых характеристик различных материалов, подверженных температурному воздействию. Проведены процедуры перевода полученных данных в закономерности.

На защиту выносятся:

1. Метод контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара, основанный на измерении цветовых характеристик.

2. Прибор контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара, имеющий лучшие характеристики по сравнению с аналогами.

3. Результаты исследований изменений цветовых характеристик материалов от температуры и времени термического воздействия и критерий оценки степени их повреждений.

4. Рекомендации по практическому применению предложенного метода и прибора контроля для повышения объективности в принятии решения по установлению очага пожара.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается теоретическими данными и экспериментальными исследованиями, выполненными с использованием прошедших калибровку и поверку средств контроля и методов, работающими на основе других физических принципов (магнитный вихретоковый метод, метод замера остаточных температур на поверхности теплоемких конструкций, ультразвуковая дефектоскопия).

Апробация результатов исследования. Основные научные положения и результаты исследования докладывались и обсуждались на:

– III Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», г. Железногорск, 2021;

– IV Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», г. Железногорск, 2022;

– XXIV Международной студенческой научной конференции «Молодежь, наука и цивилизация», г. Красноярск, 2022;

– VII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы естествознания», г. Иваново, 2022;

– Всероссийской конференции с международным участием «Применение экспертно-криминалистических методов в процессуальной деятельности органов дознания при работе с объектами-носителями информации», г. Екатеринбург, 2022;

– Международной научно-практической конференции «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций», г. Красноярск, 2022.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, включая 4 работы в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, 6 статей в сборниках трудов Международных и Всероссийских научно-практических конференций.

Реализация результатов работы. Результаты исследования использованы в учебном процессе кафедр «Инженерно-технических экспертиз и криминалистики», «Судебная экспертиза» ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», внедрены в деятельность ФГБУ «СЭУ ФПС № 93 «ИПЛ» МЧС России», планируется внедрение в испытательные лаборатории ФПС МЧС России, а также экспертно-криминалистические центры МВД России.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация изложена на 187 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Текст работы содержит 27 таблиц и 77 рисунков. Список литературы содержит 103 источника.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована цель работы, поставлены задачи для её достижения, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенных исследований, приведены методы исследования, представлены сведения об апробации результатов исследования, а также дана общая характеристика работы.

В первой главе представлены результаты анализа существующих методов контроля степени термических повреждений материалов на месте

пожара, а также теоретические основы формирования повреждений в результате воздействия опасных факторов пожара.

Термические повреждения материалов зависят от температуры и длительности горения, а информативность в исследовании отдельных материалов и их обгоревших остатков имеют температурные области с определенными границами.

Каждый метод и прибор предназначен для контроля степени термических повреждений только для определенной группы материалов.

На рисунке 1 отображены методы контроля степени термических повреждений, применяемые на месте пожара при исследовании бетона, стали, древесины, ПВХ и копоти.



Рисунок 1 – Методы контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара

Красным цветом выделены основные и наиболее применяемые методы. Единственным универсальным методом является визуальный, который основывается на внешних изменениях материала, в том числе и цвета. Визуальный метод имеет ряд недостатков, связанных со световыми иллюзиями и различными условиями наблюдения (угол падения света, освещенность, индивидуальная чувствительность зрения).

Таким образом, необходимо повысить объективность в принятии решения по установлению очага пожара с помощью одного мобильного и универсального прибора и метода неразрушающего контроля, основанного на фиксации визуальных признаков.

Вторая глава посвящена разработке метода и прибора контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара путем измерения цветовых характеристик. В главе обоснован выбор объектов исследования и системы отображения цвета.

Технической задачей являлось создание устройства, обеспечивающего измерение оптических свойств материала при определении его цветовых характеристик для анализа степени его повреждения на месте пожара.

Решение задачи по оценке степени термических повреждений и результат достигаются тем, что с помощью предлагаемого прибора измеряются цветовые характеристики (RGB) объекта, подвергнутого температурному воздействию в результате пожара. Данные показания сравниваются с показаниями такого же

материала, не подвергнутого тепловому воздействию, а также ранее подвергнутым в лабораторных условиях, определенному для каждого вида материала, тепловому воздействию при различных режимах температуры и длительности нагрева. На основании разницы в значениях цветовых характеристик делается вывод о режиме теплового воздействия на материал, что позволяет установить место первоначального возникновения горения (очаг пожара).

На рисунке 2, показана принципиальная схема предлагаемого прибора для оценки степени термических повреждений материалов путем цветоизмерения.

Для решения технической задачи предлагается использовать датчик цвета (4), представляющий собой программируемый преобразователь отраженного света от исследуемого объекта (1) в цифровой сигнал, который состоит из фотодиодов 4 типов (с красным R, зеленым G и синим B светофильтром, а также прозрачные фотодиоды С без светофильтра) под общим фильтром ИК-излучения, и преобразователей тока в цифровой сигнал на одной монолитной CMOS – интегральной схеме (2). Данный датчик находится в отдельной измерительной камере (5), которая прикреплена к выносной телескопической штанге (6) для измерений различных конструкций по размерам. Также для обеспечения работы в датчике цвета имеется свой источник освещения в виде светодиода (3). Цифровые входы и цифровой выход с помощью шлейфа (7) обеспечивают прямой интерфейс с программируемым логическим контроллером (8). Информация о цветовых характеристиках выводится на ЖК-дисплей (9). Программируемый логический контроллер, ЖК-дисплей, источник питания находятся в одном корпусе (10).

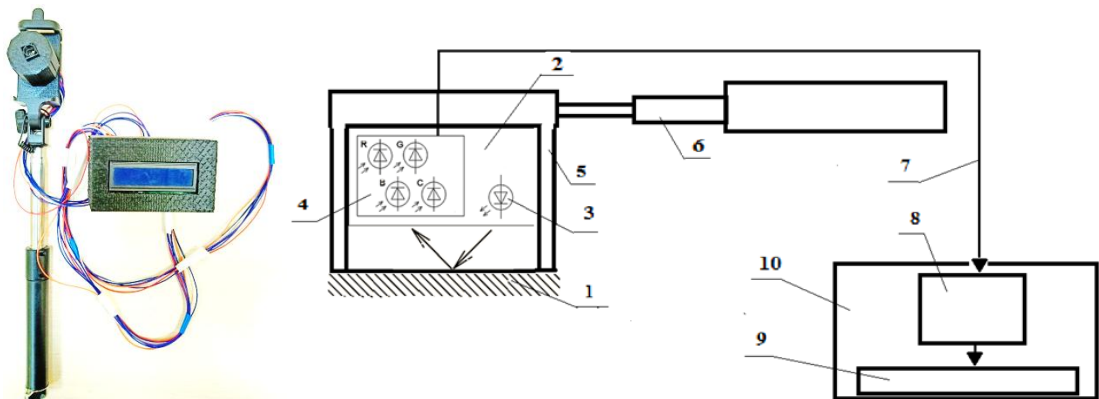


Рисунок 2 – Принципиальная схема прибора для оценки степени термических повреждений материалов путем цветоизмерения

Физико-химические процессы, происходящие в материале при воздействии тепла пожара, могут характеризоваться изменением цветовых характеристик поверхности материала. Часто происходят физико-химические изменения только на поверхности материала (в тонком слое), без глубоких структурных изменений, что делает невозможным применение других методов исследования. Преимуществами предложенного прибора являются:

универсальность, более высокая точность измерения, мобильность, экономичность. Данный метод является неразрушающим контролем материалов (согласно ГОСТ Р 56542-2019 оптический, спектральный, отраженного излучения), таким образом отсутствуют ограничения по его применению во время проведения расследования и экспертизы пожара.

Относительная погрешность прибора не превышает 3,32 % после калибровки. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений RGB характеристик ± 8 .

Общий вид метода оценки степени термических повреждений и установления очага пожара представлен на рисунке 3.

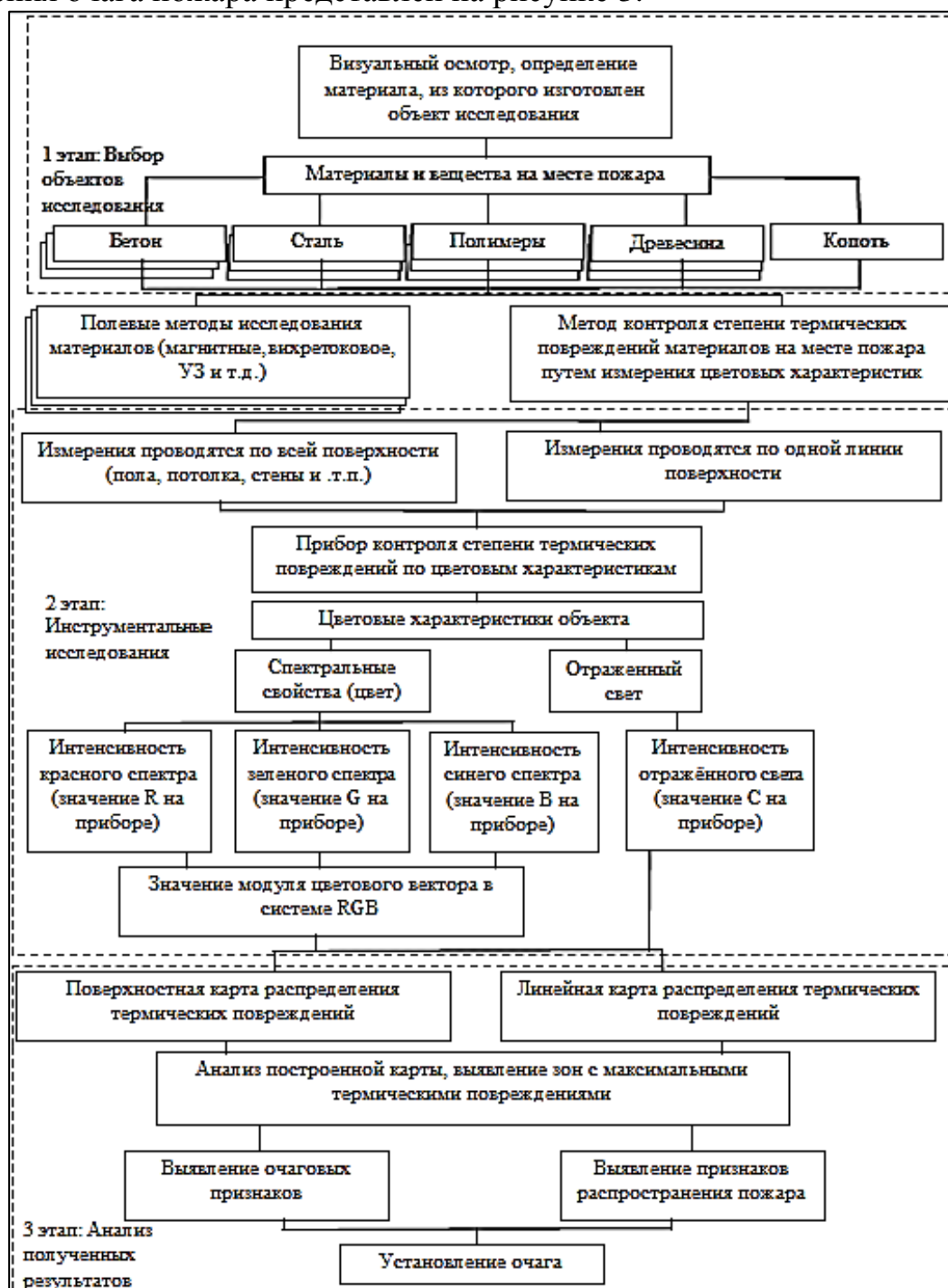


Рисунок 3 – Блок-схема метода

Третья глава посвящена проведению экспериментальных исследований. В главе отображены результаты исследований изменений цветовых характеристик материалов при термическом воздействии.

В нагретую муфельную печь до определенной температуры для каждой серии эксперимента, помещали по три исследуемых образца. Образцы из одной серии (при определенной температуре) выдерживали в течение 10, 20 и 30 минут соответственно, извлекая по одному образцу из муфельной печи при достижении временного промежутка. Охлаждение образцов проводилось при условиях окружающей среды в помещении естественным путем. Температурные пределы исследования были выбраны исходя из физических свойств исследуемого материала, а время – от средних промежутков времени развития и тушения пожара. План проведения эксперимента для исследования копоти предусматривал нахождение каждого образца бетона (5 образцов) над горящим противнем с горючей жидкостью на лабораторном штативе в промежутке времени от 1 до 5 секунд с шагом в 1 секунду. Образец № 1 воздействию копоти не подвергался. Образец № 7 находился над противнем 5 секунд, после был помещен в муфельную печь с предварительным нагревом 600 °С на 20 минут. Внешний вид подготовленных образцов представлен на рисунке 4.

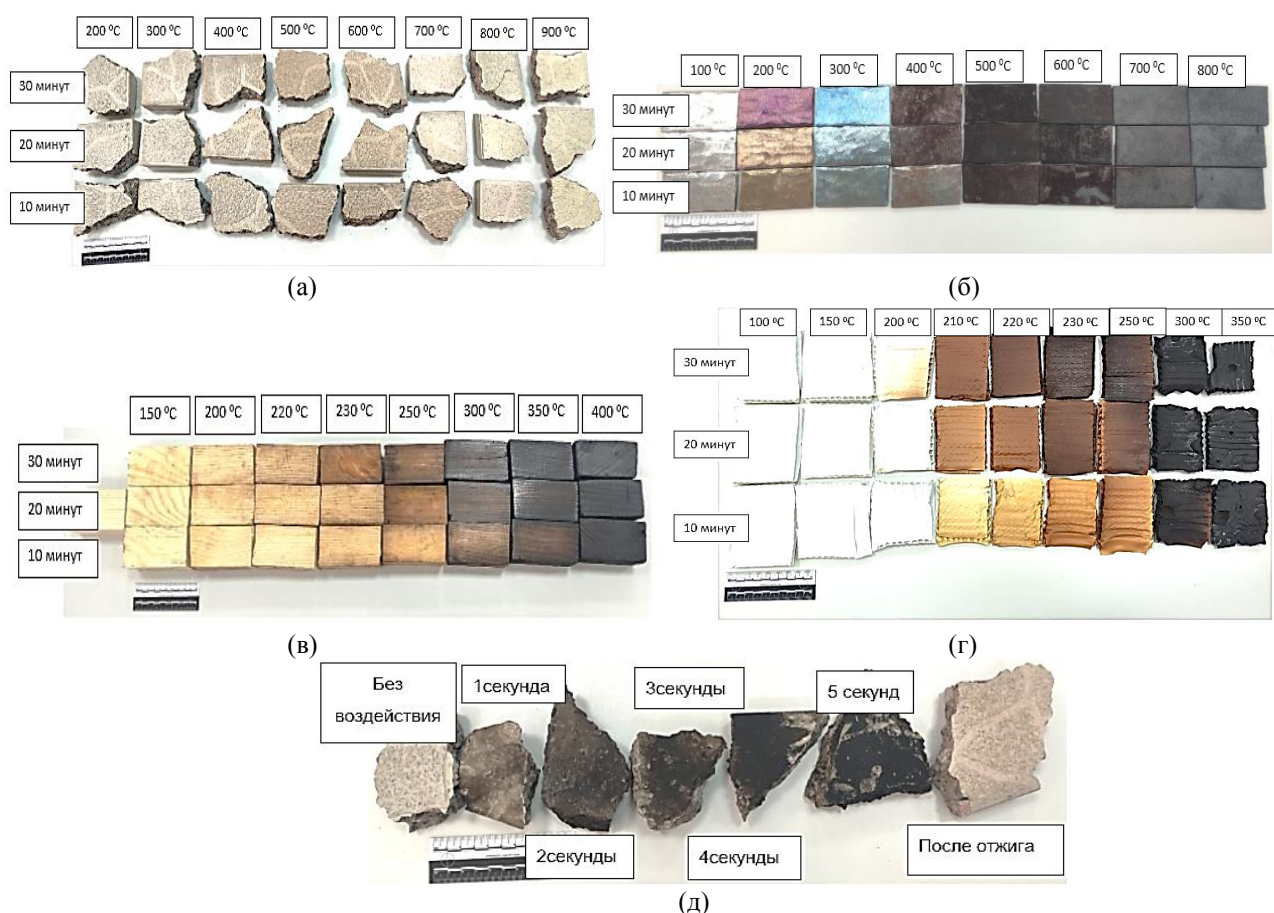


Рисунок 4 – Внешний вид представленных образцов: а – образцы бетона, б – образцы стали, в – образцы древесины, г – образцы ПВХ, д – образцы копоти

Для оценки термических повреждений материалов был введен показатель Ц в виде модуля цветового вектора, который по своей сути выражает яркость, т.е. изменение цвета ближе к черному (цвету карбонизированных продуктов).

$$|Ц| = \sqrt{R^2 + G^2 + B^2}, \quad (1)$$

где: R – значение по оси красного цвета от 0 до 255; G – значение по оси зеленого цвета от 0 до 255; B – значение по оси синего цвета от 0 до 255.

После подготовки образцов были произведены измерения цветовых характеристик каждого объекта в системе RGB. Результаты были статистически обработаны и представлены в виде средних значений для каждого объекта. Далее были построены графики, и определены зависимости показателей RGBС и модуля цветового вектора от температуры воздействия. Из построенных графиков были выбраны критерии степени термических повреждений для каждого материала на основе корреляционного анализа. Основные результаты исследования в виде физических моделей изменений выбранных критериев (модуль цветового вектора для бетона, древесины и показатель красного канала для стали, ПВХ, копти) от температурного воздействия представлены на рисунках 5-6. Единицы измерения модуля цветового вектора и показания R являются безразмерными. Графики по времени температурного воздействия 20 и 30 минут для всех материалов практически совпадают, что говорит о более существенном влиянии температуры по сравнению с длительностью воздействия. По данной причине условно можно построить физические модели изменений цветовых характеристик только от температуры для условий пожара.

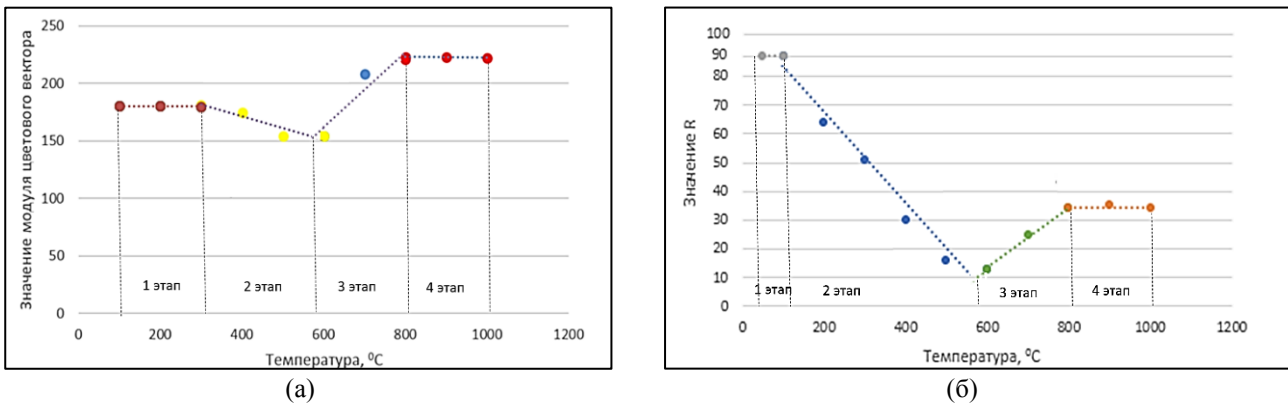


Рисунок 5 – Графики зависимости показателей цвета от температуры: а – для бетона значение Ц, б – для стали значение R

Для бетона: 1 этап – изменения значений Ц отсутствует (без повреждений); 2 этап – соответствует дегидратации тоберморитового геля; 3 этап – соответствует переходу в $2CaO \cdot SiO_2$ гидросиликатов кальция; 4 этап – изменения значений Ц отсутствует (максимальные повреждения). Таким образом, для бетона до температуры $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ наибольшим термическим повреждениям соответствует наименьшие значения модуля цветового вектора, а при температурах выше $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ наибольшие значения Ц. Для стали: 1 этап – изменения значений R отсутствует; 2 этап – соответствует образованию тонких

окисных пленок «цветов побежалости»; 3 этап – соответствует образованию высокотемпературных окислов (окарины); 4 этап – изменения значений R отсутствует. На отрезке от 100 °С до 600 °С наименьшему значению R соответствуют наибольшие термические повреждения для холоднодеформированной стали. На отрезке от 600 °С при увеличении значений R степень термических повреждений увеличивается для горячекатаных сталей. Модели для бетона и стали были описаны кусочно-линейной функцией с помощью линейной аппроксимации.

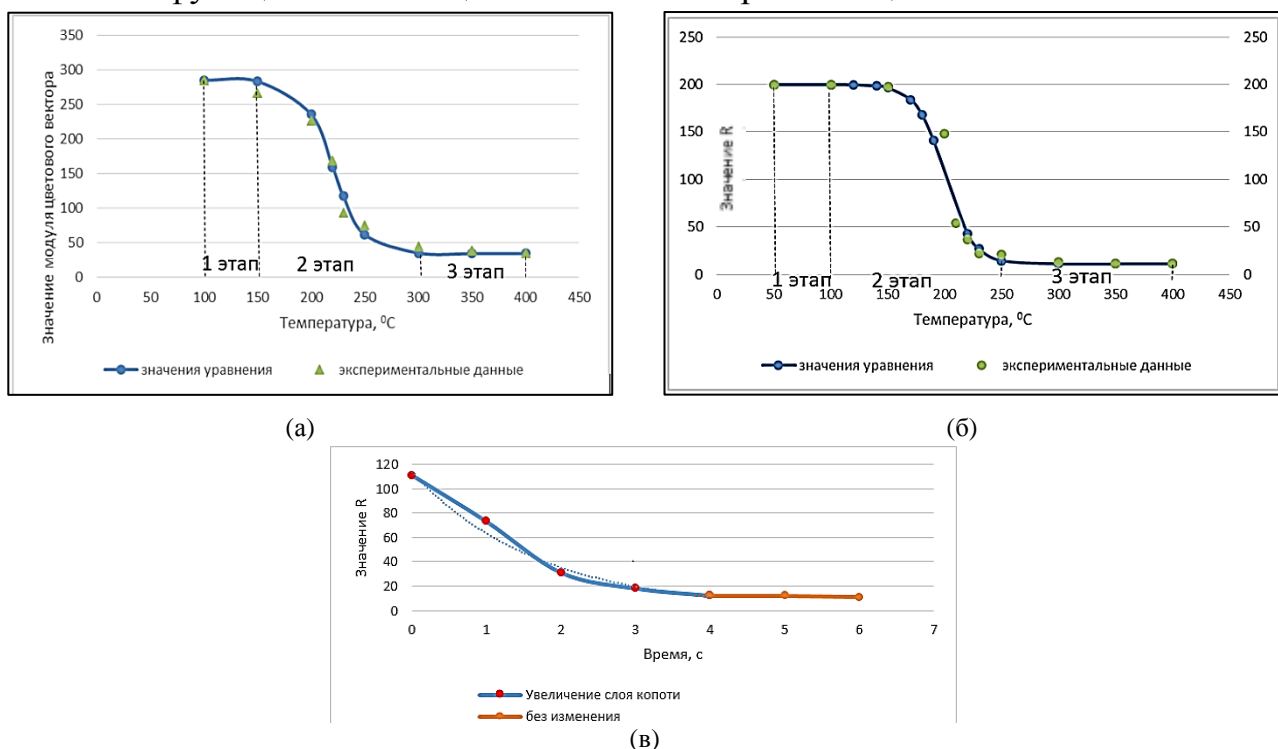


Рисунок 6 – Графики зависимости показателей цвета от температуры: а – для древесины значение Ψ , б – для ПВХ значение R , в – для копоти значения R

Для древесины: 1 этап – изменения значений Ψ отсутствует (без повреждений); 2 этап – уменьшение значений Ψ , что соответствует процессу пиролиза; 3 этап – изменения значений Ψ отсутствует (максимальные повреждения в виде обугливания). Значения модуля цветового вектора древесины уменьшаются в пределах от 100 до 350 °С на всех временных промежутках температурного воздействия. Таким образом, наибольшим термическим повреждениям древесины соответствуют наименьшие значения Ψ . Для ПВХ: 1 этап – изменения значений R отсутствует (без повреждений); 2 этап – соответствует процессу термической деструкции; 3 этап – изменения значений R отсутствует (максимальные повреждения в виде обугливания). Значения R ПВХ уменьшаются в пределах от 150 до 250 °С на всех временных промежутках температурного воздействия. Таким образом, наибольшим термическим повреждениям ПВХ соответствуют наименьшие значения R . Для копоти при увеличении слоя значения R уменьшаются по экспоненциальной зависимости. Процесс изменения цветовых характеристик от температуры для древесины и ПВХ был описан логистической кривой. Таким образом, решена

задача определения и сравнения степени термического повреждения материалов разработанным инструментальным методом и прибором по изменениям цветовых характеристик RGB.

В четвертой главе представлены результаты практического применения предложенного метода и прибора на пожарах при исследовании бетонных и металлических конструкций, а также проведена валидация предлагаемой методики с помощью сравнения с результатами, полученными с использованием других (замер остаточных температур, ультразвуковая дефектоскопия и магнитный метод) утвержденных для экспертных исследований методик. В главе предложены практические рекомендации по применению метода и прибора контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара путем измерения цветовых характеристик. На рисунке 7 представлена методика исследования материалов с помощью метода и прибора контроля степени термических повреждений путем цветоизмерения.

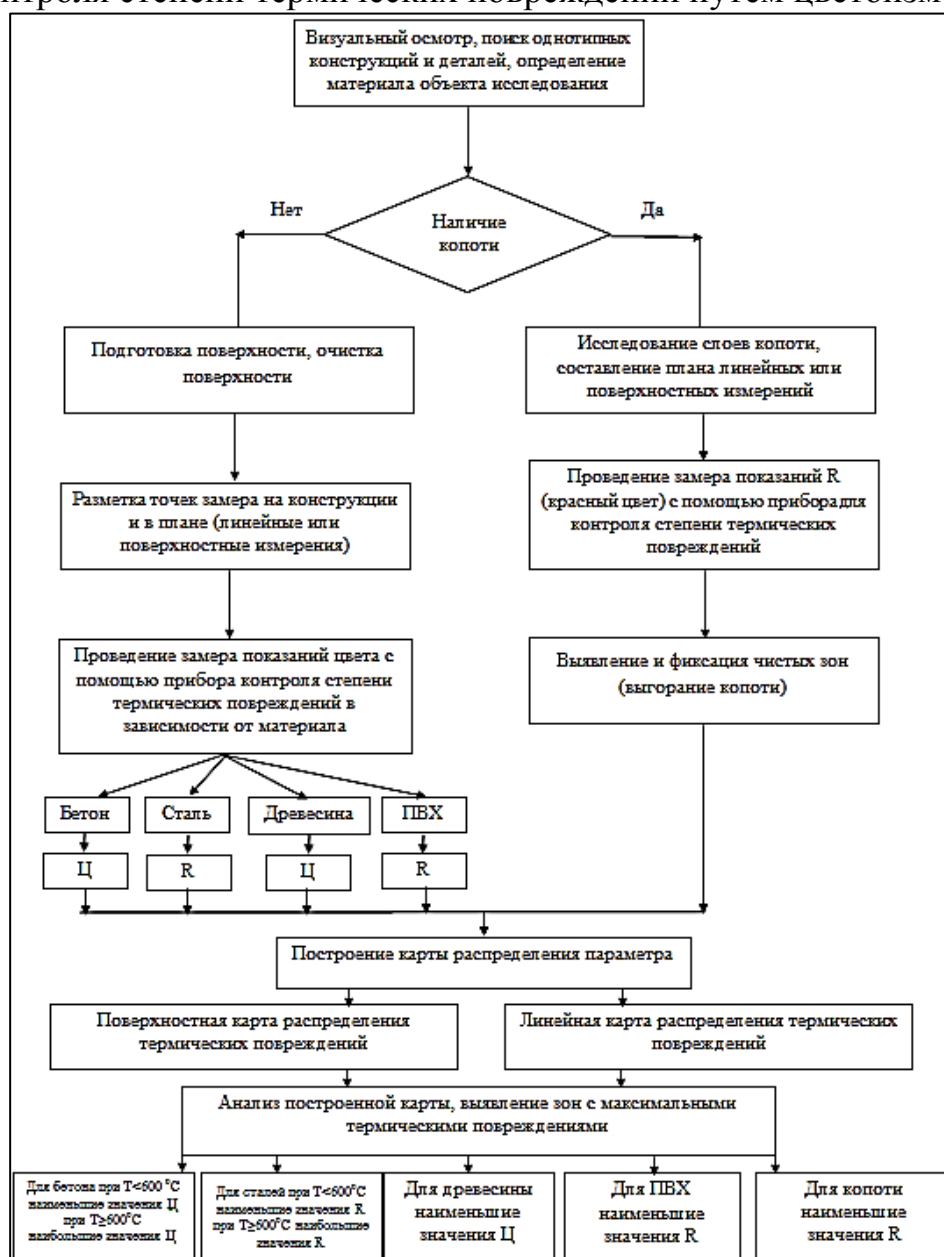


Рисунок 7 – Методика исследования материалов путем цветоизмерения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на основании выполненных исследований, решены научные задачи по обоснованию и разработке метода и прибора контроля степени термических повреждений материалов, что позволит повысить качество проведения расследования пожаров и обеспечит повышение пожарной и экологической безопасности страны.

Основные выводы, научные и практические результаты, полученные и представленные в диссертации, заключаются в следующем:

1. Разработан метод неразрушающего контроля веществ и материалов, позволяющий инструментально по изменению цветовых характеристик установить степень термических повреждений и очаг пожара, что позволит повысить объективность сделанных выводов. Метод является универсальным в части применения для большинства материалов встречающихся на пожаре и позволяет оценить температуру воздействия на материалы в пределах характерных для физических изменений конкретного исследуемого объекта.

2. Разработан прибор контроля термических повреждений веществ, материалов и изделий на месте пожара, имеющий лучшие характеристики по сравнению с аналогами, позволяющий проводить измерения цветовых характеристик различных по размерам объектов в полевых условиях, выполненного на основе логического программируемого контроллера, что минимизирует погрешность измерений, полученных путем усреднения результатов в каждом канале по выборке, состоящей из нескольких десятков циклов.

3. Установлены зависимости изменений цветовых характеристик от температуры и времени термического воздействия на объекты исследования. Получены аналитические модели изменений цветовых характеристик при термическом воздействии на исследуемые материалы. Предложены критерии оценки степени термических повреждений веществ и материалов в виде значений модуля цветового вектора для бетона и древесины, и значений R для стали, ПВХ и копти.

4. Результаты, полученные с помощью других валидированных методов оценки степени термических повреждений совпадают с результатами предложенного метода. Таким образом, метод контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара путем измерения цветовых характеристик позволяет объективно принять решение по установлению очага пожара. Разработана методика по применению метода и прибора контроля степени термических повреждений веществ и материалов на месте пожара.

На основании проведенного исследования **перспективами дальнейшей разработки темы** будут являться следующие направления: разработка критериев оценки степени термических повреждений различных материалов (разные типы металлов, полимеров, пород древесины и т.д.); разработка метода по дифференциации аварийных режимов работы электросети по цвету окисных пленок на поверхности.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ*Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. Горбунов А. С. Исследование изменений цветовых характеристик стали при термическом воздействии / А. С. Горбунов, М. В. Елфимова, Ю. Н. Безбородов // Омский научный вестник. – 2022. – № 2(182). – С. 119-124.

2. Горбунов А. С. Исследование изменений цветовых характеристик бетона при термическом воздействии / А. С. Горбунов, М. В. Елфимова, Ю. Н. Безбородов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2022. – № 2(42). – С. 60-65.

3. Горбунов А. С. Результаты исследования изменения цветовых характеристик полимеров при термическом воздействии / А. С. Горбунов, М. В. Елфимова, Ю. Н. Безбородов // Контроль. Диагностика. – 2022. – Т. 25. – № 10(292). – С. 40-47.

4. Горбунов А. С. Контроль степени термических повреждений древесины путем измерения цветовых характеристик / А. С. Горбунов, М. В. Елфимова, Ю. Н. Безбородов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2023. – Т.66, № 2. – С. 131-138.

Публикации в иных научных изданиях

5. Горбунов А. С. Возможность применения оптического прибора для определения цвета в экспертизе пожаров / А. С. Горбунов, А. Н. Слепов, И. Н. Пожаркова // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции – Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2021. – С. 616-619.

6. Горбунов А. С. Светоизмерение при расследовании и экспертизе пожаров / А. С. Горбунов // Актуальные вопросы естествознания: Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2022. – С. 51-55.

7. Горбунов А. С. Анализ методов и средств, применяемых для оценки степени термических повреждений материалов на месте пожара / А. С. Горбунов // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции – Железногорск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2022. – С. 96-98.

8. Горбунов А. С. Универсальный метод неразрушающего контроля степени термических повреждений материалов на месте пожара / А. С. Горбунов // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: сборник материалов Дней науки с международным участием, посвященных 90-летию Гражданской обороны России (30 мая – 3 июня 2022 г.): в 2 ч. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2022. Ч. 1. – 2022. – С. 82-85.

9. Горбунов А.С. Использование данных о цвете при расследовании и экспертизе пожара // Молодежь, наука и цивилизация: материалы международной студенческой научной конференции. Выпуск 24 – Красноярск: СибЮИ МВД России, 2022. – С. 415-418;

10. Горбунов, А. С. Исследование изменений цветовых характеристик древесины и поливинилхлорида при термическом воздействии / А. С. Горбунов // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Международной научно-практической конференции – Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2022. – С. 157-162.