

На правах рукописи



**Чернушевич Елена Валерьевна**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОНТРОЛЯ ТЕРМОДЕСТРУКТИВНОЙ  
СТОЙКОСТИ ОТДЕЛОЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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 – 2022

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  
**Ширинкин Павел Владимирович**

**Официальные оппоненты:** **Тарабанько Валерий Евгеньевич**  
доктор химических наук, профессор  
Институт химии и химической технологии  
Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, лаборатория физико-химических методов исследования материалов, главный научный сотрудник

**Попов Алексей Анатольевич**  
кандидат технических наук  
Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Омской области», отдел метрологического обеспечения и стандартизации, начальник отдела

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

Защита диссертации состоится 12 мая 2022 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](http://www.sfu-kras.ru).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Кайзер Юрий Филиппович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Статистические данные по количеству людей, погибших при пожарах (на 100 тысяч человек населения) свидетельствуют о том, что Российская Федерация находится в числе лидирующих государств в мире по этому показателю. При этом основной причиной гибели людей (около 70% случаев) является отравление токсичными продуктами горения и термического разложения, источником которых при пожаре в зданиях служит пожарная нагрузка, состоящая из элементов отделки интерьера, строительных конструкций и легко сменяемой обстановки помещений. Так, при пожаре в ночном клубе «Хромая лошадь» (г. Пермь) в 2009 году от отравления продуктами горения погиб 101 человек, а при пожаре в торговом центре «Зимняя вишня» (г. Кемерово) в 2018 году погибло 60 человек, 37 из которых – дети. Как показывают материалы расследований этих пожаров, одним из основных источников токсичных продуктов горения явились отделочные строительные материалы, изготовленные из полимеров.

С развитием производственных технологий на рынок отделочных строительных материалов поступает широкий ассортимент изделий и продукции на основе полимеров. Полимерные строительные материалы наряду с высокими эксплуатационными свойствами и положительными качествами имеют существенный недостаток, который проявляется в их склонности к деструкции в процессе эксплуатации. Данный процесс происходит под воздействием различных физических и химических факторов, в результате чего изменяются первоначальные свойства отделочных строительных материалов, что сопровождается образованием различных химических веществ и их соединений, которые могут быть токсичными и пожаровзрывоопасными.

В настоящее время оценка безопасности отделочных строительных материалов в обязательном порядке осуществляется перед их поступлением на рынок. При этом оцениваются свойства отделочных строительных материалов при их обычной эксплуатации (санитарно-гигиеническая оценка), а также при возникновении пожара (оценка пожарной опасности).

Однако, существующие методы оценки отделочных строительных материалов не учитывают изменение их свойств в температурном диапазоне, значения которого выше значений температуры обычной эксплуатации материалов и ниже температур их тления и горения. Данное обстоятельство не позволяет в полной мере оценить опасность отделочных строительных материалов, а также степень их участия в формировании опасных факторов пожара.

Вследствие этого разработка новых методов контроля качества выпускаемых и реализуемых на торговых рынках отделочных строительных материалов является важной и актуальной.

**Степень разработанности темы.** Исследованию и прогнозированию пожароопасных и токсических свойств строительных материалов, а также совершенствованию методологии их оценки посвящены работы

Корольченко А.Я., Семенова Н.Н., Смирнова Н.В., Монахова В.Т., Молчадского О.И., Серкова Б.Б., Пономарева В.В. Барботько С.Л., Иличкина В.С., Трушкина Д.В., Пузача С.В., Грабовецкой Н.Н., Сарманаева С.Х., Нагановского Ю.К., Мироньчева А.В., Уваровой В.А. и других авторов. Динамикой формирования опасных факторов пожара и моделированием их распространения занимались Кошмаров Ю.А., Рубцов В.В., Зотов Ю.С., Матюшин А.В. и другие.

По результатам анализа работ вышеперечисленных авторов установлено, что термодеструктивные процессы, происходящие в веществах и материалах при повышенных температурах, оказывают влияние на динамику формирования опасных факторов пожара, что является важным с научной и практической точек зрения. Это еще раз подтверждает важность и значимость разработки новых методов контроля качества.

Таким образом, требуется совершенствование существующей методологии оценки соответствия отделочных строительных материалов требованиям безопасности. Контроль качества отделочных строительных материалов должен учитывать показатели, характеризующие изменение их свойств при термической деструкции, и влияние образующихся продуктов термической деструкции на формирование опасных факторов пожара.

**Цель диссертационной работы.** Повысить безопасность применения отделочных строительных материалов на основе контроля стойкости к термическому разложению, сопровождающемуся образованием пожароопасных и токсичных соединений.

**Задачи исследования:**

1. Исследовать влияние температур испытания на качественный и количественный состав продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов.
2. Исследовать влияние температуры и времени термостатирования на потерю массы образцов отделочных строительных материалов при термической деструкции.
3. Обосновать критерий оценки и разработать метод контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов.
4. Разработать практические рекомендации по реализации и применению результатов разработанного метода контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов.

**Объектом исследования** являются полимерные строительные материалы, применяемые для отделки помещений.

**Предметом исследования** является термическая деструкция отделочных строительных материалов и её параметры при воздействии температур, ниже температуры их тления.

**Научная новизна работы:**

1. Установлен характер влияния температур испытания на качественный и количественный состав продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов.

2. Получены результаты исследования влияния температуры и времени термостатирования на потерю массы образцов отделочных строительных материалов при термической деструкции, что позволило обосновать методику исследования их термодеструктивной стойкости.

3. Разработан новый метод контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, позволяющий оценивать параметры их термической деструкции.

4. Впервые обоснован критерий термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, на основании которого предложена новая классификация отделочных строительных материалов по стойкости к термической деструкции, позволяющая оценивать степень участия отделочных строительных материалов в формировании опасных факторов пожара, а также осуществлять их выбор для обеспечения более безопасного применения в зданиях различного назначения и уменьшения экологического ущерба от пожаров.

**Теоретическая значимость работы** заключается в:

- установлении характера влияния температур испытания на состав продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов;
- определении зависимости потери массы образцов отделочных строительных материалов различного состава и назначения при термической деструкции от температур и времени испытания;
- разработке метода контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, позволяющего оценивать параметры их термической деструкции;
- обосновании критерия термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке рекомендаций, включающих методику определения класса термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, а также предложений по совершенствованию системы классификации отделочных строительных материалов по пожарной опасности.

Разработанная методика определения класса термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов и их классификация могут быть применены при:

- оценке пожарной опасности отделочных строительных материалов;
- подготовке предложений в нормативные документы и нормативные правовые акты с целью более безопасного применения отделочных строительных материалов;
- моделировании развития опасных факторов пожара, позволяя учитывать образование продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач применялись методы анализа и обобщения теоретических и практических материалов,

научных трудов, а также нормативных правовых актов и нормативных документов по исследуемой проблеме. В ходе исследования применялись методы термического анализа и анализа выделяющихся газов, в частности: методы изотермического и динамического термогравиметрического анализа и дифференциально-сканирующей калориметрии – для исследования термической деструкции отделочных строительных материалов, а метод ИК-Фурье спектроскопии и оптронноспектрофотометрический метод – для определения количественного и качественного состава образующихся продуктов термической деструкции. При обработке экспериментальных данных применялись методы математической статистики: точечные и интервальные оценки параметров распределений.

**На защиту выносятся:**

1. Результаты исследования влияния температур испытания на качественный и количественный состав продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов.

2. Результаты исследования влияния температуры и времени термостатирования на потерю массы образцов отделочных строительных материалов при термической деструкции.

3. Метод контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов.

4. Критерий термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов и их классификация по стойкости к термической деструкции.

**Степень достоверности полученных результатов** обеспечивается использованием при проведении экспериментов поверенных средств измерений и необходимым объемом экспериментальных исследований.

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

1. I Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» г. Железногорск, 2019.

2. VIII Всероссийской научно-практической конференции «Молодые учёные в решении актуальных проблем безопасности» г. Железногорск, 2019.

3. Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности» с международным участием, г. Екатеринбург, 2019.

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

5. NETS 2021: Международный научно-практический форум по проблемам устойчивого развития в цифровом мире: Человек. Экономика. Технологии. Социум, г. Красноярск, 2021.

6. IV International Conference MIST: Aerospace - 2021: Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering: III Workshop Advances in Materials Science, г. Красноярск, 2021.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, включая 3 работы в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, 4 статьи в сборниках трудов Международных и Всероссийских научно-практических конференций, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Реализация результатов работы.** Основные результаты, полученные в диссертационной работе, внедрены в ООО «Центр пожарной экспертизы»; Красноярский филиал Института теплофизики им. С.С. Кутателидзе СО РАН; образовательный процесс Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России и Уральского института ГПС МЧС России.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация изложена на 170 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня используемых сокращений, списка литературы и приложений. Текст работы содержит 44 таблицы и 47 рисунков. Список литературы содержит 100 источников.

## **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 нормативных документов, содержащих санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования и требования пожарной безопасности, предъявляемые к отделочным строительным материалам. Проанализированы отечественная и зарубежная системы оценки пожарной опасности строительных материалов, рассмотрены существующие методы контроля показателей пожарной опасности строительных материалов.

В настоящее время для обеспечения безопасности людей отделочные строительные материалы перед поступлением на рынок проходят обязательное подтверждение соответствия санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям и требованиям пожарной безопасности. В рамках подтверждения соответствия санитарно-эпидемиологическим требованиям оценивается способность отделочных строительных материалов в процессе их эксплуатации создавать химическое загрязнение воздушной среды помещений при температурах 20-28°C и 40°C.

При подтверждении соответствия отделочных строительных материалов требованиям пожарной безопасности определяются их пожароопасные свойства (горючесть, воспламеняемость, способность распространения пламени по поверхности, дымообразующая способность, токсичность продуктов горения). Определение пожароопасных свойств отделочных строительных материалов осуществляется в температурных режимах «тления»

(обеспечивается при температуре на  $50^{\circ}\text{C}$  ниже температуры, при которой происходит самовоспламенение образца) и «пламенного горения» ( $670\text{--}750^{\circ}\text{C}$ ).

Установлено, что существующие методы оценки соответствия отделочных строительных материалов требованиям безопасности не учитывают температурный диапазон от «повышенной» температуры ( $40^{\circ}\text{C}$ ) при проведении санитарно-гигиенической оценки до температуры их «тления» при оценке пожарной опасности (рис. 1).



Рисунок 1 – Температурные режимы оценки соответствия отделочных строительных материалов требованиям безопасности

Термическая деструкция отделочных строительных материалов в указанном температурном диапазоне также не учитывается при моделировании развития опасных факторов пожара.

**Вторая глава** посвящена экспериментальному исследованию термической деструкции отделочных строительных материалов, анализу и обработке полученных результатов. На основании экспериментальных данных обоснована методика исследования термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов.

В настоящее время для отделки помещений применяются различные по составу и свойствам полимерные строительные материалы, которые по назначению классифицируют на материалы для отделки потолков, стен и полов (рис.2).

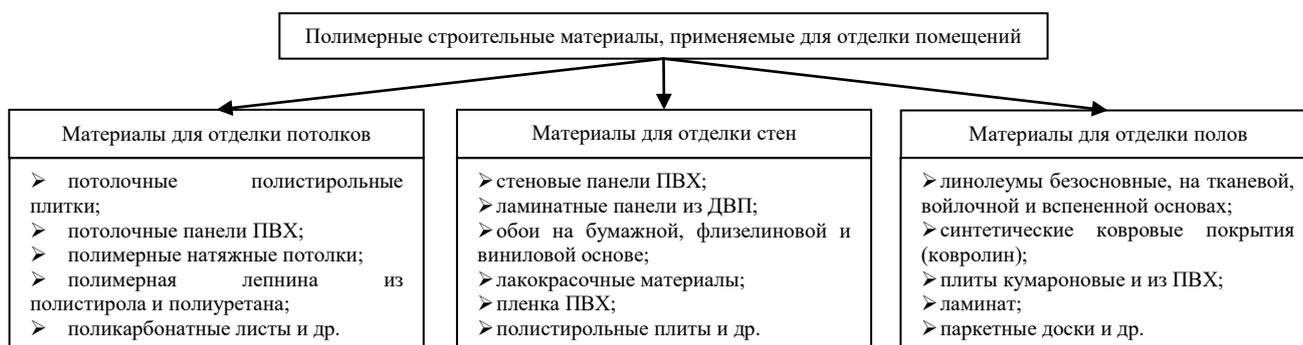


Рисунок 2 – Полимерные строительные материалы, применяемые для отделки помещений

В качестве материалов для проведения исследования выбраны общедоступные и распространенные отделочные строительные материалы известных производителей такие, как панель поливинилхлоридная для отделки

стен и потолков (образец №1), напольные покрытия из поливинилхлорида на тканой основе (образцы №№2-4) и на нетканой основе из вспененного поливинилхлорида (образцы №№5-7), обои виниловые на флизелиновой (образец №8) и бумажной основе (образец №9) и пенополистирольная плита (образец №10).

Экспериментальное исследование термической деструкции отделочных строительных материалов осуществлялось в три этапа (рис.3).

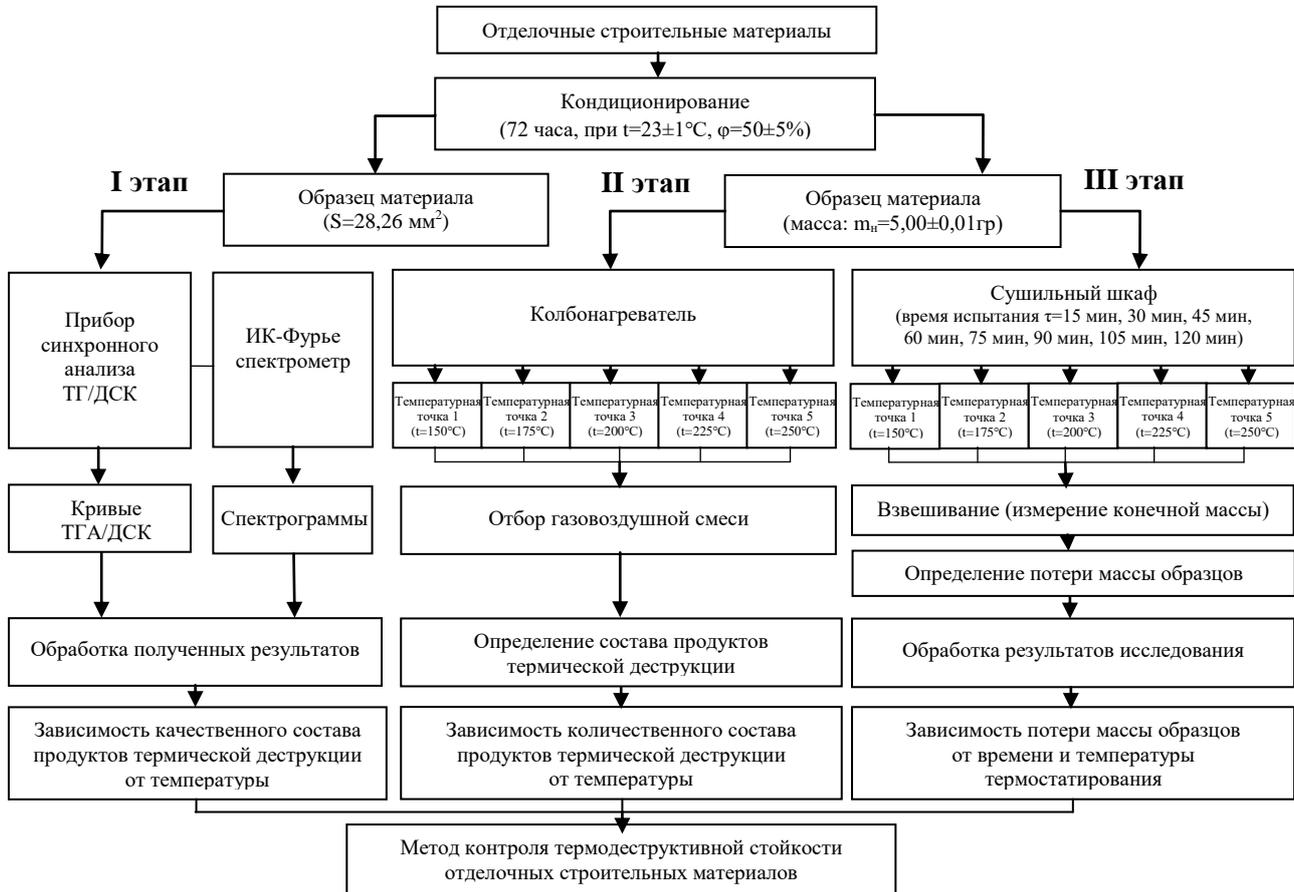


Рисунок 3 – Методика экспериментального исследования термической деструкции отделочных строительных материалов

Первый этап заключался в проведении динамического термогравиметрического анализа на приборе синхронного термического анализа, совмещенного с инфракрасной спектроскопией. Цель данного этапа – установить зависимость качественного состава продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов от температуры.

По результатам первого этапа установлено, что разложение отделочных строительных материалов начинается при температурах около 250°C. Интенсивное разложение образцов отделочных строительных материалов происходит в диапазоне температур 250-300°C, а скорость деструкции в этой области достигает своего максимального значения.

По результатам анализа ИК-спектров газообразных продуктов термической деструкции образцов при температурах 200-500°C установлено, что качественный состав продуктов термической деструкции изменяется в

процессе эксперимента. С повышением температуры продукты термической деструкции замещаются или дополняются новыми. Так, на начальном этапе разложения (200-250°C) при термической деструкции образцов отделочных строительных материалов образуется диоксид углерода и пары воды. При температурах около 300°C для большинства образцов происходит образование различных химических соединений, таких как хлористый водород, сложные эфиры, оксид углерода, диоксид углерода, алкены и другие. В продуктах термической деструкции образца №10 при данной температуре также наблюдается образование ароматических соединений.

Второй этап подразумевал проведение изотермического термогравиметрического анализа, совмещенного с анализом выделяющихся газов оптически-спектрофотометрическим методом. Цель данного этапа – установить зависимость количественного состава основных продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов от температуры. Для этого образцы материала массой  $5,00 \pm 0,01$  гр. помещались в колбонагреватель, где подвергались термостатированию в течение 15 минут в пяти температурных точках: 150°C, 175°C, 200°C, 225°C и 250°C. Образующиеся при термической деструкции газообразные продукты отбирались во вспомогательную колбу, где после завершения нагрева при помощи газоанализатора определялась их концентрация.

По результатам второго этапа исследования установлено, что в исследуемом температурном диапазоне (150-250°C) отделочные строительные материалы разрушаются с образованием вредных веществ, относящихся ко 2-му и 3-му классам опасности по степени воздействия на организм человека (хлороводород, диоксид азота, диоксид серы, фтороводород и фенол), которые являются высоко и умеренно опасными (табл.1). При этом концентрации идентифицируемых веществ при термической деструкции 5 гр. образцов материалов превышают ПДК в условном объеме комнаты жилого помещения (20 м<sup>3</sup>).

Таблица 1 – Результаты анализа газовой среды, образующейся при термической деструкции образца №2

Температура, °C	Обнаруженные вещества и их концентрация, мг/м <sup>3</sup> (класс опасности)				
	HCl (2)	NO <sub>2</sub> (3)	SO <sub>2</sub> (3)	HF (2)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O (2)
150	16,1	0,200	364,7	349,8	14,55
175	15,3	0,196	371,0	353,5	13,75
200	11,0	0,158	396,2	305,8	10,47
225	5,6	0,435	402,3	300,1	7,20
250	1,8	0,784	1535,8	1535,8	0,01

Третий этап исследования заключался в проведении изотермического термогравиметрического анализа. Цель третьего этапа исследования – установить влияние температуры и времени термостатирования на потерю массы образцов отделочных строительных материалов при термической деструкции. Для этого образцы массой  $5,00 \pm 0,01$  гр. помещались в сушильный шкаф, где подвергались термостатированию в течение 15÷120 мин с интервалом 15 минут в пяти температурных точках: 150°C, 175°C, 200°C,

225°C и 250°C. После термостатирования образцы охлаждались, взвешивались, затем определялась потеря массы образцов.

По результатам третьего этапа исследования установлено, что потеря массы образцов с повышением температуры нелинейно увеличивается. При температуре 150°C потеря массы образцов составляет до 2,2%, а при температуре 250°C – до 53% от начальной массы (рис.4). Наибольшее значение потери массы большинства образцов наблюдается в интервале температур 200-225°C. Исключение составляют образцы №1 и №10. Для данных образцов наибольшее значение потери массы наблюдается в интервале температур 225-250°C. В табл. 2 представлены интервалы времени, при которых скорость деструкции принимала максимальное значение.

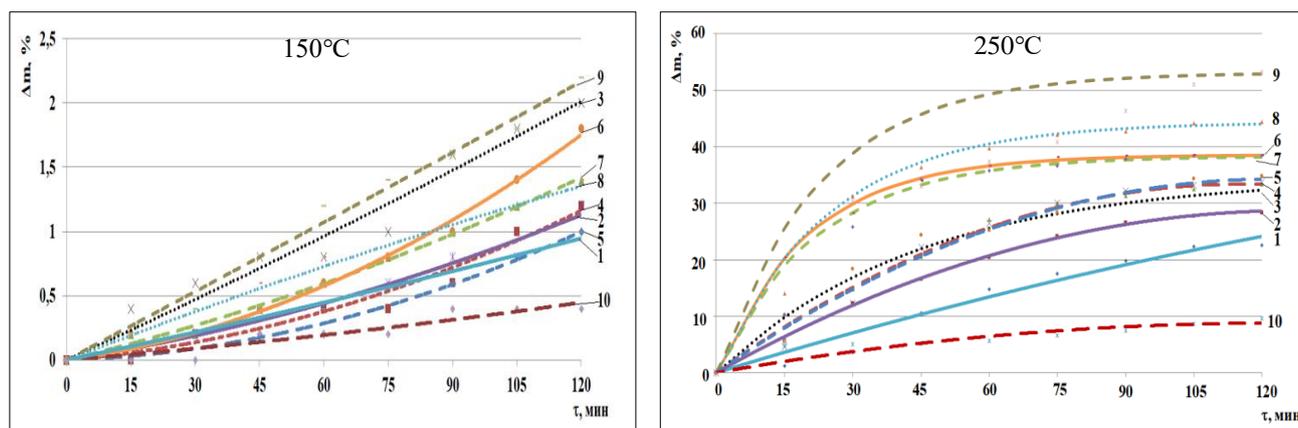


Рисунок 4 – Графические зависимости потери массы образцов от времени при температурах термостатирования  $t = 150^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 250^{\circ}\text{C}$

Таблица 2 – Интервалы времени термостатирования, которым соответствовали максимальные значения скорости деструкции

№ образца	Интервалы времени термостатирования, мин				
	150°C	175°C	200°C	225°C	250°C
1	0-15, 30-45, 60-75, 90-120	105-120	90-105	30-45, 60-75	30-45
2	105-120	75-90	30-45	15-30	15-30
3	75-90	60-75	30-45	15-30	0-15
4	90-105	75-90	45-60	30-45	15-30
5	15-30, 60-120	90-105	75-90	60-75	30-45
6	90-120	60-75	45-60	15-30	0-15
7	0-15, 30-120	75-90	45-60	45-60	15-30
8	90-120	30-45, 90-105	45-60	30-45	15-30
9	30-45, 105-120	45-60, 90-105	45-60	30-45	15-30
10	30-45, 75-90	15-30, 45-60, 75-90, 105-120	0-15, 30-60, 75-90, 105-120	0-60, 75-90, 105-120	0-15

Таким образом, основной параметр, определяющий термическую деструкцию образцов (потеря массы), зависит от температуры и времени термостатирования. Для различных образцов максимальные значения скорости потери массы соответствовали одному или нескольким временным интервалам.

С повышением температуры количество временных интервалов, соответствующих максимальным значениям скорости потери массы, сокращалось и при 250°C её максимальные значения достигались в течение 45 минут от начала испытания.

**Третья глава** посвящена обоснованию критерия оценки термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, разработке метода контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов и его апробации.

На основании результатов, полученных в главе 2, для оценки влияния термической деструкции отделочных строительных материалов на формирование опасных факторов пожара разработан метод контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов (рис. 5). Метод основан на оценке способности материала противостоять термическому разложению, сопровождающемуся образованием пожароопасных и токсичных веществ и соединений при термостатировании.



Рисунок 5 – Метод контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов

Определение класса термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов осуществляется в следующем порядке: поступивший для исследования материал кондиционируется не менее 72 часов при температуре 23±1°C и относительной влажности воздуха 50±5%. Затем подготавливаются 10 образцов материала размером 40х60 мм фактической толщины. Сушильный шкаф нагревается до температуры 250°C и выдерживается при заданной температуре в течение 30 минут. 5 подготовленных образцов помещаются в фиксирующие рамки, взвешиваются и размещаются на противне сушильного шкафа, затем противень с образцами помещается в разогретый сушильный шкаф на средний уровень и фиксируется время. По истечении 15 минут противень с испытуемыми образцами извлекается, фиксирующие рамки с образцами снимаются с противня и

охлаждаются в течение 10-20 минут. Рамки с образцами взвешиваются и определяется потеря массы для каждого образца. Затем испытание повторяется для следующих 5 образцов (время испытания 45 минут). Рассчитывается средняя потеря массы образцов (%) для каждого времени испытания ( $\Delta m_{15}$  и  $\Delta m_{45}$ ) и определяются класс термодеструктивной стойкости (по табл.3).

Класс термодеструктивной стойкости, выступающий критерием оценки термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, определяется по среднему значению потери массы образцов за  $\tau=45$  мин ( $\Delta m_{45}$ ) с учетом потери массы образцов за  $\tau=15$  мин ( $\Delta m_{15}$ ). Среднее значение потери массы образцов за 15 минут характеризует начальную термодеструктивную стойкость отделочных строительных материалов и учитывает нелинейность скорости термической деструкции.

Таблица 3 – Классификация отделочных строительных материалов по стойкости к термической деструкции

Класс термодеструктивной стойкости	Средняя потеря массы за $\tau=45$ мин ( $\Delta m_{45}$ ), %	Критическое значение потери массы за $\tau=15$ мин ( $\Delta m_{15max}$ ), %
ТС1	$\Delta m_{45} \leq 10$	4,33
ТС2	$10 < \Delta m_{45} \leq 20$	8,66
ТС3	$20 < \Delta m_{45} \leq 30$	12,99
ТС4	$30 < \Delta m_{45} \leq 40$	17,32
ТС5	$40 < \Delta m_{45}$	-

Условие понижения класса стойкости:  
если  $\Delta m_{15} \geq \Delta m_{15max}$  то класс стойкости материала понижается на 1 класс

В соответствии с разработанной методикой были проведены испытания образцов отделочных строительных материалов. По результатам испытаний установлено, что ко второму классу термодеструктивной стойкости относятся пять образцов (образцы №№ 1, 2, 8-10); к третьему – три образца (образцы №№3-5); и по одному образцу относятся к четвертому (образец №7) и пятому классам (образец №6).

В четвертой главе представлены практические рекомендации для внедрения, которые включают разработанную методику определения класса термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, и предложения по совершенствованию существующей системы классификации строительных материалов (табл. 4).

Таблица 4 – Предложения по совершенствованию существующей системы классификации строительных материалов

Свойства пожарной опасности отделочных строительных материалов	Класс пожарной опасности строительных материалов в зависимости от групп					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г3	Г4
Воспламеняемость	-	В1	В2	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	-	Д2	Д2	Д3	Д3	Д3
Токсичность	-	Т2	Т2	Т2	Т3	Т4
Распространение пламени	-	РП1	РП1	РП2	РП2	РП4
Термодеструктивная стойкость	-	ТС1	ТС1	ТС1	ТС2	ТС5

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, на основании выполненных автором исследований, решена научная задача по обоснованию и разработке метода контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов.

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

1. При проведении исследования термической деструкции отделочных строительных материалов установлено, что качественный состав продуктов термической деструкции изменяется в процессе эксперимента. С повышением температуры продукты термической деструкции замещаются или дополняются новыми. Установлено, что термическая деструкция отделочных строительных материалов сопровождается образованием вредных веществ, относящихся ко 2-му и 3-му классу опасности (хлороводород, диоксид азота, диоксид серы, фтороводород и фенол), которые являются высоко и умеренно опасными по степени воздействия на организм человека. При этом концентрация веществ изменяется с повышением температуры: для хлороводорода и фенола отмечается снижение концентрации, а для диоксида азота, диоксида серы и фтороводорода, напротив, отмечается её повышение.

2. Установлено, что термическая деструкция материала зависит от температуры и времени термостатирования. Потеря массы исследуемых образцов отделочных строительных материалов при термостатировании нелинейно увеличивается с повышением температуры. Наибольшее значение потери массы наблюдается в интервале температур 200-250°C.

Для испытуемых образцов максимальные значения скорости потери массы соответствовали одному или нескольким временным интервалам. При повышении температуры количество временных интервалов, соответствующих максимальным значениям скорости потери массы, сокращалось и при 250°C максимальная скорость потери массы достигалась в течение 45 минут от начала испытания.

3. Для оценки влияния термической деструкции отделочных строительных материалов на формирование опасных факторов пожара разработан метод контроля термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, в основе которого лежит способность материала противостоять термическому разложению, сопровождающемуся образованием пожароопасных и токсичных веществ и соединений.

4. Обоснован критерий оценки термодеструктивной стойкости – класс термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, который определяется по среднему значению потери массы образцов при температуре термостатирования 250°C за  $\tau=45$  мин ( $\Delta m_{45}$ ) с учетом потери массы образцов за  $\tau=15$  мин ( $\Delta m_{15}$ ). При этом среднее значение потери массы образцов за 15 минут характеризует начальную термодеструктивную стойкость отделочных строительных материалов и учитывает нелинейность скорости термической деструкции.

На основании данного критерия предложена классификация отделочных строительных материалов по стойкости к термической деструкции, включающая 5 классов термодеструктивной стойкости материалов. Класс термодеструктивной стойкости характеризует степень участия отделочных строительных материалов в формировании опасных факторов пожара при их термической деструкции.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций, включающих методику определения класса термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов, а также предложений по совершенствованию системы классификации отделочных строительных материалов по пожарной опасности.

Разработанная методика определения класса термодеструктивной стойкости отделочных строительных материалов и их классификация могут быть применены при: оценке пожарной опасности отделочных строительных материалов; подготовке предложений в нормативные документы и нормативные правовые акты с целью более безопасного применения отделочных строительных материалов; моделировании развития опасных факторов пожара, позволяя учитывать образование продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов.

На основании результатов проведенного исследования **перспективами дальнейшей разработки темы** будут являться следующие направления: разработка метода оценки пожаровзрывоопасных свойств продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов; создание базы показателей качественного и количественного состава продуктов термической деструкции отделочных строительных материалов для использования в целях уточнения моделей прогнозирования развития опасных факторов пожара; проведение исследований по изучению термической деструкции строительных материалов иного назначения и состава.

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ*

1. Чернушевич, Е.В. Особенности определения токсичности продуктов горения строительных материалов / Е.В. Чернушевич, П.В. Ширинкин // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2020. – №1 (16). – С. 22 – 28.

2. Чернушевич, Е.В. Исследование термической деструкции напольных покрытий из поливинилхлорида / Е.В. Чернушевич, П.В. Ширинкин, Ю.Н. Безбородов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 3. – С. 109 – 114.

3. Чернушевич, Е.В. Термический анализ отделочных строительных материалов и инфракрасная спектроскопия газообразных продуктов их термической деструкции / Е.В. Чернушевич, М.Ю. Принцева, П.В. Ширинкин, Ю.Н. Безбородов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2021. – № 6. – С. 119 – 123.

*Публикации в иных научных изданиях*

4. Чернушевич, Е.В. Применение метода оценки токсичности к современным строительным материалам /Е.В. Чернушевич, П.В. Ширинкин // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, г. Железногорск, 26 апреля 2019 года. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 87 – 91.

5. Чернушевич, Е.В. О существующих подходах к определению токсичности продуктов горения материалов / Е.В. Чернушевич // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности», Железногорск, 31 мая 2019 года. — Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 38 – 39.

6. Чернушевич, Е. В. Результаты исследования термической деструкции напольных покрытий на основе поливинилхлорида / Е. В. Чернушевич // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 23 апреля 2021 года. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 37 – 39.

7. Чернушевич, Е. В. Анализ существующей системы оценки токсической и пожарной опасности отделочных строительных материалов / Е. В. Чернушевич // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Красноярск, 15 октября 2021 года. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. – С. 65 – 67.

*Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ*

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021680796 Российская Федерация. Программа для обработки результатов испытаний по определению класса термодеструктивной стойкости полимерсодержащих отделочных строительных материалов и формирования отчетных документов / Е.В. Чернушевич, П.В. Ширинкин, Ю.Н. Безбородов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. - № 2021680512; заявл. 15.12.2021; опубл. 15.12.2021. – Бюл. №12 – 1 с.