

**МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ**

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи



Григорьева Маргарита Петровна

**ПОЖАРОБЕЗОПАСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ
В ЗДАНИЯХ С ПЛАНИРОВКОЙ КОРИДОРНОГО ТИПА**

Специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»
(Технические науки. отрасль – строительство)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Татьяна Юрьевна Ерёмина

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
 ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	 11
1.1 Системы нормирования применения напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа	11
1.2 Методы оценки пожарной опасности напольных покрытий	23
1.2.1 Распространение пламени по поверхности напольных покрытий	25
1.2.2 Воспламеняемость напольных покрытий	34
1.2.3 Токсичность летучих продуктов сгорания при термодеструкции напольных покрытий	37
1.2.4 Дымообразующая способность напольных покрытий	44
1.3 Моделирование и методы расчета температурного режима пожара в помещении	51
1.4 Выводы по главе 1	59
 ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	 62
2.1 Выбор материалов для эксперимента	62
2.2 Выбор геометрических размеров и технических характеристик образцов для эксперимента	64
2.3 Методика экспериментального исследования	66
2.3.1 Подготовка образцов для испытаний	66
2.3.2 Оборудование для проведения испытаний	67
2.3.3 Проведение лабораторных испытаний	68
2.4 Метод математического моделирования для обработки экспериментальных данных	70
2.5 Выводы по главе 2	74

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ	76
3.1 Исследование основных показателей пожарной опасности напольных покрытий в условиях стандартных испытаний	76
3.1.1 Количественные параметры пожарной опасности напольных покрытий на основе поливинилхлорида	77
3.1.2 Количественные параметры пожарной опасности напольных ковровых покрытий	80
3.2 Исследование закономерностей дымообразования напольных покрытий при воздействии падающего теплового потока различной плотности	82
3.3 Математическая модель процесса дымообразования при термоокислительном разложении (тлении) напольных покрытий	90
3.4 Расчет температурного режима и критических величин падающего теплового потока в динамике развития пожара в помещении	102
3.5 Выводы по главе 3	118
ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОЖАРОБЕЗОПАСНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗДАНИЯХ С ПЛАНИРОВКОЙ КОРИДОРНОГО ТИПА	120
4.1 Предложения по пожаробезопасному применению напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа	120
4.2 ГОСТ Р ИСО 9239-1–2014 «Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели»	128
4.3 Выводы по главе 4	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	135
Приложение А Акты внедрения	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в строительстве применяют огромное количество разнообразных напольных покрытий (далее – НП), представляющих собой отдельную для изучения группу декоративно-отделочных материалов. При этом НП отличаются между собой по химическому составу и возможному сочетанию в их композициях слоев (например, армирующий слой, теплозвукоизоляционный слой, защитный слой) и наряду с высокими эксплуатационными характеристиками НП обладают повышенными пожароопасными свойствами. Основной опасностью, которую могут представлять НП, является возможность распространения пожара в соседние помещения и в объеме здания, образования дымовой среды и токсичных соединений летучих продуктов их терморазложения в процессе горения. Особенно опасны пожары в зданиях с массовым пребыванием людей, а также с планировкой коридорного типа, в гостиничных и туристических комплексах, административных зданиях, где внушительные по размерам площади могут занимать напольные ковровые покрытия на основе полипропилена и полиамида. Известны пожары с гибельными последствиями, причиной распространения которых становились легковоспламеняемые напольные покрытия, находящиеся на пути эвакуации людей в безопасную зону (пожар в ночном клубе в г. Готенбург, 2001 г., пожар в госпитале, г. Векшё, 2003 г.).

Для полной и достоверной оценки пожарной опасности НП в России введен комплекс пожарно-технических характеристик – воспламеняемость, способность распространять пламя по поверхности материала и образовывать дымовую среду, а также выделять летучие токсичные продукты горения. Указанные характеристики оцениваются по результатам лабораторных исследований согласно стандартным методам испытаний, совершенствование которых всегда будет являться актуальной и перспективной задачей для ученых и специалистов.

Основные причины этого заключаются в появлении на рынке новых материалов НП и их многообразии, а также в ограниченных возможностях применения результатов стандартных испытаний при моделировании реальных

пожаров ввиду создания лабораторных условий, соответствующих одному конкретному сценарию развития пожара.

В мировой практике существует несколько научных подходов в направлении комплексной оценки пожарной опасности материалов НП, что привело к созданию в разных странах национальных требований к нормированию применения НП. Для более согласованного применения методов, испытаний и единого толкования требований по применению таких материалов в зданиях различного функционального назначения, мировое сообщество с середины прошлого века стремится к созданию унифицированной системы нормативных документов. В России подобная работа активно ведется последние два десятилетия, на что повлияло вступление во Всемирную торговую организацию (2011 г.), повлекшее за собой необходимость адаптировать на территории нашей страны европейские нормы.

В данной связи совершенствование и актуализация существующих и разработка новых методов оценки пожарной опасности НП для формирования основ их пожаробезопасного применения приобретает еще большую актуальность и значимость.

Степень разработанности темы исследования. Исследованию проблем методологии оценки материалов на пожарную опасность посвящено значительное число публикаций. Их решением занимались и занимаются многие ученые и практики как в России, так и за рубежом. Среди зарубежных специалистов следует назвать *J. Quintiere, P. Thomas, V. Babrauskas, J. Troitzsch, Carlos J. Hilado, D. Purser*, среди российских – М.М. Казиева, Б.Б. Серкова, А.Я. Корольченко, В.Т. Монахова, Р.М. Асееву, С.К. Годовского, С.С. Рыбанина, Д.В. Трушкина и др. Проблемами динамики опасных факторов пожара (далее – ОФП), в частности, динамики задымления помещений, занимались такие ученые, как Ю.А. Кошмаров, С.В. Пузач, Ю.С. Зотов, Д.Х. Кулев, Т.Г. Меркушкина, А.С. Турков, Н.В. Ландышев и др. Проблеме исследования основных пожароопасных характеристик материалов для прогнозирования их поведения при реальном пожаре посвящены работы И.С. Молчадского, Н.В. Смирнова, Н.И. Константиновой. Однако связь

экспериментальной оценки основных пожароопасных свойств напольных покрытий с закономерностями их поведения при пожаре для определения допустимых количественных параметров, характеризующих степень пожарной опасности, с учетом динамики развития пожара рассмотрена недостаточно. Особенно актуальным является исследование поведения напольных покрытий при пожаре в зданиях с наиболее распространенной коридорной схемой объемно-планировочных решений.

Цель работы – совершенствование методологии оценки пожарной опасности напольных покрытий и способов их пожаробезопасного применения в зданиях с планировкой коридорного типа.

Для достижения этой цели в работе поставлены следующие **задачи**:

1. Проанализировать методологию исследования напольных покрытий на пожарную опасность и различные факторы, влияющие на воспламенение и горение НП.
2. Определить пожарно-технические параметры напольных покрытий при воздействии падающего теплового потока различной плотности.
3. Исследовать закономерности процессов распространения пламени и дымообразования при воздействии падающего теплового потока для последующего прогнозирования поведения НП при пожарах в зданиях.
4. Провести исследование по определению критических параметров наступления ОФП при горении напольных покрытий (в программе *FDS (Fire Dinamic Simulator)*, создание модели пожара в типовом помещении).
5. Разработать предложения по усовершенствованию способов пожаробезопасного применения напольных покрытий.

Объект исследования – поведение напольных покрытий в условиях пожара.

Предмет исследования – безопасное применение напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа в условиях пожара.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Определены новые закономерности в процессе дымообразования напольных покрытий (ПВХ гомогенного типа, ПВХ гетерогенного типа, ковровые покрытия) при термическом разложении в различных условиях теплового воздействия.

2. Установлена область критических и предельно допустимых значений плотности падающего теплового потока для прогнозирования поведения НП в динамике развития критической ситуации для людей при пожаре.

3. Впервые разработан комплекс математических моделей процесса дымообразования при термоокислительной деструкции (тлении) материала НП в условиях стандартных испытаний.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в:

- определении критических значений и предельно допустимых количественных параметров, характеризующих степень пожарной опасности напольных покрытий с учетом термогазодинамической картины пожара в зданиях с планировкой коридорного типа;

- использовании расчетно-аналитического метода оценки соответствия материалов НП требованиям пожарной безопасности;

- применении динамических характеристик дымообразования в процессе распространения пламени по образцу для прогнозирования поведения материала в условиях пожара;

- актуализации, изменении и дополнении к нормативным документам в области методологии испытаний материалов (ГОСТ 12.1.044–89 п. 4.18, СП 1.13130.2009 (с изменениями и дополнениями)) на основании полученных результатов.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач были использованы методы теории вероятностей и математической статистики, реализованные в работе при помощи программы *AtteStat 12.0.5*, математического моделирования, стандартные методы определения критической поверхностной плотности теплового потока, коэффициента дымообразования. Теоретические исследования проводились на базе использования классических законов тепломассообмена, теории тепломассообмена при пожаре, теории горения полимеров.

Моделирование динамики распространения опасных факторов пожара при симуляции крупномасштабного эксперимента проводилось при помощи программы *FDS (Fire Dinamic Simulator)*, реализующей полевую модель расчета

тепломассопереноса при пожаре в здании. Расчеты времени эвакуации проводились при помощи индивидуально-поточной модели движения людского потока в программе *Pathfinder*.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования предельно допустимой области критической плотности теплового потока, образуемой в зоне нахождения НП при пожаре, критически значимые параметры дымообразования НП;

- математические модели, позволяющие определить ослабление света в дымовой среде, образуемой при термоокислительном разложении (тлении) материала при заданной величине теплового потока, определены зависимости оптической плотности дыма от критического теплового потока и зависимости оптической плотности дыма от времени;

- предложения по совершенствованию методов оценки дымообразующей способности при пламенном горении и термоокислительном разложении (тлении) для НП;

- предложения по совершенствованию методологической схемы пожаробезопасного применения НП для применения их в зданиях с планировкой коридорного типа.

Основные результаты работы отражены в двух отчетах НИР, опубликованных статьях, докладах на международных научно-практических конференциях.

Практическая значимость работы подтверждена использованием результатов исследования:

- в научных исследованиях по разработке нормативно-технической документации, содержащей методы оценки пожарной опасности НП, принятые на международном уровне, и адаптации их к системе нормирования в России;

- при разработке ГОСТ Р ИСО 9239–1–2014 «Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Определение пожарной опасности напольных покрытий при применении источника радиационного нагрева».

Степень достоверности полученных результатов, приведённых в диссертационном исследовании, достигнута за счёт применения для решения поставленных задач апробированных математических методов; значительного объёма аналитических и экспериментальных исследований; согласованности полученных результатов с известными данными исследований в смежных областях, удовлетворительной точностью экспериментальных методов и измерений, корреляционным анализом результатов, полученных по разработанным и стандартным методикам.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и получили одобрение на следующих 9 международных научно-практических конференциях:

- Школа молодых ученых и специалистов МЧС России: «Интеллектуальный потенциал молодых ученых и специалистов МЧС России: комплексный подход к формированию научных кадров» (Россия, Москва, 2012);
- Международная научно-практическая конференция «Проблемы техносферной безопасности» (Россия, Москва, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2013);
- Международной конференции «Техническое регулирование в области пожарной безопасности: состояние, перспективы» (Россия, 2014);
- Международная научно-практическая конференция «Проблемы техносферной безопасности» (Россия, Москва, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2014);
- Всероссийская научно-практическая конференция «Безопасность в чрезвычайных ситуациях» (Россия, Санкт-Петербург, 2014);
- Международная научно-практическая конференция «Сервис безопасности: опыт, проблемы, перспективы» (Россия, 2015);
- Научно-практическая конференция с международным участием «Неделя науки в СПбПУ – 2015» (Россия, Санкт-Петербург, 2015);
- Международная научно-практическая конференция «Проблемы техносферной безопасности – 2016» (Россия, Москва, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2016).

– Международная конференция «Полимерные материалы пониженной горючести» памяти академика Б.А. Жубанова (Алматы, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, 2017).

Автор считает своим долгом выразить благодарность за ценные советы и оказание практической помощи при совместной работе доктору технических наук Н.И. Константиновой и кандидату технических наук М.М. Казиеву.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложения. Работа содержит 154 страницы текста, иллюстрированного 48 рисунками, имеет 52 таблицы и 162 наименования литературы.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Системы нормирования применения напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа

Во всех зданиях применяются разнообразные напольные покрытия, которые могут способствовать распространению пожара и образованию опасных факторов, воздействующих на жизнь и здоровье людей.

Разнообразие напольных покрытий охватывает натуральные и синтетические полимеры, обладающие высокими пожароопасными свойствами (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Виды материалов напольных покрытий, распространенных в строительстве

Вид материала напольного покрытия		Состав
Натуральные напольные покрытия	<i>Штучный паркет</i>	Древесина
	<i>Многослойный паркет</i>	
	<i>Модульный паркет</i>	
	<i>Линолеум</i>	Льняное масло, древесная смола, древесная мука и/или пробковая мука, порошок известняка, цветные и белые пигменты, джутовая ткань
ПВХ гомогенного типа		Поливинилхлорид, пластическая масса, пластификаторы
ПВХ гетерогенного типа		Поливинилхлорид, пластическая масса, пластификаторы, стеклохолст
ПВХ покрытия с пробковой подосновой		Поливинилхлорид, пластическая масса, пластификаторы, пробка
Линолеум с пробковой подосновой		Поливинилхлорид, пластическая масса, пластификаторы, пробка
Линолеум «Релин»		Поливинилхлорид, пластическая масса, пластификаторы
Кварц-виниловые плитки		Натуральный кварц 60-80 %, винил, пластификаторы
Каучуковые покрытия		Синтетический и натуральный каучук, пластификаторы, наполнители
Ламинат		Древесноволокнистые плиты, акрелатные, меламиновые смолы, декоративный бумажный слой
Специальные покрытия	<i>Сценические</i>	Поливинилхлорид, холст, армированный стекловолокном, амортизирующая подложка из поролон
	<i>Спортивные</i>	Резиновый гранулят, полиуретановые связующие, мембрана из ПВХ
Напольные ковровые покрытия	<i>Ковровые покрытия иглопробивные</i>	Натуральные (лен, хлопок, джут) и синтетические (полипропилен, полиамид (нейлон 6.6), шерсть, полиэстер, акрил) волокна ворса, основа (резина, джут, войлок, винил)
	<i>Ковровые покрытия прошивные</i>	
	<i>Ковровые покрытия тканые</i>	
	<i>Ковровые покрытия плетеные</i>	

Анализ пожаров в зданиях различного класса функциональной пожарной опасности показывает, что напольные покрытия могут составлять значительную часть горючей нагрузки любого рассматриваемого объекта (таблица 1.2). В одних случаях пожар возникает при непосредственном воздействии источника зажигания на материалы внутренней отделки помещений, в других – горючие материалы, применяемые в качестве напольных покрытий, при возгорании способствуют быстрому распространению пожара по зданию.

Таблица 1.2 – Перечень крупных пожаров, развитию которых способствовало наличие горючих напольных покрытий

Наименование объекта	Год	Причина возникновения, распространения пожара и гибели людей	Последствия пожара
Дом престарелых «Harmar house», Мариэтта, Огайо	1970	Наличие легковоспламеняемых ковров на путях эвакуации	31 погибший
Отель «Дай-Юн-Как» г. Сеул, Южная Корея	1971	Горючая отделка эвакуации, применение длинноворсовых ковров на путях эвакуации	162 погибших
Гостиница «Россия» г. Москва	1979	Высокая токсичность и дымообразующая способность отделки путей эвакуации полимерными материалами НП	42 погибших
Отель «Хилтон» г. Лас-Вегас	1980	Поджог в лифтовом холле 8-го этажа; Наличие легковоспламеняющихся ковров	87 погибших 350 пострадавших
Гостиница «Ленинград» г. Санкт-Петербург	1993	Высокая токсичность продуктов сгорания и дымообразующая способность полимерных материалов отделки путей эвакуации	22 погибших, в т.ч. 9 пожарных
Гостиница «Шахтер» г. Москва	1993	Быстрое распространение пламени по напольным покрытиям (линолеум, ковровые покрытия)	4 погибших
Ночной клуб г. Готенбург, Швеция	1997	Применение линолеума на путях эвакуации (по деревянным перекрытиям) и распространение пламени по деревянным перекрытиям	63 погибших
Госпиталь, Växjö, Швеция	2003	Неосторожное обращение с огнем. Наличие горючих напольных покрытий с высокой дымообразующей способностью	2 погибших

Особенное значение имеют пожары в общественных зданиях с типовыми, наиболее распространенными в строительстве, объемно-планировочными решениями, таких как гостиницы, школы, дома престарелых, административные здания и т. д. Подобные здания чаще всего имеют планировку коридорного типа, где пространственная схема типового этажа включает группу ячеек, связанных линейной коммуникацией, т. е. коридором.

Один из ярких тому примеров пожар в 22-этажном отеле «Дай-Юн-Как» (Сеул, Южная Корея, 25 декабря, 1971 г.) [71], причиной распространения которого стало применение горючей отделки путей эвакуации (рисовая бумага для отделки подвесных потолков), и в том числе применение синтетических длинноворсовых ковров, которыми были устланы коридоры отеля. Поскольку

пожар начался в утренние часы, в кафе-баре на втором этаже, большинство людей, находившихся на верхних этажах, оказались в ловушке, так как эвакуационные выходы были перекрыты по причине предшествующей рождественской вечеринки, а техника корейской пожарной охраны не имела возможности проводить аварийно-спасательные работы при возникновении пожаров в высотных зданиях. К тому же удушливый дым заполнил объем здания гораздо быстрее, чем того требовало минимальное время для безопасной эвакуации людей.

Пожар в гостинице «Россия» (Москва, 25 февраля 1979 г.) повлек за собой гибель 42 человек. Основной причиной смертельного исхода для многих проживающих были не термические ожоги, а отравление токсичными газами при горении облицовочных полимерных материалов.

Анализ динамики развития пожара свидетельствует, что НП могут быть опасны, как на ранней стадии его возникновения, так как могут способствовать распространению пламени в соседние помещения, и блокированию путей эвакуации, так и в стадии развития пожара. Рассматриваемые материалы НП, в особенности напольные ковровые покрытия, легковоспламеняемы, токсичны и имеют высокую дымообразующую способность. Достаточно полная статистическая информация о пожарах конструкций пола, текстильных материалов (к которым относятся напольные ковровые покрытия) представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.1.3 Статистика пожаров 2004–2015 гг. [52–63]

Год	Показатель	Отделочные материалы*	Одежда, текстиль, спальные принадлежности	Пол	Настил, в т.ч. с утеплителем*
2004	Кол-во пожаров, ед.	–	14048	83463	–
	Погибло всего людей, чел.	–	3403	10949	–
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	–	89107	1395024	–
2005	Кол-во пожаров, ед.	–	12695	83983	–
2005	Погибло всего людей, чел.	–	3113	11007	–
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	–	102178	1750262	–
2006	Кол-во пожаров, ед.	–	10878	74756	–
	Погибло всего людей, чел.	–	2519	10170	–
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	–	118915	1962496	–

Окончание таблицы 1.3

2007	Кол-во пожаров, ед.	–	10275	72410	–
	Погибло всего людей, чел.	–	2271	9498	–
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	–	235377	2368809	–
2008	Кол-во пожаров, ед.	–	9054	65416	–
	Погибло всего людей, чел.	–	1955	9059	–
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	–	162973	3954650	–
2009	Кол-во пожаров, ед.	11780	18281	56439	548
	Погибло всего людей, чел.	576	4546	8452	25
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	1032477	410447	2362941	31410
2010	Кол-во пожаров, ед.	12382	15984	50766	476
	Погибло всего людей, чел.	612	4003	7818	27
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	793228	514418	2542691	31661
2011	Кол-во пожаров, ед.	12143	14707	47491	351
	Погибло всего людей, чел.	608	3677	7178	17
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	887400	365275	3913782	188448
2012	Кол-во пожаров, ед.	11914	13151	43442	483
	Погибло всего людей, чел.	708	3398	6731	22
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	929888	273284	3600074	40889
2013	Кол-во пожаров, ед.	11719	12182	40293	418
	Погибло всего людей, чел.	613	3022	6117	21
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	1337831	1415464	3887704	95588
2014	Кол-во пожаров, ед.	11773	10867	38090	402
	Погибло всего людей, чел.	653	2752	5685	15
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	1219363	553931	3986039	55686
2015	Кол-во пожаров, ед.	8926	8518	28933	232
	Погибло всего людей, чел.	395	1938	3838	14
	Прямой мат. ущерб, тыс. руб.	980865	258694	2393363	18544
* код введен приказом МЧС России от 10.12.2008 № 760					

При этом только за 2015 год пожарная статистика в России насчитывает 4090 пожаров, возникших в коридорах различных общественных зданий, с гибельными последствиями (число погибших – 298; таблица 1.4) [63].

Таблица 1.4 – Статистика пожаров в общественных зданиях с планировкой коридорного типа (2011–2016 гг.) [60–64]

Место возникновения пожара	Количество пожаров, ед. Количество погибших, чел. Количество травмированных, чел.			
	Здание для временного пребывания людей	Учебно-воспитательные учреждения	Объекты здравоохранения и социального обслуживания	Административные здания
Коридор	84	81	68	296
	5	0	40	6
	5	0	4	21

В США в среднем происходит 3520 пожаров в зданиях гостиниц, 1830 пожаров в зданиях медицинских учреждений, 5100 в образовательных учреждениях ежегодно [118], также отмечается, что гибель людей происходит преимущественно в ночное время [117]. В Великобритании статистический учет ведется как для материала, который явился источником пожара, так и для материала, который в большей мере способствовал распространению пламени. Пожары, начавшиеся непосредственно с материала НП, составляют 332 в 2015 году в жилых и общественных зданиях, и 325 пожаров получили распространение по помещениям и коридорам благодаря применению пожароопасных НП [116].

На сегодняшний день для оценки пожарной опасности напольных покрытий в России используется подход, который предполагает рассматривать классификационные показатели, характеризующие то или иное свойство, системно. Действующие нормы [17, 19, 20, 92] предусматривают группы: воспламеняемости (В1–В3), распространения пламени (РП1–РП4), дымообразующей способности (Д1–Д3), токсичности продуктов горения (Т1–Т4), которые используют для определения класса пожарной опасности (КМ0–КМ5) и возможности применения материалов НП на путях эвакуации, а также в зальных помещениях в зданиях различного функционального назначения.

Впервые вопрос о терминологии и классификации строительных материалов в России был поднят в 1912 году на международном пожарном конгрессе, состоявшемся в Петербурге. В 1916 году на XII Съезде Российского Пожарного Общества был сделан доклад о первой классификации материалов и конструкций. Материалы и конструкции делились на 3 класса: 1 – несгораемые; 2 – сгораемые; 3 – огнеупорные. Следующая более проработанная и усовершенствованная классификация материалов и конструкций была предложена архитектором Беляевым С.В. в 1918 году. Классификация предполагала 4 класса: 1 – материалы огнестойкие; 2 – материалы временно-огнестойкие; 3 – материалы временно-огнестойкие воспламеняемые; 4 – материалы неогнестойкие. В основу пожарной классификации строительных материалов была положена их способность к воспламенению под воздействием

высоких температур в условиях пожара. В 1928 году была принята классификация, разделяющая материалы на 2 категории: негорящие и горящие, которые подразделялись на огнестойкие, несгораемые, защищенные от возгорания и сгораемые. Вследствие отсутствия необходимого испытательного оборудования в СССР в то время допускалось применение методов испытания, применяющихся в западноевропейской практике [67].

В мировой практике создания научно-обоснованной методологии испытаний и классификации материалов по пожароопасным свойствам огнестойкость материалов и огнестойкость конструкции долгое время рассматривались как тождественные понятия.

До 2008 года требования к применению строительных материалов, в том числе и напольных покрытий, содержались в СНиП 21.01.97*[78]. Данный документ регламентировал применение материалов на путях эвакуации следующим образом:

- Г2, РП2, Д2, Т2 – для покрытий пола в вестибюлях, лестничных клетках, лифтовых холлах;
- В2, РП2, Д3, Т2 – для покрытий пола в общих коридорах, холлах и фойе.

В Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности [92] отражены те же требования, но уже в более структурированной форме (таблицы 1.5–1.6). Однако необходимо уделить внимание тому факту, что механизм разбиения комбинаций групп по любому из пожароопасных свойств материала на классы для определения области применения имеет ряд недостатков и может быть усовершенствован.

Таблица 1.5 – Требования, предъявляемые к напольным покрытиям согласно российским нормам [92]

Класс (подкласс) функциональной пожарной опасности здания	Этажность и высота здания	Класс пожарной опасности материала не более указанного	
		Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы	Общие коридоры, холлы, фойе
Ф 1.2; Ф1.3; Ф2.3; Ф2.4; Ф3.1; Ф 3.2; Ф3.6; Ф 4.2; Ф4.3; Ф 4.4; Ф 5.1; Ф 5.2; Ф 5.3	Не более 9 этажей или не более 28 м	КМ3 (РП2, Д3, Т2, В2)	КМ4 (РП2, Д3, Т3, В2)

Окончание таблицы 1.5

Ф 1.2, Ф 1.3, Ф 2.3, Ф 2.4, Ф 3.1, Ф 3.2, Ф 3.6, Ф 4.2, Ф 4.3, Ф 4.4, Ф 5.1, Ф 5.2, Ф 5.3	Более 9 этажей, но не более 17 этажей, более 28 м, но не более 50 м	КМ2 (РП1, Д2, Т2, В2)	КМ3(РП2, Д3, Т2, В2)
	Более 17 этажей или более 50 м	КМ1(РП1, Д2, Т2, В1)	КМ2 (РП1, Д2, Т2, В2)
Ф 1.1; Ф 2.1;Ф 2.2; Ф 3.3; Ф 3.4; Ф 3.5; Ф 4.1	Вне зависимости от этажности и высоты	КМ1(РП1, Д2, Т2, В1)	КМ2 (РП1, Д2, Т2, В2)

Таблица 1.6 – Требования, предъявляемые к напольным покрытиям согласно российским нормам [92]

Класс (подкласс) функциональной пожарной опасности здания	Вместимость зальных помещений, человек	Класс пожарной опасности материала не более указанного
Ф 1.2; Ф1.3; Ф2.3; Ф2.4; Ф3.1; Ф 3.2; Ф3.6; Ф 4.2; Ф4.3; Ф 4.4; Ф 5.1; Ф 5.2; Ф 5.3	Более 800	КМ2
	Более 300, но не более 800	КМ2
	Более 50, но не более 300	КМ3
	Не более 50	КМ4
Ф 1.1; Ф 2.1;Ф 2.2; Ф 3.3; Ф 3.4; Ф 3.5; Ф 4.1	Более 300	КМ2
	Более 15, но не более 300	КМ2
	Не более 15	КМ4

Представленная классификация материалов, в том числе и напольных покрытий, возникла благодаря многолетним теоретическим и экспериментальным исследованиям многих ученых и практиков. Однако стоит отметить, что она полагается на результаты лабораторных испытаний, которые могут носить сравнительный характер без удовлетворительных знаний о температурном режиме пожара в конкретном здании и конкретном помещении. К примеру, напольные покрытия с повышенной дымообразующей способностью (группа Д3) могут иметь значение удельной оптической плотности дыма, превышающее $500 \text{ м}^2/\text{кг}$, относится к классу КМ3 и применяться в некоторых зданиях на путях эвакуации, но скорость дымовыделения в процессе развития пожара будет существенно разниться для материалов с коэффициентами дымообразования $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и более. К тому же, область применения материалов устанавливается по результатам сертификационных испытаний без учета вида и количества пожарной

нагрузки в помещениях, их объемно-планировочных решений и возможного теплового или температурного режима пожара.

Исследования реальных тепловых потоков и температурных условий протекания пожара для определения допустимой области применения полимерных строительных материалов в зданиях различных классов пожарной опасности отражены в работах [31, 76, 77]. В 1988 году были сделаны попытки обосновать предельно допустимую высоту отделок стен коридоров, с учетом удельной пожарной нагрузки, площади выгорания и распределения тепловых потоков по длине и высоте помещения [31]. По результатам натурных наблюдений были подготовлены эмпирические формулы, позволяющие рассчитать предельно допустимые количественные показатели пожароопасных свойств применяемых материалов, которые на сегодняшний день требуют актуализации современными методами моделирования. В 1988 же году была создана методика определения температурного режима И.С. Молчадским [43].

На рисунке 1.1 представлена схема нормирования, основанная на схеме пожаробезопасного применения полимерных отделок в зданиях на примере гостиниц, впервые разработанной М.М. Казиевым, данный подход был развит далее в докторских диссертациях Б.Б. Серкова и Н.В. Смирнова для строительных материалов. Так, в работе [77] представлены предложения по определению допустимой области применения строительных материалов (в том числе и НП), основанные на критических значениях параметров, характеризующих пожарную опасность, при наихудшем возможном сценарии развития пожара. Разработанные рекомендации вошли в ФЗ № 123-ФЗ [92].

Необходимым и достаточным условием для обоснования требований к применению материалов являлось исключение возможности распространения пожара в соседние помещения и преждевременного блокирования путей эвакуации. Количественные параметры не должны превышать критических значений, которые были обоснованы и определены при проведении серий крупномасштабных экспериментов.

Подобная методологическая схема справедлива и для применения напольных покрытий в помещениях и коридорах зданий с коридорной схемой объемно-планировочных решений, но с учетом более подробного исследования количественных параметров, соответствующих условиям высокотемпературного нагрева при пожаре с участием наиболее распространенных типов НП, а также обоснования критериев для определения допустимой области их применения.



Рисунок 1.1 – Методологическая схема нормирования пожаробезопасного применения полимерных строительных материалов в зданиях [31, 76, 77]

Нормирование области применения строительных материалов в странах Европы основывается на определении сценариев развития пожара, также учитываются время возникновения общей вспышки (*pre-flashover*, *post-flashover*) и температурно-временные зависимости протекания самого пожара, отраженные в своде нормативных документов, именуемых Еврокодами (*Eurocodes*).

Вероятные сценарии пожара с участием напольных покрытий описаны следующим образом:

1. Пожар в комнате или коридоре этажа до общей вспышки;
2. Пожар в комнате или коридоре этажа после общей вспышки с последующим распространением пламени;
3. Пожар в комнате или коридоре этажа (переход в развитую стадию пожара, до общей вспышки);
4. Воспламенение напольного покрытия лестницы [121].

Стадии развития пожароопасной ситуации представлены на рисунке 1.2.

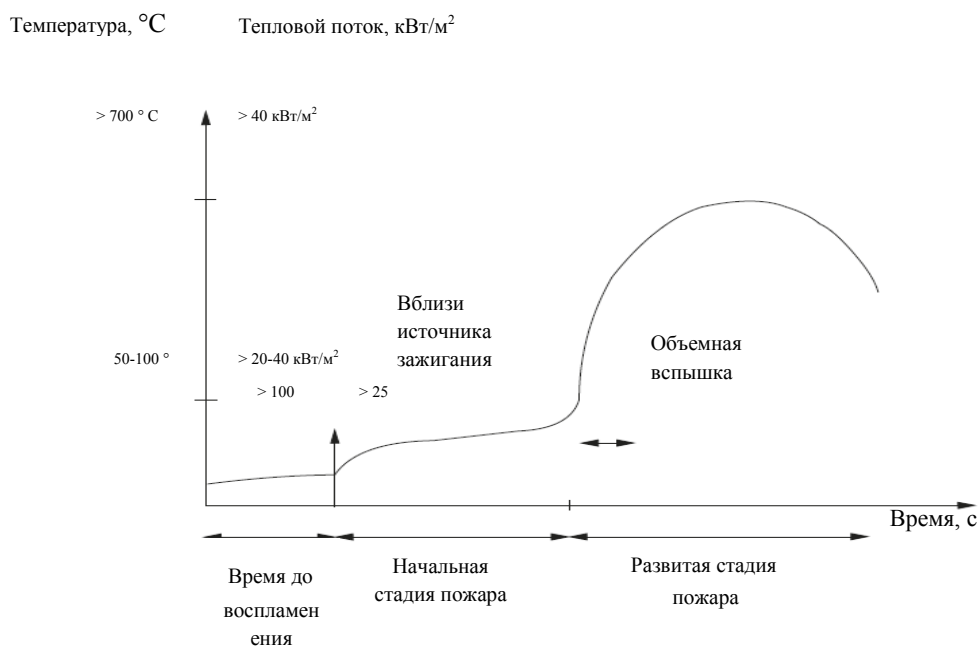


Рисунок 1.2 Стадии пожара [158]

Лабораторные условия оценки пожарной опасности НП, как правило, соответствуют одному из сценариев развития пожара. Также, положения нормативных документов содержат требования к регистрации распространения пламени по образцу (классы *A-E*), наличия горящих капель расплава (классы *d0-d2*) и дымообразования (классы *s1-s3*) для последующего определения области применения НП в зданиях. Согласно *EN 13501-1:2007+A1:2009* «Классификация конструкций и элементов зданий по огнестойкости. Часть 1. Классификация на основании результатов испытаний огнестойкости» [109] нормативные положения,

относящиеся к методам оценки пожарной опасности напольных покрытий, выделены в обособленный ряд требований. Так, пяти классификационным параметрам (A_{fl} , B_{fl} , C_{fl} , D_{fl} , E_{fl}) соответствуют национальные стандарты, регламентирующие лабораторные методы испытания на пожарную опасность напольных покрытий:

– ISO 11925–2:2010 Реакция на воздействие огня. Воспламеняемость строительных изделий, подверженных прямому воздействию пламени. Часть 2. Испытание на воспламеняемость под воздействием малого пламени [112].

– ISO 1182:2010 Испытания на определение реакции продукции на воздействие огня. Испытание на негорючесть [111];

– ISO 1716:2010 Изделия строительные. Реакция на испытания на огнестойкость. Определение теплоты сгорания (метод калориметрической бомбы) [113];

– EN 9239–1:2010 Испытания на определение реакции напольных покрытий на воздействие огня. Часть 1. Определение поведения при горении с использованием источника теплового излучения [110];

В основу классификации и методологии определения пожарной опасности напольных покрытий в странах Европы положено определение пожарнотехнических параметров, представленных в таблице 1.7).

Таблица 1.7 – Классификация напольных покрытий по пожарной опасности в странах Европы с 01.03.2003 г.

Класс	Количественные параметры пожарной опасности согласно EN 13501-1						
	Длина распространения пламени в течение 20 с, мм	Приrost температуры, °C	Степень повреждения по массе, %	Время самостоятельного горения, с	Высшая теплотворная способность, МДж/м	Критический тепловой поток, кВт/м ²	Максимальное ослабление света, % мин
	ISO 11925-2	ISO 1182	ISO 1182	ISO 1182	ISO 1716	EN 9239-1	EN 9239-1
$A1_{fl}$	–	≤30	≤ 50	0	$\leq 2,0$ $\leq 2,0$ $\leq 1,4$ $\leq 2,0$	–	–
$A2_{fl}$	–	≤50	≤ 50	20	$\leq 3,0$ $\leq 4,0$ $\leq 4,0$ $\leq 3,0$	≤ 8,0	$s1 \leq 750 \leq s2$

Окончание таблицы 1.7

B_{fl}	150	–	–	–	–	$\leq 8,0$	$s1 \leq 750 \leq s2$
C_{fl}	150	–	–	–	–	$\leq 4,5$	$s1 \leq 750 \leq s2$
D_{fl}	150	–	–	–	–	$\leq 3,0$	$s1 \leq 750 \leq s2$
E_{fl}	150	–	–	–	–	–	–
F_{fl}	Не нормируется						

Требования пожарной безопасности, изложенные в европейской нормативно-технической документации предъявляются к отделке внутренних поверхностей лестниц и путей эвакуации, также применяют особые требования к применению материалов НП в помещениях жилых зданий.

Нормативные требования для определения области применения напольных покрытий представляют собой классификацию по параметрам, характеризующих пожарную опасность и допустимых для конкретного сценария развития пожара. Пожарную опасность напольных покрытий, находящихся на путях эвакуации, оценивают с помощью методов, описанных выше, в некоторых случаях используются дополнительные методы (например, «*The Pill Test*»). Основным количественным параметром является максимальный тепловой поток, при котором напольное покрытие не поддерживает горение и не распространяет пламя (таблица 1.8).

Таблица 1.8 Нормативные требования к применению напольных покрытий в различных помещениях в зависимости от класса пожарной опасности в разных странах

Страна Основополагающий нормативный документ в строительной отрасли	Нормативные требования к применению напольных покрытий в различных помещениях в зависимости от класса пожарной опасности в странах ЕС		
	Помещения	Класс пожарной опасности	Количественный параметр
Великобритания (<i>The Building Regulations and Approved Documents A-H, J-N</i>)	Коридоры общественных зданий, помещения, не имеющие защищенного эвакуационного выхода	B_{fl}	$\geq 8 \text{ кВт/м}^2$
Финляндия (<i>The NBC of Finland</i>)	Коридоры общественных зданий	D_{FL-s1}	$\geq 3 \text{ кВт/м}^2$
International Building Code [126]	Пути эвакуации, лестницы, ramпы, коридоры и помещения	Class I (Группы I-1, I-2)	$\geq 4,5 \text{ кВт/м}^2$
		Class II (Группы A, B, E, H, I-4, M, R-1, S)	$\geq 2,2 \text{ кВт/м}^2$

Для напольных покрытий предусмотрены различные сценарии пожара, определяющие возникновение горения в помещениях, характеризующееся следующими этапами: воспламенение от небольшого источника нагрева (как правило, от малокалорийного источника зажигания) и распространение пламени по прилегающим конструкциям и помещениям через имеющиеся проемы.

1.2 Методы оценки пожарной опасности напольных покрытий

В мировой практике нормирование применения НП на путях эвакуации в зданиях осуществляется исходя из оценки основных пожароопасных свойств, определяющих степень пожарной опасности материалов НП, а это, как правило, способность воспламеняться, распространять пламя по поверхности, образовывать дымовую среду и токсичные соединения летучих продуктов распада. Методы оценки основных пожароопасных свойств излагаются в национальных и международных стандартах, утвержденных Американским обществом испытания материалов (*ASTM*), международной организацией стандартов (*ISO*), Международной электротехнической комиссией (*IEC*), Международным союзом электросвязи (*ITU*), Советом по нормам и связям (*ICC*), а также европейскими организациями стандартизации на региональном и национальном уровнях (таблицы 1.9–1.11).

К международной системе стандартизации относится большое количество организаций, разнообразных по сферам деятельности, принципам построения и назначению.

Таблица 1.9 – Официальные международные организации по стандартизации

ISO	Стандарты <i>ISO (International Organization for Standardization)</i> Международная организация по стандартизации
ASTM	Стандарты <i>ASTM (American Society of Testing Materials)</i> Американское общество по испытанию материалов
IEC	Стандарты <i>IEC (International Electrotechnical Commission)</i> Международная электротехническая комиссия
ITU	Стандарты <i>ITU (International Telecommunication Union)</i> Международный союз электросвязи
ICC	Стандарты <i>ICC (International Code Council)</i> Международный Совет по нормам и правилам

Таблица 1.10 – Европейские региональные организации стандартизации

CEN	Стандарты <i>CEN (European Committee for Standardization)</i> Европейский комитет по стандартизации
CENELEC	Стандарты <i>CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)</i> Европейский комитет по стандартизации в электротехнике

Окончание таблицы 1.10

ETSI	Стандарты <i>ETSI (European Telecommunications Standard Institute)</i> Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций
EASC	Стандарты <i>EASC (EuroAsian Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification)</i> Евразийский международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации
COPANT	Стандарты <i>COPANT (Pan American Standards Commission)</i> Пан-американский комитет по стандартам

Таблица 1.11 – Национальные европейские организации стандартизации

AFNOR	Стандарты <i>AFNOR (Association Francaise de Normalisation)</i> Французская ассоциация стандартизации
BSI	Стандарты <i>BSI (British Standards Institute)</i> Британский институт стандартов
DIN	Стандарты <i>DIN (Deutsches Institut fur Normung e.v.)</i> Немецкий институт стандартизации

Методы исследования напольных покрытий основываются на определении их качественных и количественных характеристик для последующей идентификации исследуемого материала по пожарной опасности. Пожарную опасность напольных покрытий, как правило, оценивают специальными методами, учитывающими специфику применения материалов НП на практике.

Основным критерием отнесения материала НП к пожаробезопасным во многих методах является критический тепловой поток, при котором материал не распространяет пламя по поверхности. Требуемая плотность теплового потока в данном случае должна быть больше предельно допустимой ее величины для применения испытанного материала на путях эвакуации, в частности, в коридорах общественных зданий (таблица 1.12).

Таблица 1.12 Основополагающие нормативные документы в области методологии испытаний напольных покрытий на пожарную опасность

Россия	ГОСТ 51032-97 Метод радиационной панели	Критический тепловой поток
Страны ЕС	EN 9239-1-2014 Метод радиационной панели	Критический тепловой поток
Германия	DIN 54332 Метод малой горелки DIN 4102-14 Метод радиационной панели	Критический тепловой поток
Франция	NF P 92-506 Метод радиационной панели	Критический тепловой поток
Канада	ULC-S 102.2 Модифицированный метод ASTM E84 (<i>Steiner tunnel test</i>)	Критический тепловой поток

Окончание таблицы 1.12

Австрия	ÖNORM B 3810 Метод радиационной панели	Критический тепловой поток
Швейцария	SNV 198-897 Метод малой горелки	Критический тепловой поток
США	ASTM D 2859 Метод таблетки для текстильных материалов/ ASTM E 648 Метод радиационной панели	Скорость распространения пламени
Китай	GB/T11785-89 Метод радиационной панели	Критический тепловой поток

На национальном уровне могут быть применены дополнительные стандарты, устанавливающие требования к методам испытаний текстильных напольных покрытий ISO 6925 «Метод оценки характеристики горения с использованием таблетки», «Hot Nut Method» *BS 4790 Method for Determination of the effects of a small source of ignition on textile floor coverings (hot metal nut method)*. Указанные методы оценки пожарной опасности ковровых покрытий направлены на изучение поведения материала при воздействии малокалорийного источника зажигания в условиях отсутствия внешнего лучистого нагрева.

Оценка способности воспламеняться и распространять пламя по поверхности, как правило, сопровождается изучением теплотворной способности, дымообразования и токсичности летучих продуктов горения.

1.2.1 Распространение пламени по поверхности напольных покрытий

Возникновение устойчивого горения обуславливает характер начальной стадии развития пожара. Именно процессы воспламенения и распространения пламени влекут за собой развитие пожара, выделение дыма, токсичных продуктов распада и тепла.

Процесс распространения пламени по поверхности заключается в способности поддерживать непрерывное газофазное воспламенение близлежащих нагретых слоев исходного материала, направленное навстречу потоку окислителя.

На способность материала к распространению пламени влияет, прежде всего, ориентация материала в пространстве, направление воздушного потока по отношению к направлению распространения волны горения, а также толщина материала. Для напольных покрытий характерна горизонтальная ориентация, при этом процесс распространения пламени происходит по горизонтальной поверхности, обращенной вверх, что оказывает соответствующее влияние на механизмы тепломассообмена при пожаре. Тепловой нагрев осуществляется непосредственно от фронта пламени, от нагретых конструкций, от газовых слоев, скапливающихся под перекрытием (рисунок 1.3).

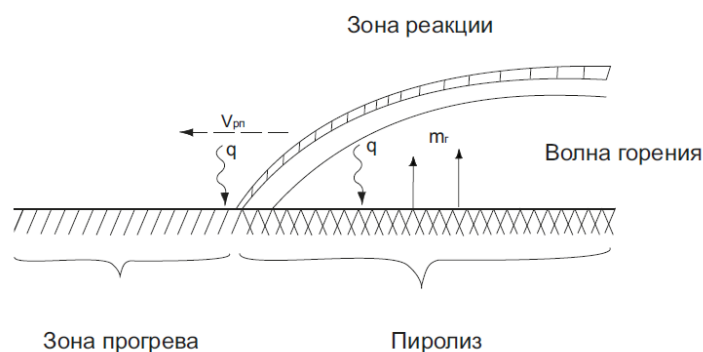


Рисунок 1.3 Схема процесса распространения пламени по поверхности напольного покрытия.

v_{pn} - направление скорости волны горения; q - тепловой поток;

m_r - поток выделяющихся частиц материала.

Многие ученые, изучая процесс распространения пламени, отталкиваются от схемы распространения пламени, отраженной на рисунке 1.3. При этом работы разделяются на исследование процесса распространения пламени в зависимости от направления движения волны горения относительно потока окислителя.

Одной из первых работ в 1928 году, ставшей началом теоретического исследования процесса распространения пламени, стала теория теплового воспламенения Н.Н. Семёнова [75]. Основные постулаты этой теории касались механизмов протекания экзотермической реакции в условиях самоускорения.

Первая математическая модель распространения пламени по поверхности горючего была описана в работе J. De Ris [152, 153]. Модель содержит приближение Озеена (C. W. Oseen) для газовой фазы (профиль однородного

потока). Предполагая скорость реакции бесконечной, *J. De Ris* вывел формулу скорости распространения пламени в конденсированной и газовой фазах для термически тонких и толстых материалов.

Согласно этой модели перенос тепла для термически тонких материалов от факела к приповерхностному непрогретому слою осуществляется теплопроводностью в газовой и конденсированной фазах и излучением, что образует двухмерную задачу.

I.S. Wichman и *F.A. Williams* [160–162], также как и *A.C. Fernandez-Pello* [115], продолжили исследования *J. De Ris*, используя гипотезу о тепломассопереносе во время горения, происходящем на поверхности горючего материала, что позволило рассматривать картину распространения пламени по поверхности материала при известных допущениях более детально по упрощенной модели. Авторы получили формулу для скорости распространения пламени, исходя из положения, что установившаяся скорость распространения пламени должна быть достаточной для перемещения выделившегося тепла сгорания потоками газо- и твердофазной конвекции (в фиксированных координатах кромки пламени), скорости выгорания, а также выражения для профиля температуры.

Однако авторы отмечают ряд недостатков: неудовлетворительная корреляция с результатами эксперимента, отсутствие зависимости скорости распространения пламени от давления.

В своих работах [69, 70] С.С. Рыбанин выделял три зоны волны горения: зона химической реакции и зона примыкающих к ней газовойздушной смеси и горючего материала, и на основе анализа процессов, происходящих при воспламенении и горении полимерных конденсированных систем при теплообмене с инертной средой, описал теорию пределов распространения пламени и скорости горения.

Позже, исследования *A. Atreya* [101, 102] показали, что для применения формулы *J. De Ris* излишне рассматривать теплообмен между газовой и твердой фазами в зоне движения фронта пламени. Это критическое замечание позволило

упростить анализ при помощи применения параболической формы распределения координат.

C. Di Blasi в своей работе [108] представил результаты численного моделирования процессов воспламенения и горения твердых топлив на примере термодеструкции древесины и полиметилметакрилата (ПММА).

Основными элементами для изучения при создании теорий распространения пламени по поверхности твердых полимерных материалов явились плотность теплового потока, создаваемого пламенем, механизм теплопередачи от пламени к не нагретым слоям материала, кинетика процесса, предельные условия устойчивого горения и затухания. Количественными параметрами, характеризующие распространение пламени по субстрату, были избраны скорость распространения пламени или скорость выгорания.

Скорость распространения пламени в общем виде можно рассчитать исходя из значений теплового потока, воздействующего на экспонируемую поверхность, с помощью уравнения, описывающего закон сохранения энергии [15]:

$$\rho V \Delta h = q, \quad (1.1)$$

где ρ – плотность материала; v – скорость распространения пламени, Δh – изменение энтальпии при изменении единичной массы при нагреве от начальной температуры T_0 до T_i , соответствующей температуре воспламенения.

Экспериментальные исследования процесса распространения пламени, как правило, основываются на определении критического значения плотности теплового потока, при воздействии которого материал не распространяет пламя.

Однако же один из первых стандартов в СССР ГОСТ 17088–71 («огневая труба»), содержащий метод оценки способности распространять пламя, был посвящен определению скорости распространения пламени, как отношению пути, пройденного пламенем в единицу времени. Метод применялся для выявления группы воспламеняемости для образцов размерами 300×40×1. При условии распространении пламени по всей длине образца материал относился к легковоспламеняемым.

До принятия ГОСТ 51032–97 основным стандартизированным методом оценки распространения пламени по поверхности являлся лабораторный метод,

изложенный в ГОСТ 12.1.0044–89 (п. 4.19). В 1973 году был предложен обобщенный критерий пожарной опасности материалов – индекс распространения пламени I . Аналитическое выражение этого критерия в общем виде включает в себя количество тепла, необходимого для воспламенения, количество тепла выделившегося при горении, скорость распространения пламени и длину, на которую пламя распространилось в процессе испытания при воздействии заданного распределения плотности теплового потока.

Распределение плотности теплового потока создается с помощью радиационной панели, расположенной вертикально, и ориентацией образца под углом 30° . Материалы, имеющие $\text{ИРП} \leq 20$, считаются медленно распространяющими пламя, если $\text{ИРП} \geq 20$ – быстро распространяющими пламя.

За рубежом основополагающим стандартизированным методом оценки способности распространять пламя по поверхности является метод радиационной панели EN 9239-1 (ГОСТ 51032–97 имеет аутентичный раздел).

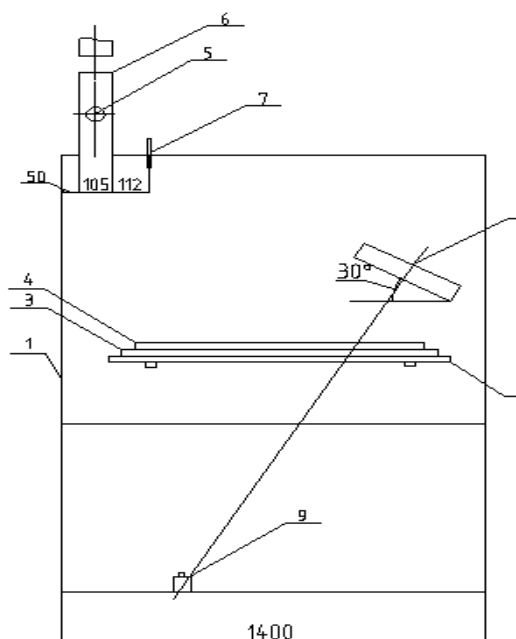


Рисунок 1.4 – Схема лабораторной установки для экспериментальной оценки способности напольных покрытий к распространению пламени по поверхности по ISO 9239-1 [110]:

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| 1. Испытательная камера | 2. Платформа |
| 3. Держатель образца | 4. Образец |
| 5. Фотоэлемент | 6. Вытяжной зонт |
| 7. Термопара | 8. Газовая радиационная панель |
| 9. Пирометр | |

Метод испытания EN 9239-1 (рисунок 1.4) на распространение пламени по материалам поверхностных слоев конструкций полов представляет собой исследование способности материала распространять пламя по поверхности под действием внешнего лучистого теплового потока (ИК-излучения) после локального воспламенения участка поверхности от малокалорийного источника зажигания, а также регистрацию оптических свойств дымовой среды, образующейся при испытании [110].

Испытательный прибор состоит из камеры размерами 1400×725×500 мм, газовой радиационной панели с поверхностью излучения 300×450 мм, газовой горелки, пламя которой воздействует на образец на расстоянии 10 мм от ближнего к радиационной панели края (рисунок 1.5). В выпускном патрубке установлены фотометрическая система для измерения оптической плотности дыма. Вначале прибор калибруется по плотности теплового потока, изменяющегося по длине образца. Плотность теплового потока изменяется с 11,0 до 1,0 кВт/м². По результатам испытания определяется критическая плотность теплового потока, при котором прекращается распространение пламени по поверхности при времени экспозиции 30 минут.



Рисунок 1.5 – Лабораторная установка для экспериментальной оценки способности напольных покрытий к распространению пламени по поверхности [158]

Первое упоминание о методе определения количественных характеристик распространения пламени было в 1918 году при разработке метода оценки воспламеняемости и способности поддерживать горение под воздействием теплового излучения от нагретого источника для материалов утепления чердачных перекрытий (*ASTM E 970-14*) [158]. На сегодняшний день актуальная версия стандарта на этот метод является альтернативным к утвержденному *ASTM E 84-16 Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*.

Метод оценки пожарной опасности напольных покрытий на способность распространять пламя под воздействием теплового потока, создающимся радиационной панелью, впервые был разработан в начале 1970-х годов Национальным Бюро Стандартов в Америке (*National Bureau of Standards*) и официально принят *American Society for Testing and Materials (ASTM)* и *National Fire Protection Association (NFPA)* в 1978 году.

Классификация напольных покрытий предполагала 2 класса пожарной опасности, и основывалась на натурных наблюдениях, заключавшихся в определении плотности тепловых потоков по длине коридора от двери в зоне нахождения напольных покрытий с разной пожарной нагрузкой (2,9 кг/м,² 5,4 кг/м,² 10,7 кг/м,² 13,7 кг/м,²). Критическим тепловым потоком являлась величина, равная примерно 5 кВт/м², выдержав которую напольное покрытие было отнесено к классу пожаробезопасных материалов [134].

На сегодняшний день метод радиационной панели является образующим в системе оценки пожарной опасности напольных покрытий во многих странах. При этом, как правило, сочетается исследование способности распространять пламя по поверхности материала и образовывать дымовую среду (таблица 1.13).

Таблица 1.13 – Метод испытаний НП с помощью лучистого нагрева от радиационной панели, стандартизированный в разных странах

Страна	Национальный стандарт
Россия	ГОСТ 51032-97 Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени
Великобритания	<i>BS 476 Fire tests on building materials and structures. Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products</i>

Окончание таблицы 1.13

Германия	<i>DIN 4102-14 Fire behaviour of building materials and elements; determination of the burning behaviour of floor covering systems using a radiant heat source</i>
США	<i>ASTM E 648-15e1 Standard Test Method for Critical Radiant Flux of Floor-Covering Systems Using a Radiant Heat Energy Source</i>
Австрия	<i>ONORM B 3810 Fire behavior of floor coverings</i>
Франция	<i>NF P 92-506 Building Materials – Reaction To Fire Tests – Radiant Panel Test For Flooring</i>
Норвегия	<i>SN NS-INSTA 414 Fire tests – Floorings – Fire spread and smoke generation</i>

Европейский метод испытания напольных покрытий имеет ряд отличительных особенностей:

- метод относится к методам динамической оценки дымообразующей способности, что определяет возможность определения скорости дымовыделения, что в значительной степени влияет на безопасную эвакуацию людей из здания.

- образцы материалов испытываются в условиях воздействия теплового потока 15 кВт/м^2 , что более приближено к реальным условиям воздействия лучистого тепла на покрытия пола при развитии пожара;

- имеет усовершенствованную систему горелки поджига: горелка имеет 19 равномерно распределенных отверстий диаметром по 0,7 мм, радиально расположенных на высоте средней линии, а также 16 отверстий диаметром по 0,7 мм, расположенных радиально на 60° под средней линией;

- устройство термоэлектрических преобразователей в реакционной камере установки позволяет контролировать температурный режим при испытаниях;

- установка принципиально не отличается от испытательного оборудования ГОСТ 51032–97 (за исключением наличия фотодиодного устройства в выпускном патрубке вытяжной трубы), поэтому существует возможность проследить корреляционную связь между результатами испытаний по критическим тепловым потокам при распространении пламени по покрытию, по методам EN 9239-1 и ГОСТ 51032–97 [26].

Из крупномасштабных методов испытаний НП следует отметить метод, именуемый «угол комнаты», содержащийся в стандарте *EN 9705 «Full-scale room test for surface products»* (ASTM E 108-00) [130]. Метод позволяет оценить скорость распространения пламени, дымообразующую способность, тепловыделение и показатель токсичности (рисунок 1.6).

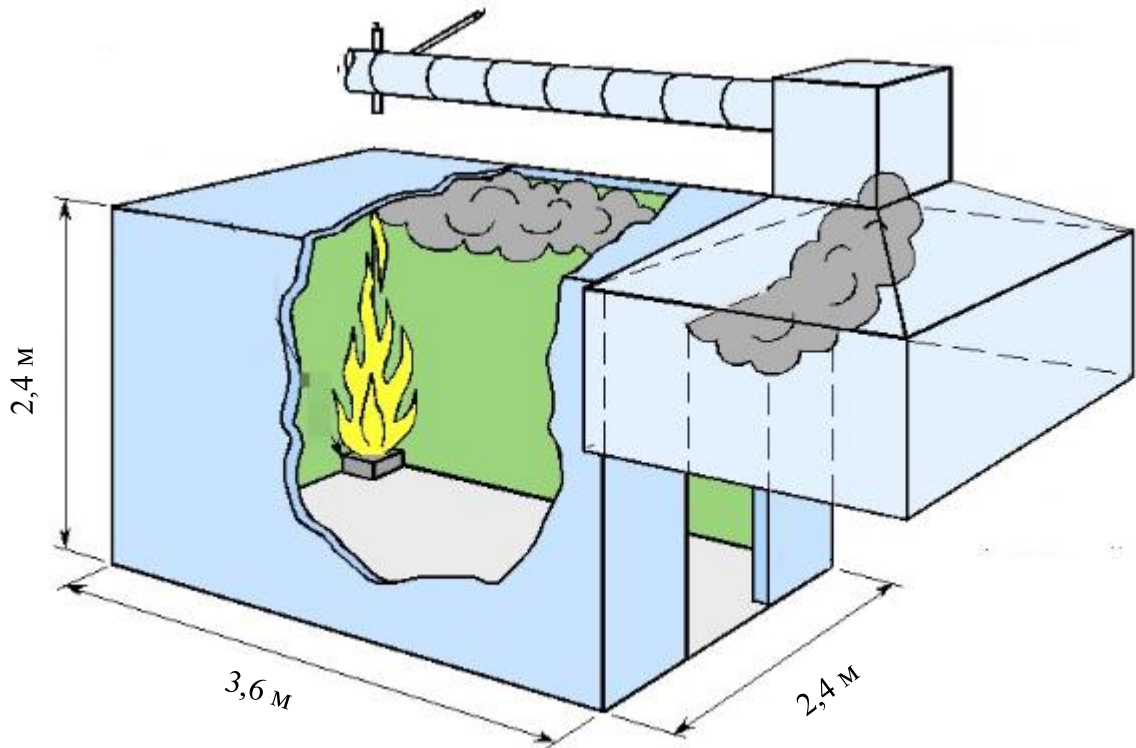


Рисунок 1.6 – Установка для испытаний по методу *Room Corner Test* [131]

Размеры помещения для испытаний составляют $3,6 \times 2,4 \times 2,4$ м, площадь образца материала 32 м^2 . Проводится серия испытаний по устноавленным сценариям. На протяжении испытания пропановая газовая горелка, расположенная в углу комнаты в реальном масштабе, обеспечивает выходную мощность 100 кВт в течение 10 минут, а затем 300 кВт выходной мощности в дополнительный 10-минутный период. Скорость тепловыделения *HRR*, *THR* и дыма (*spoke production*) непрерывно измеряется во времени. Этот метод является основным крупномасштабным методом для отделочных материалов, в том числе и напольных покрытий.

По итогам испытаний фиксируют скорость тепловыделения, скорость дымовыделения, мера ослабления света в фотометрической системе, температура в помещении, газовый анализ летучих продуктов токсичных соединений, а также время возникновения общей вспышки.

В некоторых странах существуют отдельные методы оценки способности распространять пламя для текстильных ковровых покрытий. Например, во Франции метод NF P92-501–1995 [141] предполагает испытание ковровых покрытий под углом 45° к плоскости излучающей радиационной панели нагрева, что должно воспроизводить процесс воспламенения и горения ковровых покрытий, уложенных на лестницах.

1.2.2 Воспламеняемость напольных покрытий

Теория воспламеняемости полимерных систем связана с трудами известных ученых Н.Н. Семенова, Я.В. Зельдовича, Д.А. Франк-Каменецкого и последователей их школы [29, 74, 94].

Склонность полимерного материала к воспламенению в условиях вынужденного воспламенения оценивают по таким показателям как температура воспламенения и самововспламенения, кислородный и температурный индекс, критическая плотность теплового потока от источника нагрева, которую выдерживает образец, время задержки воспламенения.

На сегодняшний день в России действует международный стандарт ГОСТ 30402–96, идентичный международному методу ISO 5657, который содержит метод оценки способности материалов, в том числе и напольных покрытий, воспламеняться под действием источника теплового нагрева (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 Лабораторная установка для экспериментальной оценки воспламеняемости по методу ISO 5657 [158]

Сущность метода заключается в определении выбранных параметров воспламеняемости в условиях воздействия источника зажигания и лучистого теплового потока. Параметрами являются критическая плотность теплового потока, при которой образец испытуемого материала не воспламеняется, и время воспламенения. Установка состоит из следующих основных частей:

- опорная станина;
- подвижная платформа;
- источник лучистого теплового потока (радиационная панель);
- система зажигания (вспомогательная стационарная горелка, подвижная горелка с механизированной и ручной системой перемещения) [19].

Методы оценки параметров воспламеняемости, описанные в ISO 5657 и ГОСТ 30402–96, подразумевают горизонтальное расположение образца, при этом, его экспонируемая поверхность подвергается воздействию лучистого теплового потока от конического обогревателя.

Метод заключается в попеременном подводе источника зажигания в виде подвижной горелки с необходимым расходом газа (19–20 мл/мин) и воздуха (160–180 мл/мин). При этом экспонируемая поверхность образца подвергается постоянному лучистому нагреву от радиационной панели на протяжении всего испытания (до момента воспламенения) плотностью 10–50 кВт/м². Подвижная

горелка через равные промежутки времени (4 с) обеспечивает подвод пламени на расстоянии 10 мм от внешней обогреваемой стороны образца в целях воспламенения газовой среды, возникающей при термическом разложении материала.

По результатам испытания фиксируют время воспламенения, наличие вспышек и пробежки пламени.

Из недостатков данного метода справедливо отмечают исследование процесса воспламенения малым количеством параметров, а также неадекватность условий испытаний условиям реального пожара.

В международной методологии выделяют стандартизированный метод для определения параметров воспламеняемости для ковровых покрытий *ASTM D2859–2016 Standard Test Method for Ignition Characteristics of Finished Textile Floor Covering Materials* [99].

Однако из основных зарубежных методов стоит отметить метод *ISO 11925–2 Single-flame source test* (рисунок 1.8), по результатам которого материал НП согласно европейской классификации относят к классам B_{fl} , C_{fl} , D_{fl} , E_{fl} .

Метод оценки материалов на воспламеняемость под воздействием малого пламени был разработан в Германии (*DIN 4102; Part 1; Class B2*) и известен как метод оценки воспламеняемости в вертикальной ориентации от малокалорийного источника зажигания.

Метод испытания заключается в воздействии на вертикально расположенный образец источника зажигания – пламени газовой горелки, в течение 15 или 30 с. Испытания проводятся в двух режимах: воздействие пламенем горелки на поверхность образца и с нижней кромки образца. По результатам испытаний фиксируют наличие пламенного горения образца, длину распространения пламени по поверхности (внутри) образца и затраченное на это время, наличие горящих капель расплава образца и воспламенение фильтровальной бумаги, расположенной под образцом.

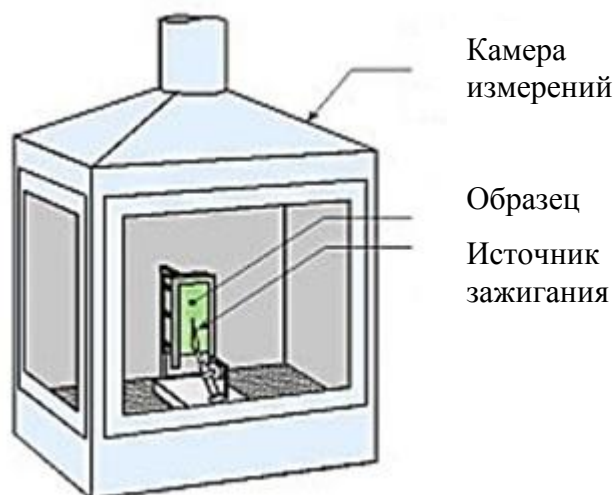


Рисунок 1.8 –Лабораторная установка для экспериментальной оценки воспламеняемости по методу ISO 11925-2 [158]

До введения в действие стандартизированной методики ГОСТ 30402–96 в отечественной методологии активно применялся такой параметр воспламеняемости как кислородный индекс – КИ (ГОСТ 21793–76 [18]). Впервые он был утвержден американским стандартом *ASTM D 2863 Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-Like Combustion of Plastics (Oxygen Index)*. КИ является сравнительной характеристикой и выражает минимальную объемную концентрацию кислорода в потоке газовой смеси, необходимую для поддержания устойчивого горения.

1.2.3 Токсичность летучих продуктов сгорания при термодеструкции напольных покрытий

Воздействие токсичных продуктов распада при термическом разложении полимерных материалов нередко является причиной гибели людей при пожаре. Установлено, что самыми распространенными токсичными продуктами сгорания являются газообразные ядовитые вещества – CO , CO_2 , HCl , HCN , SO_2 , NO_2 , NH_3 и др. Наибольшую долю токсикантов составляет выход CO [117, 119].

Продуктами горения НП являются такие токсичные вещества, как формальдегид $HCHO$, хлористый водород HCl , оксид углерода CO и др. Стиролосодержащие резиновые линолеумы выделяют стирол C_8H_8 , поражающие

центральную и периферическую нервную систему человека. Горение нитроолеумов опасно выделением таких веществ, как дибутилфталат $C_{16}H_{22}O_4$ и фенол C_6H_5OH . Весьма опасен кадмий Cd – тяжелый металл, содержащийся в газообразных продуктах распада напольных покрытий при термической деструкции в виде оксида CdO , вдыхание которого в течение 1 минуты с содержанием $2,5 \text{ г/м}^3$ в воздухе является смертельным.

Вопросу образования токсичных летучих продуктов распада термоокислительной деструкции полимерных систем посвящено множество экспериментальных и теоретических работ.

Методология оценки токсичности продуктов сгорания включает в себя три подхода:

1. Газоаналитические методы оценки токсичности при горении материалов, заключающиеся в определении концентрации токсичных веществ в газовой среде продуктов сгорания (токсикометрия) в условиях искусственной вентиляции для перемешивания воздуха;
2. Методы исследования показателей токсичности в условиях статических испытаний при помощи специальной закрытой камеры для аккумуляции токсичной среды (*ASTM E 1678, NBS Smoke Chamber, NES 713*);
3. Методы оценки токсического эффекта в условиях динамических испытаний при помощи направления воздушных потоков в камеру сгорания (трубчатую печь) образца (*NFX 70-100, DIN 53436, IEC 60695-7-50*).

Исследование токсичности летучих продуктов сгорания предполагает определение некоторых сравнительных параметров. Основными параметрами токсичной опасности газообразных веществ, образующихся при горении полимерных материалов, являются индекс токсичности (ИТ), показатель токсичности H_{Cl50} , фракционная доза экспозиции (ФЭД), интегральный критерий токсичности (W_{Cl50}).

Индекс токсичности (ИТ) определяют по гостированной методике в специальных условиях горения или термического разложения материала, при

этом определяют реальную величину концентрации кислорода и предельно допустимое содержание токсичных веществ при сгорании 1 г материала на 1 м³ окружающей среды, а также минимальную концентрацию кислорода, необходимую для жизни. Интегральный критерий токсичности ($W_{Cl50, 2}$) описывает количество сгоревшего вещества, необходимого для выделения критической концентрации токсичных соединений газообразных продуктов распада, влекущих за собой летальный исход более чем у 50 % биологического материала (лабораторные крысы).

Показатель токсичности H_{Cl50} (г/м) определяется по методике, изложенной в ГОСТ 12.1.044–89 п. 4.20 [17] и отражает количество вещества, выделяющее при горении (тлении) среднесмертельную концентрацию (LC_{50}) газообразных продуктов сгорания (при которой наблюдается гибель более 50 % подопытных животных), приведенное к единице объема окружающей среды.

Газовый анализ элементов токсичной среды летучих продуктов сгорания могут проводить при условии нахождения биологического материала в проточной камере (динамические методы), либо в условиях рассредоточения токсичных соединений при помощи рециркуляции воздуха, при этом, токсичные вещества будут аккумулироваться в объеме затравочной камеры (статические методы).

В международной практике для определения параметров токсичности продуктов горения применяют лабораторные стандартизированные методы [100, 127, 130], а также расчетные методы [128, 129].

Большой вклад в разработку методологических основ по токсикологии горения внесли Национальное бюро стандартов (NBS) и Питтсбургский Университет [119, 134]. Метод NBS предполагает испытание образцов материала в реакционной камере, токсичная среда накапливается в герметичной камере с биологическим материалом (лабораторные крысы), время испытания 30 минут. Результаты эксперимента включают оценку среднесмертельной концентрации LC_{50s} , приведенную к объему затравочной камеры и массе образца. Данный подход получил развитие в отечественном методе определения показателя токсичности продуктов горения в ГОСТ 12.1.044 –89 п. 4.20. Питтсбургский

метод определения токсичного эффекта заключается в воздействии на лабораторных мышей потоком отходящих газов, в течение 30 минут. По результатам испытаний фиксируют среднесмертельную концентрацию, скорость потери массы образца, критическое время наступления летального исхода. В это же время в Германии был разработан метод ISO 53436-1, посвященной газовому химическому анализу токсичных газов продуктов сгорания при испытании образца в предварительно нагретой камере (350–900 °C).

В 1990 году Национальным институтом строительной науки (NIBS) был утвержден американский стандарт *ASTM E 1678 Standard Test Method for Measuring Smoke Toxicity for Use in Fire Hazard Analysis* [100], который устанавливал требования к методу испытаний материалов на токсичность продуктов горения. Установка состоит из камеры сгорания (0,3 м в длину и 0,13 м внутреннего диаметра), камеры измерения токсичных компонентов (1,22×0,45×0,37 м), соединяющего дымохода (0,3 м) и нагревательных элементов (рисунок 1.9).

Материал подвергался тепловому воздействию плотностью 50 кВт/м², результаты испытаний включали определение концентрации следующих компонентов токсичной среды – CO, HCl, CO₂, HCN, HBr, а также показателя ФЭД (фракционной экспозиционной дозы).

Формула для расчета ФЭД имеет вид:

$$\text{ФЭД} = \sum_i^N \frac{[C_i]}{C_{50i}} \Delta t, \quad (1.2)$$

где Δt – время экспозиции; $[C_i]$ – концентрация i -го токсичного компонента; C_{50i} – предельно допустимая концентрация i -го токсичного компонента.

Ко всему прочему, в 1990-е гг. был выпущен ряд технических отчетов ISO/TR 9122-1:1989, ISO/TR 9122-2:1990, ISO/TR 9122-3:1996, ISO/TR 9122-4:1993, ISO/TR 9122-5:1993, ISO/TR 9122-6:1994, посвященных вопросу методологического обеспечения оценки токсичной опасности при горении полимеров. Актуальные нормативные документы представлены в таблице 1.14.

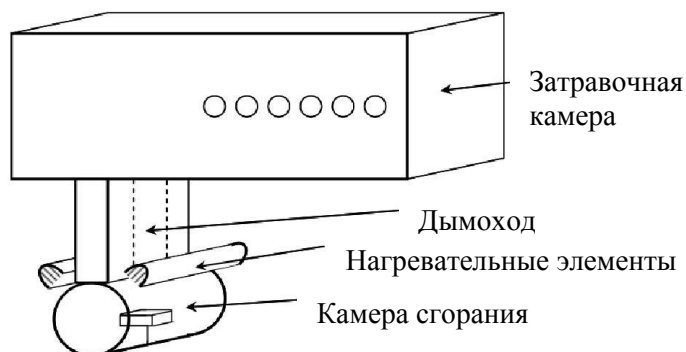


Рисунок 1.9 – Лабораторная установка ASTM E 1678 (NFPA 269) [100]

Таблица 1.14 Международные нормативные документы, содержащие методы испытаний на токсичность и руководства к применению результатов испытаний

Национальный стандарт	Статус документа
<i>ISO 13344-2015 Determination of the lethal toxic potency of fire effluents</i>	(действует)
<i>ISO/TS 13571:2012 Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data.</i>	(действует)
<i>ISO/TR 9122-1:1989 Toxicity testing of fire effluents – Part 1: General</i>	(заменен) <i>ISO 19706:2011 Guidelines for assessing the fire threat to people</i>
<i>ISO/TR 9122-2:1990 Toxicity testing of fire effluents – Part 2: Guidelines for biological assays to determine the acute inhalation toxicity of fire effluents (basic principles, criteria and methodology)</i>	(отменен)
<i>ISO/TR 9122-3:1996 Toxicity testing of fire effluents – Part 1: Methods for the analysis of gases and vapours in fire effluents</i>	(заменен) <i>ISO 19701:2013 Methods for sampling and analysis of fire effluents</i>
<i>ISO/TR 9122-4:1993 Toxicity testing of fire effluents – Part 4: The fire model (furnace and combustion apparatus used in small-scale testing)</i>	(отменен)

Окончание таблицы 1.14

<i>ISO/TR 9122-5:1993 Toxicity testing of fire effluents. Prediction of toxic effects of fire effluents</i>	(отменен)
<i>ISO/TR 9122-6:1994 Toxicity testing of fire effluents. Guidance for regulators and specifiers on the assessment of toxic hazard in fires in buildings and transport</i>	(заменен) <i>ISO 19706:2011 Guidelines for assessing the fire threat to people</i>

Руководящий международный документ *ISO 19706:2011 Guidelines for assessing the fire threat to people* [129] содержит общие указания по оценке параметров пожарной опасности при помощи соответствующих методов испытаний, расчетных моделей, набора статистической информации. Методологические принципы, описанные в руководстве, получили свое развитие в международном стандарте *ISO 13344-2015 Determination of the lethal toxic potency of fire effluents* [127].

В актуальном международном стандарте *ISO 13344-2015* описывается лабораторный метод, схожий с *ASTM E 1678*. Основными количественными критериями являются ФЭД и LC_{50} . Метод включает в себя оценку возможного сценария развития пожара, варианты которого подробно описаны в *ISO 19706-2011*. В ходе испытаний определяется удушающие и раздражающие компоненты токсичной среды: CO , HCN , HCl , HBr , HF , SO_2 , NO_2 , акролеин, формальдегид. Расчет ФЭД производится по формуле (1.3), отражающей эмпирическое математическое уравнение N -газовой модели, разработанной NIST в 80-е годы XX века. Модель предполагает, что некоторое количество (N) газов в дыме обеспечит максимальный токсический эффект. При этом, стандарт устанавливает критериальные условия, при которых химико-аналитический метод компонентов токсичной среды и расчетный метод ФЭД без использования биологического материала (лабораторных крыс) являются достаточным описанием токсичной опасности продуктов горения испытанного материала:

$$\Phi_{ЭД} = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} \cdot \frac{21 - [O_2]}{21 - LCO_2} \cdot \frac{[HCN]}{LC_{HCN}} \cdot \frac{[HCl]}{LC_{HCl}} \cdot \frac{[HBr]}{LC_{HBr}} \cdot \frac{[SO_2]}{LC_{SO_2}} \dots, \quad (1.3)$$

где m и b – эмпирические коэффициенты и зависят от концентрации CO_2 . При значениях $[CO_2] > 5\%$ – $m = 23$, $b = -38600$; При значениях $[CO_2] < 5\%$ – $m = -18$, $b = 122000$ [127].

Отечественный метод оценки токсичности продуктов горения изложен в ГОСТ 12.1.044–89 п. 4.20 (рисунок 1.10).

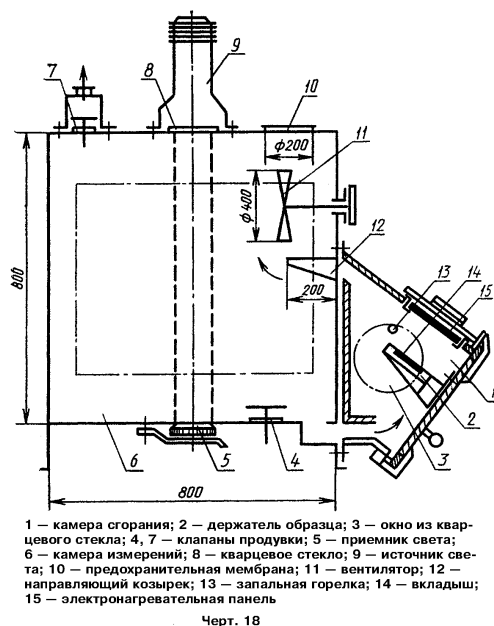


Рисунок 1.10 – Лабораторная установка ГОСТ 12.1.044-89 п.4.20 [17]

Установка включает в себя камеру сгорания образца ($3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$); держатель образца ($120 \times 120 \times 25 \text{ мм}$); электронагревательный излучатель ($120 \times 120 \text{ мм}$), расположенной под углом 45° к горизонтали, экспозиционную камеру ($0,1$ до $0,2 \text{ м}^3$); предкамеру и клетку для подопытных животных. Для испытаний готовят не менее 10 образцов размером $40 \times 40 \text{ мм}$ фактической толщины, но не более 10 мм (максимальный размер образца $80 \times 80 \text{ мм}$ при невозможности получить токсический эффект 50% летальности). Материалы испытывают в режимах термоокислительного разложения (тления) и пламенного горения, при величине падающего теплового потока от 10 до 65 кВт/м^2 ($10, 13,5, 18, 23, 28, 32,5, 38, 44, 65 \text{ кВт/м}^2$). Время теплового воздействия на образец обуславливается максимальным выходом CO и CO_2 , наблюдаемом в камере экспозиции. При определении токсического эффекта учитывают гибель животных,

наступившую во время экспозиции, а также в течение последующих 14 суток. Расчетная формула для определения показателя токсичности имеет вид:

$$H_{Cl_{50}} = \frac{CL_{CO_{50}}}{gCO}, \quad (1.4)$$

где $CL_{CO_{50}}$ – средняя смертельная концентрация оксида углерода в $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$, которую вычисляют по уравнению $CL_{CO_{50}} = 4502 + 2229 t^{-1}$ (t – время экспозиции в мин); gCO – уровень выделения CO при сгорании условно «эталонных» материалов: для чрезвычайно опасных – больше $360 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$, высоко опасных $120\text{--}360 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$, умеренно опасных $40\text{--}120 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$, малоопасных – до $40 \text{ мг} \cdot \text{г}^{-1}$.

1.2.4 Дымообразующая способность напольных покрытий

В работе [25] авторами был выполнен аналитический обзор методов оценки дымообразующей способности полимерных напольных покрытий.

В отечественной терминологии дым определяют как «аэродисперсную систему, состоящую из продуктов неполного сгорания, золы, окислов металлов, сажи и смолистых веществ, частицы которой находятся во взвешенном состоянии в газах» [9, 36, 90].

В американской терминологии в нормативных документах в области пожарной безопасности термин «дым» звучит как «переносимые по воздуху твердые или жидкие частицы, выделяющиеся при горении или термоокислительном разложении материала» (E 176). В работе [13] указывается, что дым – это «облако горячих газов над пламенем, состоящее из многих компонентов, которые можно объединить в три группы: горячие испарения и газы; несгоревшие продукты и сконденсированный материал; часть нагретого огнем воздуха, попавшего в облако». В. Грин и Х. Лейн [8] к «дымам» относят «разнообразную группу аэродисперсных систем, состоящих из частиц с малой упругостью пара и с малой скоростью седиментации под действием сил гравитации» [25].

Опасность дымообразования напольных покрытий при пожаре заключается в потере видимости в дыму, поэтому исследования образования дыма связаны с определением предельно допустимого уровня ослабления света в дымовой среде [39, 42, 122].

На сегодняшний день установлена взаимосвязь интенсивности теплового излучения и сажееобразования некоторых веществ и материалов [6]. При этом дымовая среда имеет неустойчивую структуру в течение периода ее образования и распространения, почти всегда происходит изменение размера и формы частиц дыма вследствие их седиментации и диффузии, а также возникновение в самой системе частиц отрицательных и положительных зарядов [158, 37]. Феноменологическая картина образования сажистых частиц дыма подробно описана в работе [120].

Фундаментальные принципы измерения дымообразующей способности связаны с нахождением зависимостей гравиметрических характеристик дымовых частиц и их светопропускающей способности. Исследования проводятся при мало-, средне- и крупномасштабных испытаниях.

Существует два основных направления в методологии исследования материалов на дымообразующую способность:

- 1) статические испытания, проводимые в условиях замкнутой системы, присущих лабораторным установкам;
- 2) динамические испытания, направленные на исследование характеристик дымовой среды во временных режимах.

Основным показателем дымообразующей способности материала является оптическая плотность дыма (N_p/m) на единицу длины светового луча, проходящего через дымовую среду, которая характеризует уровень видимости в дыму.

Для определения оптической плотности дыма применяются различные способы: оптические методы (измерение ослабления коллимированного пучка света), механические (отделение жидких и твердых дымовых частиц от дымовых потоков) и электрические (создание электрических зарядов в объеме ионизационной камеры). Измерения оптической плотности дыма основываются

на законе Бугера – Ламберта – Бэра об ослаблении монохроматического луча света при прохождении через поглощающую среду [14]:

$$I = I_0 \cdot e^{\sigma L}, \quad (1.5)$$

где I – конечное светопропускание; I_0 – начальное светопропускание; σ – коэффициент ослабления света (коэффициент экстинкции); L – длина оптического луча.

Оптическая плотность дыма в общем виде рассчитывается по формуле:

$$\mu = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \frac{\sigma \cdot L}{2,303} = \frac{K \cdot \pi \cdot r \cdot n \cdot L}{2,303}, \quad (1.6)$$

где K – пропорциональная постоянная; r – радиус дымовой частицы; n – количество дымовых частиц.

Оптическая плотность дыма связана с предельной дальностью видимости соотношением [9]:

$$l_{np} = 2,38 \cdot \mu \quad (1.7)$$

Количественным показателем дымообразующей способности материала чаще всего является удельная оптическая плотность дыма D , приведенная к массе (площади экспонируемой поверхности) образца, объему дымовой камеры и длине оптического луча. Некоторые методы предполагают расчет скорости дымовыделения и увеличения оптической плотности дыма. Основные актуальные методы оценки дымообразующей способности напольных покрытий, изложенные в нормативных документах, а также классификационные показатели приведены в таблице 1.15 [25].

Таблица 1.15 Нормативные документы в области оценки дымообразующей способности НП [25]

Государство	Нормативный документ	Классификационный показатель	Примечание
Россия	ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (п. 4.18)	Коэффициент дымообразования, $\text{м}^2/\text{кг}$	Рассчитывается как оптическая плотность дыма, приведенная к начальной массе образца, геометрическим размерам камеры измерений, начальной и конечной величине ослабления пучка света в дымовой среде, длине оптического луча

Продолжение таблицы 1.15

Соединенные Штаты Америки	<i>ASTM-D-2843-99. Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics</i>	Скорость дымовыделения (<i>smoke density rating</i>), м·мин	Среднее значение ослабления светопропускания по результатам трех испытаний рассматривается как функция времени, скорость дымовыделения рассчитывается как интегральная величина
	<i>ASTM-E 84-00a [NFPA 255, UL 273]. Surface Burning Characteristics of Building Materials</i>	Индекс дымообразования (<i>smoke index</i>)	Оптическая плотность дыма определяется при помощи построения кривой «ослабление света – время»: площадь полученной под кривой фигуры умножается на 100 и округляется до значения, кратного 5
	<i>ASTM-E 662-97 [NFPA 258]. Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials (дополнительный метод)</i>	Специальная величина оптической плотности дыма	Рассчитывается как оптическая плотность дыма, приведенная к длине оптического луча, площади образца и объему камеры
Австрия	<i>ONORM B 3800-1. Behavior of building materials and components in fire – Building materials-Requirements and tests (VORNORM 1988-12-01)</i>	Максимальная абсорбция света (<i>maximum light absorption</i>), %	Среднее значение ослабления светопропускания по результатам трех испытаний рассматривается как функция времени; максимальное значение поглощения света дымовой средой является пиком кривой
Германия	<i>DIN 4102-1. Fire behavior of building materials and building components. Building materials, terminology, requirements and</i>	Дымовыделение за период испытания, %·мин	Среднее значение ослабления светопропускания по результатам трех испытаний рассматривается как функция времени, скорость дымовыделения рассчитывается как интегральная величина
	<i>DIN 4102-14. Fire behavior of building materials and building components. Determination of burning behavior of floor covering systems using a radiant heat source</i>	Максимальное ослабление света, %·мин	—

Окончание таблицы 1.15

Германия	<i>DIN EN ISO 9239-1:2010-11. Reaction to fire tests for floorings – Part 1: Determination of the burning behaviour using a radiant heat source</i>	Максимальное ослабление света, %·мин	—
Австралия	<i>AS/NZS 1530.3:1999. Methods for fire tests on building materials, components and structures - Simultaneous determination of ignitability, flame propagation, heat release and smoke release</i>	Индекс дымовыделения (smoke developed index)	Максимальная оптическая плотность дыма рассчитывается исходя из длины луча света, проходящего через среду дыма, средней величины ослабления света за любую минуту испытаний. Среднее значение посчитанных таким образом величин является индексом дымовыделения
Япония	<i>JIS K 7242-2-2008. Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test</i>	Безразмерная величина оптической плотности дыма	Рассчитывается как оптическая плотность дыма, приведенная к длине оптического луча, площади образца и объему камеры

Проведенный анализ позволил сформулировать некоторые важные обобщения [25]:

– испытание материала может проходить в статических и динамических условиях; методы испытаний в статических условиях демонстрируют поведение материала в закрытом или беспроемном помещении, в динамических условиях учитывается возможность движения дымовой среды под воздействием различных факторов (свободный газообмен в помещении, дымоудаление, распространение дыма по эвакуационным путям);

– длина оптического луча, через который проходят слои дыма, варьируется от 0,3 до 0,9 м в различных испытательных приборах; оптическая система может располагаться как вертикально, так и горизонтально, хотя горизонтальное расположение присуще больше динамическим исследованиям. Подобное устройство фотометрической системы имеет место и в статических испытаниях, но при этом есть опасность возникновения дымовых слоев различной оптической плотности, вследствие чего результаты измерений могут быть искажены (ХР2

Smoke Density Chamber, ISO Dual Chamber Box); во избежание возникновения стратификации дымовой среды осуществляется контроль за циркуляцией воздуха в камере измерений;

- расположение, ориентация и стандартизированные размеры образца материала приняты для каждой установки в соответствии с условиями испытаний;

- тепловое воздействие на образец может оказывать падающий тепловой поток, излучаемый радиационной панелью, источником зажигания является газовая горелка, имеющая соответствующее расположение и устройство; испытания проводят в режимах термоокислительного разложения (тления) и пламенного горения;

- результаты испытаний сводятся к определению различных классификационных показателей дымообразования материала: вычисления максимальной оптической плотности дыма (Нп/м); конечного светопропускания (%); максимального ослабления света (%·мин); оптической плотности дыма, приведенной к массе (м²/кг) и единице площади образца материала (м²/м²); максимальной удельной скорости дымообразования (м²/м²·мин).

На сегодняшний день перспективным является моделирование динамики задымления помещения в зависимости от удельной пожарной нагрузки, площади выгорания и геометрии рассматриваемого помещения.

В работе [90] предложена упрощенная зависимость для расчета процесса задымления в помещении с учетом экспериментальных данных о возможности материала образовывать дымовую среду:

$$\sigma = \frac{D_m \cdot n_{yd} \cdot S_{pn} \cdot \tau^2}{V}, \quad (1.8)$$

где σ – коэффициент ослабления света, D_m – коэффициент дымообразующей способности, n_{yd} – удельная скорость выгорания материала, S_{pn} – скорость роста площади пожара, τ – время, V – объем помещения.

В своей работе [30] Ю.С. Зотов получил усовершенствованное уравнение динамики задымления помещения, учитывающее возможность учета характеристик применяемых материалов:

$$V \cdot \frac{\alpha \sigma_{mcc}(\tau)}{\alpha(\tau)} = D_m n_{y\partial}(\tau) + \sum_{i=1}^k W_i(\tau) \sigma_i(\tau) - \sigma_{mcc}(\tau) \cdot \left[\sum_{j=1}^k W_j(\tau) \xi_j(\tau) + v_c(\tau) S_c \right], \quad (1.9)$$

где V – объем помещения, α – альбеда поверхностей в помещении, σ_{mcc} – среднеобъемное значение натурального показателя ослабления света, D_m – дымообразующая способность материала, k – количество проемов, W_i – свободный расход дыма, поступающего в помещение, W_j – объемный расход дыма в j -м потоке, уходящем из помещения, σ_i – натуральный показатель ослабления света в i -м потоке, ξ_j – коэффициент, учитывающий расхождение натурального показателя ослабления света в j -м потоке от σ_{mcc} , S_c – площадь поверхностей, на которые осаждаются частицы дымовой среды, v_c – средняя скорость движения дымовых частиц по направлению нормали к указанным поверхностям.

Чуть ранее в работе [42] была исследована возможность расчета критического уровня задымленности в помещении. Была получена формула для предельно допустимого уровня задымления с учетом объемно-планировочных решений, свойств зрения человека (порог чувствительности в дыму – $0,302 \text{ кд/м}^2$), освещенности:

$$\sigma_{кр} = \frac{1}{l_{mp}} \cdot \lg \left(\frac{\alpha E_{\min}}{\pi L_{в.кр.}} \right), \quad (1.10)$$

где $\sigma_{кр}$ – предельно допустимое значение показателя ослабления света, $E_{\min}$ – минимальная освещенность данного типа помещений, l_{mp} – требуемая дальность видимости, α – альбеда поверхностей помещения, $L_{в.кр.}$ – порог чувствительности человеческого глаза.

Также в работе [39] автор исследует предельное значение показателя ослабления света дымом (далее – ПОСД), скорость опускания слоя дыма при пожаре и ослабления света в дыму во времени.

На сегодняшний день наиболее точным методом расчета возможного уровня задымления в помещении является численное моделирование пожара в помещении [36, 65].

1.3 Моделирование и методы расчета температурного режима пожара в помещении

Концепция определения нормативных требований к применению материалов в помещении должна исходить из понимания пожара, как явления и сложного физико-химического процесса.

Область допустимого или пожаробезопасного применения полимерных напольных покрытий, как и любого другого материала, связана прежде всего с особенностями термогазодинамической картины вероятного пожара. Прогнозируемые параметры динамики развития пожара на сегодняшний день описываются множеством математических моделей, разработанным учеными в последние десятилетия. Однако для установления связи между нормативными требованиями и реальным пожаром необходимо определение температурного (теплого) режима пожара с помощью физического или численного эксперимента.

Расчет температурного режима пожара основывается на замкнутой системе дифференциальных уравнений, описывающих развитие пожара в помещении. Конечной целью исследования температурного или теплового режимов пожара является, как правило, получение прогнозных величин термодинамических параметров среды, определение функциональной температурно-временной зависимости $T = f(t)$, анализ параметров высокотемпературного нагрева строительных конструкций и, как следствие, определение устойчивости исследуемых конструкций при пожаре.

В 1988 году была разработана Методика расчета температурного режима пожара в помещении [43], которая включила в себя подробное описание математического аппарата для решения сопряженной задачи (расчет термогазодинамических параметров пожара, процесса прогревания ограждающих конструкций и тепловых потоков в ограждающие конструкции), а также рекомендаций по практическому применению результатов расчетов.

Предполагается, что расчет температурного режима пожара в помещении состоит из нескольких последовательных этапов:

- анализ конструктивно-планировочных решений помещения исследуемого объекта, количества, вида, способа размещения пожарной нагрузки;
- определение вида пожара (локальный, объемный (пожар, регулируемый нагрузкой, пожар, регулируемый вентиляцией));
- выбор закона изменения основных параметров пожара (тепловыделение (скорость выгорания), теплообмен, газообмен);
- выбор метода расчета (интегральный, зонный, полевой);
- определение эквивалентной продолжительности пожара;
- расчет вероятностных значений искомых параметров пожара в помещении [44].

Помещение пожара может рассматриваться как система взаимных излучающих поверхностей (рисунок 1.11).

При определении необходимых и достаточных условий для пожаробезопасного применения полимерных напольных покрытий возможен подход, используемый ранее [31, 76, 77], основанный на установлении критериев теплового воздействия, обуславливающих критические параметры, которые могут быть определены при лабораторных исследованиях степени пожарной опасности материалов.

Подобными параметрами пожарной опасности являются описанные в подразделе 1.1 и 1.2 критическая поверхностная плотность теплового потока, при котором материал не воспламеняется и не распространяет пламя, коэффициент дымообразующей способности, показатель токсичности. В этой работе внимание будет сосредоточено на двух основных параметрах: способность распространять пламя по поверхности и дымообразующая способность. Критерии же теплового воздействия на напольные покрытия при пожаре могут быть определены только при тщательном изучении температурного (теплового) режима.

Физические особенности теплопередачи из очага пожара в разные ограждающие поверхности помещения (стены, перекрытия, пол) подробно рассмотрены в работах [1, 3, 4, 7, 15, 38, 125, 132]. В классической теории теплообмена выделяют три механизма передачи тепла между

взаимодействующими элементами термодинамической системы: теплопроводность, конвекция и излучение.

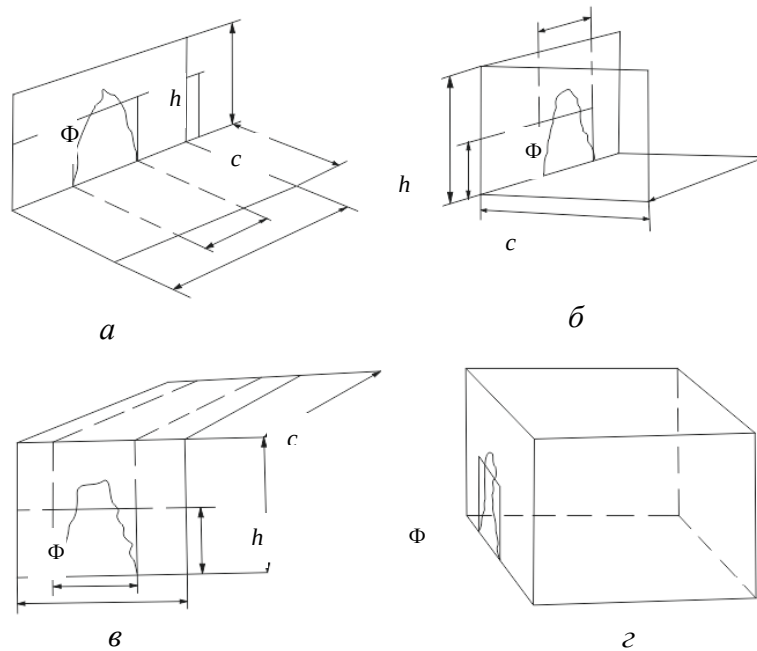


Рисунок 1.11 – Взаимные излучающие поверхности (системы) при пожаре в помещении [44]:

a – взаимная излучающая система «факел-пол»; $б$ – взаимная излучающая система «факел-боковая поверхность»; $в$ – взаимная излучающая система «факел-потолок»; $г$ – общая взаимная излучающая система; Φ – факел; h – высота помещения; b – ширина помещения; c – расстояние от факела до фронтальной стены

Каждому из вышеназванных видов теплообмена соответствуют различные задачи, которые решаются с помощью надлежащего математического описания подобных процессов. Передача энергии в виде тепла в телах (твердых, жидких, газообразных) описывается исходя из условий локального термодинамического равновесия и предполагая, что исследуемые тела обладают некоторой формой (континуум). Математические же модели основываются на началах термодинамики и фундаментальных законах физики (законы сохранения массы, энергии, импульса, движения).

На сегодняшний день наиболее близкими к получению достоверных результатов методами термодинамического исследования пожара с целью решения некоторых нормативных задач являются методы натурных наблюдений (проведение крупномасштабных испытаний), а также методы численного

моделирования пожара. В обоих случаях мы стремимся к получению знания о температурном и тепловом режиме пожара с учетом всех влияющих факторов.

Известны натурные эксперименты, проведенные отечественными учеными и специалистами (например, на базе ВНИИПО МЧС России), описанные в трудах [95, 108, 139, 140, 153], а также ученых и специалистов за рубежом [114, 131, 149, 139, 159].

Одна из примечательных работ была посвящена определению предельных значений параметров пожарной опасности для отделок в гостиницах [96]. В этой работе проведен крупномасштабный эксперимент, результаты которого могут быть применены и в настоящей работе. Также для обзора был выбран еще одна крупная экспериментальная работа. Эксперимент известен как *Cardington Fire Tests*, проведен в Великобритании (*Building Research Establishment*) в 1999–2000 гг. и описан в работах [103, 132, 135, 137, 139].

Крупномасштабный эксперимент в работе [31] был выполнен в три серии с применением установки «Фрагмент высотного здания», созданной во ВНИИПО МВД СССР (таблица 1.16). Основные задачи испытаний были сведены к определению характера изменения локальных значений температуры среды по длине и высоте коридора, взаимосвязи температуры продуктов горения и величиной падающего на стены теплового потока, зависимости между площадью пожара и температурой среды в сечении дверного проема. Измерение температуры среды проводилось на уровнях 0,5 м, 1 м, 1,5 м, 2 м, 2,5 м, а также через каждый 2,5 м по длине коридора.

Таблица 1.16 – Данные о пожарной нагрузке, используемой в крупномасштабном эксперименте в работе [31]

Вид горючей нагрузки	Масса горючей нагрузки, кг	Материал отделочного материала
Штабеля из брусков древесины	400	Масляная эмаль (12 слоев)
Штабеля из составных частей гостиничной мебели	400	ДБСП (ТУ 400-1-18-79)
Гостиничная мебель, постельные принадлежности, предметы интерьера, линолеум	400	Асбоцементные плиты с полимерным покрытием (РХО)

По результатам эксперимента были получены весьма интересные результаты, актуальные и по сей день. К примеру, определены максимальные плотности тепловых потоков для каждого материала на участках прекращения распространения пламени 24,93 (ДБСП (ТУ 400-1-18-79)); 24,8 (асбоцементные плиты с полимерным покрытием (РХО)) и 13,5 кВт/м² (масляная эмаль (12 слоев)). Результаты испытаний (измеренные тепловые потоки для участка стены) для ДБСП (ТУ 400-1-18–79) представлены в таблице 1.17.

Результаты эксперимента позволили создать основу для параметрического расчета степени пожарной опасности материалов, были получены эмпирические формулы и соответствующие к ним рекомендации.

Таблица 1.17 – Падающие тепловые потоки на стену коридора

Относительная высота коридора	Максимальный тепловой поток (напротив дверного проема), кВт/м ²	Максимальный тепловой поток (на расстоянии 2,5 м от дверного проема), кВт/м ²
0,50	24,0	13,5
0,33	18,5	9,8

Однако важно отметить, что итоговая концепция определения нормативных требований к области применения отделочных материалов была принята исходя из максимально неблагоприятных условий развития пожара, то есть реальный температурный режим пожара не был учтен.

Серия экспериментов в Кардингтоне была выполнена на большой крупномасштабной установке размером 12х12 м в плане, высотой 3 м и включила в себя 8 сценариев, для которых были определены различные условия по проемности, составу пожарной нагрузки (40 кг/м²) и теплоизоляции помещений. Экспериментальная работа являлась частью создания новой концепции обеспечения пожарной безопасности, разрабатываемой в странах Европы и основанной на наблюдении поведения материалов и конструкций в условиях реального пожара. Основная цель исследования состояла в проверке адекватности некоторых зонных моделей и утверждении ряда возможных сценариев для валидации программ для моделирования.

Результаты эксперимента включают в себя описание распределения полей температур газовой среды и тепловых потоков в объеме помещения. Так, уже на десятой минуте максимальная величина теплового потока равна 200 кВт/м^2 (над очагом пожара), и 60 кВт/м^2 у дверного проема.

Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении можно условно разделить на интегральные, зонные и методы, основывающиеся на вычислительной гидродинамике (полевые). В настоящей работе предпочтение отдано полемому методу, как наиболее достоверному и перспективному для решения современных задач нормирования.

Интегральные модели посвящены определению среднеобъемных параметров газовой среды пожара: давления, температуры, плотности, массовых концентраций токсических компонентов распада, кислорода и оптической концентрации дыма. Модель описана дифференциальными уравнениями законов сохранения массы и энергии, а также дополнена соотношениями газообмена с окружающей средой через проемы, теплоотвода в ограждающие конструкции, процесса излучения, уравнениями сохранения массы для кислорода, токсичных продуктов горения, оптической плотности дымовой среды [65]. Однако же интегральные модели имеют ограничения в своем применении для решения задач расчета температурного (теплового) режима пожара в помещении: газовая среда должна быть однородной, то есть данный метод подходит для объемных пожаров, охватывающих всю пожарную нагрузку. Также определены условия применения интегрального моделирования [44]:

$$F_n \geq \pi(U_0 t_{нсп}) \quad (1.11)$$

$$G \geq \pi \psi_0 U_0^2 t_{нсп}^3, \quad (1.12)$$

где G – общее количество пожарной нагрузки в кг, приведенное к древесине с теплотой сгорания равной $13,8 \text{ МДж·кг}^{-1}$; F_n – площадь пожара, м^2 ; U_0 – средняя скорость распространения пламени, м·с^{-1} ; $t_{нсп}$ – продолжительность начальной стадии пожара, с; ψ_0 – средняя скорость выгорания в начальной стадии пожара, $\text{кг·м}^{-2}·\text{с}^{-1}$.

Также получение локальных распределений опасных факторов пожара по длине и высоте помещений (которое необходимо для решения задач настоящей

работы) требует применения модели более высокого уровня либо дополнительных эмпирических соотношений [65].

К сожалению, тот же недостаток отмечается и у зонных моделей. Зонные модели используют отдельные объемы, в пределах которых пожар описывается исходя из известных законов сохранения. Каждый объем выбирается исходя из условий задачи таким образом, чтобы добиться минимальной неоднородности газовой среды в помещении. Зонная модель, также как и интегральная, не описывает модель турбулентности, для описания конвективного теплообмена необходимы дополнительные экспериментальные данные и соотношения, либо привлечение модели более высокого порядка.

Модели, основывающиеся на вычислительной гидродинамике, различны по описанию турбулентных потоков. Условно можно выделить три группы моделей, изложенных в современных программах для ЭВМ: модели, базирующиеся на уравнениях Навье – Стокса, усредненных по форме Рейнольдса, модели, применяющие метод крупных вихрей и метод прямого численного моделирования. При этом результатом моделирования являются поля температур, давлений, компонентов газовой среды во всем объеме помещения пожара, что делает возможным определить искомые параметры в любой точке моделируемого пространства.

Структура полевой модели состоит из основных уравнений и дополнительных соотношений для модели горения, прогрева конструкций, газификации пожарной нагрузки, турбулентного тепломассообмена, лучистого тепломассообмена.

В течение последних десятилетий (начиная с 1970-х годов) огромное внимание уделено развитию различных программных комплексов, делающих возможным и быстрым громоздкое численное решение дифференциальных уравнений пожара. Были созданы такие программы как *Fire Dinamic Simulator* [140, 148], *SOFIE* [159], *ANSYS* [10], *PHOENICS* [156].

Наиболее универсальной программой для ЭВМ в области решения таких задач, как расчет температурного (теплого) режима пожара в помещении является *FDS (Fire Dinamic Simulator)*.

Программный код *FDS* содержит ряд способов описания термических воздействий [144] на элементы модели в зависимости от поведения материала (термически тонкого/толстого). В случае термически толстого материала, подверженного воздействию теплового потока, проводится одномерный анализ теплопередачи по толщине материала. Разрешение ячейки внутри стены нелинейно, с кластеризацией у граничащей поверхности, где начальные градиенты температуры наиболее крутые. При этом, температура поверхности элемента определяется в соответствии с конвективными и лучистыми потоками и твердофазной проводимостью, т.е. является локально изменяющимся параметром. Расчет лучистого теплового потока осуществляются путем решения уравнения переноса излучения для серого газа без рассеяния.

$$\begin{aligned} LI(t, x, w) &= SI(t, x, w) + Q(t, x, w), x \in D, \\ LI(t, x, w) &= w \cdot \nabla I(t, x, w) + k(t, x)I(t, x, w), \\ SI(t, x, w) &= \beta(t, x) \int_w \Gamma(t, x, w, w') dw' \end{aligned} \quad (1.13)$$

где L и S – операторы переноса и рассеяния соответственно, $I(t, x, \omega)$ – интенсивность излучения [эрг/с·см²], распространяющегося вдоль направления вектора $\omega \in \Omega$, в точке с радиус-вектором x в момент времени t , $k(t, x)$ – коэффициент ослабления [см⁻¹], $k = \alpha + \beta$, $\alpha(t, x)$ – коэффициент поглощения [см⁻¹] и $\beta(t, x)$ – коэффициент рассеяния [см⁻¹] излучения в веществе, $\Gamma(t, x, \omega, \omega')$ – индикатриса рассеяния, равная вероятности изменения направления полета фотона с ω' на ω . Уравнение описывает процесс переноса излучения при условии локального термодинамического равновесия. Численное решение уравнения производится в пределах каждой ячейки методом конечных разностей.

Расчет конвективного теплового потока основывается на решении следующего уравнения:

$$q_k = h\Delta T, \quad (1.14)$$

где ΔT – разница температур, зарегистрированных у стены и в центральной части ячейки сетки, примыкающей к этой стене. Коэффициент конвективной теплопередачи h рассчитывается как

$$h = \max\left[C|\Delta T|^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{k}{L} 0.037 \text{Re}^{\frac{4}{5}} \text{Pr}^{\frac{1}{3}}\right], \quad (1.15)$$

где C – коэффициент естественной конвекции (1,43 для горизонтальных поверхностей и 0,95 для вертикальных поверхностей). Также в уравнении используется корреляционное соотношение числа Нуссельта для смешанного (турбулентного и ламинарного) течения потока, и характеристическая длина L равная 1 м для большинства расчетов.

Валидация и верификация программы *FDS* подтверждена экспериментальными разработками, в т.ч. и вышеупомянутыми экспериментами *BRE Cardington Fire Tests*. В работе [135] отмечена удовлетворительная сходимость результатов моделирования и экспериментальных измерений при симуляции крупномасштабных испытаний, что позволяет использовать *FDS* для задач исследования, описанного в настоящей работе.

1.4 Выводы по главе

На сегодняшний день напольные покрытия применяются во всех зданиях любого класса функциональной пожарной опасности и могут способствовать распространению огня по зданию и участвовать в образовании опасных факторов пожара при возникновении загорания.

Выполненный аналитический обзор в п. 1.1–1.3 настоящей главы позволил выявить наиболее важные направления проблемы пожаробезопасного применения напольных покрытий в коридорах зданий:

1. Пожарная безопасность зданий с планировкой коридорного типа предполагает применение НП, соответствующих требованиям нормативно-технических документов. Анализ статистики пожаров показывает, что материалы НП всегда участвуют в процессе развития пожара, причиняя вред жизни и здоровью людей вследствие воздействия токсичных соединений продуктов горения, высокого дымообразования, теплового воздействия в случае распространения пожара.

2. Анализ динамики развития опасных факторов пожара показал, что поведение НП при пожаре наиболее опасно в начальной стадии его развития, так как возможные последствия распространения пожара, образование дыма и токсичных компонентов продуктов сгорания могут создать условия, не приемлемые для безопасной и своевременной эвакуации людей. При этом, отсутствуют нормативные требования к применению НП с учетом удельной пожарной нагрузки, возможной площади выгорания и геометрических размеров помещения.

Исходя из этого, следует, что *пожаробезопасное применение материалов НП* – необходимые и достаточные условия для того, чтобы пожароопасная ситуация не создавалась вовсе, либо критические значения ОФП не наступали ранее фактического времени эвакуации в безопасную зону.

3. В работах российских и зарубежных ученых отмечено, что определяющими пожароопасными свойствами для НП являются способность распространять пламя по поверхности и образовывать дымовую среду. При этом, наиболее важными критериями с точки зрения обеспечения пожаробезопасного применения материала является критический тепловой поток, при котором не происходит распространения пламени, и динамические характеристики образования дымовой среды (скорость дымовыделения, скорость изменения оптической плотности дымовой среды).

4. Стандартные методы оценки пожарной опасности напольных покрытий (ГОСТ 51032-97, ГОСТ 30244-96, ГОСТ 12.044.1-89* п. 4.18, п. 4.20) носят сравнительный характер и могут не соответствовать условиям высокотемпературного нагрева, нормативные документы для методов испытаний не получали актуализации 10–25 лет. Кроме того, отсутствуют методы расчета предельно допустимых значений количественных параметров, характеризующих пожарную опасность НП.

Задачи исследования

Для реализации основной цели исследования по результатам аналитического обзора, представленного в главе 1, были поставлены следующие задачи:

1. Определить пожарно-технические параметры напольных покрытий при воздействии падающего теплового потока различной плотности.
2. Исследовать закономерности процессов распространения пламени и дымообразования при воздействии падающего теплового потока для последующего прогнозирования поведения НП при пожарах в зданиях.
3. Провести исследование по определению критических параметров наступления ОФП при горении напольных покрытий (в программе *FDS (Fire Dinamic Simulator)*, создание модели пожара в типовом помещении).
4. Разработать предложения по усовершенствованию способов пожаробезопасного применения НП.

ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Выбор материала для эксперимента

Применение напольных покрытий в общественных зданиях зависит от назначения, типа и класса функциональной пожарной опасности помещения, в котором материал будет эксплуатироваться, а также соответствия положениям статьи 134, таблиц 28 и 29 ФЗ 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и наличия сертификата подтверждения соответствия требованиям пожарной безопасности, предоставляемого фирмой-изготовителем или поставщиком.

Обзор некоторых фирм-изготовителей и поставщиков напольных покрытий (в том числе и зарубежных) представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 –Фирмы-изготовители (поставщики) напольных покрытий

№ п/п	Наименование фирмы-изготовителя	Краткий перечень предлагаемых материалов
Отечественная продукция		
1.	Forbo Flooring Systems	Виниловая плитка, Ковролин, Линолеум, Влаговпитывающие покрытия, Ковровая плитка, Натуральный линолеум
2.	Алекс-3	Линолеум
3.	Балттекстиль	Ковролин
4.	Витебские Ковры	Ковры
5.	Зартекс	Ковролин
6.	Комитекс Лин	Линолеум
7.	ООО «Кроношпан»	Ламинат
8.	ООО «Таркетт»	Ламинат, Виниловая плитка, Линолеум, Паркетная доска
9.	Ютекс РУ	Линолеум
10.	Р-Полимер	ПВХ-покрытия
11.	Наполь	Ковровые покрытия
12.	Вини-пол	Виниловые покрытия
13.	Меринос	Ковровые покрытия
14.	Нева-Тафт	Ковровые покрытия
15.	Технолайн	Ковровлин
Зарубежная продукция		
1.	Aberhof (Португалия)	Пробковые полы
2.	Action(США)	Спортивные полы
3.	Agnella (Польша)	Ковровые покрытия
4.	Alloc (Норвегия)	Ламинат
5.	Allurefloor (Китай)	Виниловая плитка
6.	Armstrong (Германия)	Ковровые покрытия
7.	Aversboden (Германия)	Ламинат

Окончание таблицы 2.1

8.	Balsan (Франция)	Ковровая плитка, ковролин
9.	Balterio (Бельгия)	Ламинат
10.	Balta (Бельгия)	Ковры
11.	Condor (Голландия)	Ковровлин
12.	Desso (Нидерланды)	Ковролин
13.	Forbo (Швейцария)	Ковровая плитка
14.	Mondo (Италия)	Спортивные покрытия
15.	Kahrs (Швеция)	Паркетная доска

В качестве напольных покрытий применяют множество материалов - штучные материалы (дощатый пол, паркетный пол, линолеумные плитки, пластмассовые плитки, плитки из пробки), рулонные материалы (линолеумные полы, ковровые покрытия, пробковые покрытия), монолитные полы (наливные полы (мастичные), мозаичные, бетонные (цементные), ксилолитовые), плиточные полы из плитки минерального происхождения (мозаичная (бетонная) плитка, керамическая плитка, плитка из природного камня).

Выбор материала для дальнейшего исследования основывается на анализе и обобщении статистической информации о наиболее распространенных и применяемых группах напольных покрытий на объектах с планировкой коридорного типа (на примере гостиниц, гостиничных комплексов, административных зданий).

Для возможности проведения анализа наиболее распространенных видов напольных покрытий в зданиях, были выбраны объекты с коридорной схемой объемно-планировочных решений, рассматривались системы помещений и коридоров (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Некоторые примеры применения различных НП в зданиях с планировкой коридорного типа

Объект строительства	Область применения	Материал
Гостиничный комплекс на 350 номеров, категории 4 звезды, г. Сочи	Коридоры, холлы, фойе	ПВХ-покрытия гетерогенного типа, ковровые покрытия (полипропилен+шерсть)
	Помещения вместимостью более 50 чел	ПВХ-покрытия гетерогенного типа, напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида

Окончание таблицы 2.2

	Гостиничные номера	Ковролин, напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида
Колледж статистики, экономики и информатики, г. Оренбург	Коридоры, холлы, фойе	ПВХ покрытия гетерогенного типа, линолеум
	Помещения учебных классов	Линолеум
Гостиница на 129 номеров, г. Санкт-Петербург	Коридоры, холлы, фойе	ПВХ-покрытия гетерогенного типа, ковровые покрытия (полипропилен)
	Помещения вместимостью более 50 чел	ПВХ-покрытия гетерогенного типа, ковровые покрытия (полиамид)
	Гостиничные номера	Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена/полиамида
Офисное здание, г. Санкт-Петербург	Коридоры, помещения	ПВХ-покрытия гетерогенного типа

Анализ напольных покрытий, применяемых на объектах с планировкой коридорного типа (на примере гостиниц, гостиничных комплексов, административных зданий), показал, что самыми распространенными и применяемыми являются напольные покрытия из полимерных материалов, а именно: ПВХ-покрытия гомогенного и гетерогенного типа и ковровые покрытия с ворсом из полиамида, полипропилена и шерсти.

2.2 Выбор геометрических размеров и технических характеристик образцов для эксперимента

Параметры пожарной опасности напольных покрытий сложным образом зависят от химических и физических характеристик материала и оцениваются исходя из условий крепления к полу, наличия подожки, слоистости материала, его толщины и поверхностной плотности. Для напольных ковровых покрытий важны такие характеристики как высота ворса, материал основы и материал ворса, плотность ворса и его вид.

Для экспериментального исследования были выбраны материалы, технические характеристики которых представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Материалы НП и их технические характеристики, выбранные для исследования

Напольное покрытие	Толщина, мм	Поверхностная плотность, кг/м ²	Для напольных ковровых покрытий		
			Высота ворса, мм	Материал ворса	Материал подложки
Покрытие напольное поливинилхлоридное гетерогенное	2	2,85	–	–	–
Покрытие напольное поливинилхлоридное гетерогенное	3,0	2,9	–	–	–
Покрытие напольное поливинилхлоридное гетерогенное	1,6	2,9	–	–	–
Покрытие напольное поливинилхлоридное гетерогенное	3,3	2,9	–	–	–
Покрытие напольное поливинилхлоридное гомогенное	2,0	3,4	–	–	–
Покрытие напольное поливинилхлоридное гомогенное	2,0	3,7	–	–	–
Покрытие напольное поливинилхлоридное гомогенное	1,6	9,4			
Ковровая дорожка	11,5	2,58	9 (разрезной)	Полипропилен	Смешанная пряжа (60 % ПЭ + 40 % ХБ)
Ковровая дорожка жаккардовая	10	1,78	8 и 5 (комбинированный ворс: разрезной, петлевой)	Полипропилен	Смешанная пряжа (60 % ПЭ + 40 % ХБ)
Ковровая дорожка жаккардовая	11,2	1,87	8,6 и 5 (комбинированный ворс: разрезной, петлевой)	Полипропилен	Смешанная пряжа (60 % ПЭ + 40 % ХБ)
Ковровое покрытие	12	9,5	9	Полиамид	Джут
Ковровое покрытие	7	1,8	5 (разрезной)	Полиамид	Войлок
Ковровое покрытие	5,0	1,5	3	Полиамид	Полиэстер
Ковровое покрытие	9,0	2,1	7,5 (разрезной)	80 % Шерсть + 20 % нейлон	х/б, джут
Ковровая дорожка	11	2,68	9,5	Шерсть	Пряжа полиэфирно-хлопковая (50 % ПЭ + 50 % ХБ; 65 % ПЭ + 35 % ХБ)

Таким образом, для основной цели исследования необходимо изучить параметры пожарной опасности следующих полимерных напольных покрытий,

применяемых на путях эвакуации в зданиях с планировкой коридорного типа: напольные покрытия на основе ПВХ гомогенного и гетерогенного типов (армированные стекловолокном), напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена, полиамида и шерсти.

2.3 Методика экспериментального исследования

Экспериментальное исследование включает три основные задачи:

1. Оценка пожарно-технических параметров для выбранных напольных покрытий: критической плотности теплового потока, при котором материал не воспламеняется, критическая плотность теплового потока, при котором материал не распространяет пламя, удельную оптическую плотность дыма, токсический эффект летучих продуктов сгорания;
2. Сравнительные лабораторные исследования пожарной опасности напольных покрытий, которые заключаются в получении эмпирических зависимостей удельной оптической плотности дыма от времени и плотности падающего теплового потока, скорости изменения оптической плотности дыма от времени; определении длины распространения пламени в зависимости от толщины образца и высоты ворса (для напольных ковровых покрытий);
3. Проведение лабораторных исследований по специальному алгоритмизированному плану для построения математической модели процесса дымообразования для выбранных НП.

2.3.1 Подготовка образцов для испытаний

Для проведения экспериментального исследования используются образцы без ингибиторов горения в химической композиции материала, геометрические приняты в соответствии с требованиями гостированных методик испытаний [17, 19–20]. Образцы отбираются для последующего распространения

полученных результатов на всю совокупность указанного типа материала.

Образцы для определения критической плотности теплового потока, при котором материал НП не воспламеняется, имеющих форму квадрата, со стороной 165 мм и отклонением минус 5 мм. Толщина образцов должна составлять не более 70 мм.

Образцы для исследования на дымообразующую способность и токсичность летучих продуктов горения отбираются максимальным размером 40×40 мм и фактической толщиной, но не более 10 мм.

Для исследования способности распространять пламя по поверхности отбираются образцы размерами 1100×250 мм. Толщина образца с негорючей основой должна составлять не более 60 мм.

Основными техническими характеристиками образцов напольных покрытий, требующих внимания при проведении исследования, являются толщина материала, поверхностная плотность, масса образца, высота ворса, количество нитей в пучке (для ворсовых ковровых покрытий).

2.3.2 Оборудование для проведения испытаний

Лабораторный метод исследования способности распространять пламя по поверхности материала. Установка для исследования процесса распространения пламени включает в себя следующие элементы:

- 1) испытательная камера с дымоходом и вытяжным зонтом;
- 2) источник лучистого теплового потока (радиационная панель);
- 3) источник зажигания (газовая горелка);
- 4) держатель образца и устройство для введения держателя в испытательную камеру (платформа).

Установку оборудуют приборами для регистрации и измерения температуры в испытательной камере и дымоходе, величины поверхностной плотности теплового потока, скорости потока воздуха в дымоходе. Радиационная панель лучистого нагрева имеет геометрические размеры: длина (450±10) мм и ширина (300±10) мм [20].

Лабораторный метод исследования дымообразующей способности.

Установка состоит из камеры сгорания, в которой расположены электронагревательная панель, газовая горелка и держатель для образца и камеры измерений. В последней устроена оптическая система, через которую проходит аккумулирующийся дым.

Фотометрическая система, встроенная в камеру измерений (800×800 мм), состоит из источника и приемника света. Источник света (гелий-неоновый лазер мощностью 2–5 мВт) находится в верхней стенке камеры измерений, приемник света (фотодиод) расположен в днище камеры. Между источником света и камерой измерений устанавливают защитное кварцевое стекло, нагреваемое электроспиралью до температуры 120–140 °С [17].

Лабораторный метод исследования воспламеняемости. Установка состоит из следующих основных частей:

- опорная станина;
- подвижная платформа;
- источник лучистого теплового потока (радиационная панель);
- система зажигания (вспомогательная стационарная горелка, подвижная горелка с механизированной и ручной системой перемещения) [19].

Лабораторный метод исследования токсичности. Установка для определения показателя токсичности включает в себя следующие элементы: камера сгорания вместимостью $3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$, соединенная с экспозиционной камерой переходными рукавами, электронагревательный излучатель размерами 120×120 мм и держатель образца размерами 120×120×25 мм, предкамера объемом 0,015 м³, экспозиционная камера, состоящая из стационарной и подвижной секций [17].

2.3.3 Проведение лабораторных испытаний

Лабораторный метод исследования способности распространять пламя по поверхности материала. Образец композиции из напольного покрытия размером (1100×250) мм, наклеенного клеем ПВА на негорючее основание (асбестоцементный лист толщиной 10 мм), помещается в камеру,

оснащенную радиационной панелью, обеспечивающей стандартный профиль изменения поверхностной плотности теплового потока по длине образца, и газовой горелкой. После 2-х минутной выдержки образец подвергается воздействию (в зоне «нулевой» отметки) пилотного пламени газовой горелки в течение 10 минут. Измерению подлежат время воспламенения образца и длина распространения пламени по его поверхности. С помощью тарифовочной таблицы, описывающей профиль изменения поверхностной плотности лучистого потока, определяется величина критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП). За результат испытаний принимается критическая поверхностная плотность теплового потока, соответствующая среднеарифметической длине распространения пламени в пяти опытах.

Условия проведения испытаний: температура 18 °С, относительная влажность 49 %, атмосферное давление 100,7 кПа [20].

Лабораторный метод исследования дымообразующей способности. Образец напольного покрытия помещается в камеру сгорания, оснащенную радиационной панелью, создающую плотность падающего на образец теплового потока до 35 кВт/м². За удельную оптическую плотность дыма принимается показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, создаваемую в режиме тления или горения образца в стандартном объеме камеры.

Условия проведения испытаний: температура 27 °С, относительная влажность 39 %, атмосферное давление 99,8 кПа [17].

Лабораторный метод исследования воспламеняемости. Образец композиции из материала размером 165×165 мм, наклеенного клеем ПВА на негорючее основание (асбестоцементный лист толщиной 10 мм), подвергается воздействию лучистого теплового потока. На заданном уровне теплового потока отмечается наличие или отсутствие пламенного горения при подводе к экспонируемой поверхности образца, с определенной частотой, газовой горелки. В процессе проведения испытания определяются два уровня теплового потока, при которых в одном случае отмечалось наличие пламенного горения, а в другом его отсутствие. На этих уровнях проводятся еще по два испытания. За минимальное значение принимается то значение поверхностной плотности теплового потока, при котором отмечалось наличие пламенного горения.

Условия проведения испытаний: температура 21 °С, относительная влажность 52 %, атмосферное давление 101,1 кПа [19].

Лабораторный метод исследования токсичности. Образец материала НП размером 80×58 мм, ориентированный под углом 45° к горизонту, размещается в камере сгорания параллельно радиационной панели на расстоянии 60 мм от ее поверхности, создающей плотность теплового потока до 65 кВт/м². Летучие продукты термоокислительного разложения или горения образца собираются в экспозиционной камере, соединенной с предкамерой, в которую помещаются восемь белых мышей массой 20 г, на которых воздействовали продукты сгорания в течение 30 минут. При этом контролировались концентрации CO , CO_2 , O_2 в объеме экспозиционной камеры.

За показатель токсического эффекта при сгорании материала принимается отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся газообразные продукты вызывают гибель 50 % подопытных животных. При этом берется меньшее значение из показателей, полученных при горении и термоокислительном разложении образцов материала.

Условия проведения испытаний: температура 25 °С, относительная влажность 61 %, атмосферное давление 100,4 кПа [17].

2.4 Метод математического моделирования для обработки экспериментальных данных

Для решения поставленных в работе задач экспериментальная часть исследования была выполнена по предварительно разработанному плану полного факторного эксперимента, согласующемуся с математической теорией эксперимента и его оптимального алгоритмизированного планирования [2, 5, 12, 27, 68].

Метод полного факторного эксперимента (далее – ПФЭ) позволяет получить математическое описание процесса задымления камеры измерений

в некоторой локальной области факторного пространства, лежащей в окрестности выбранной точки с координатами $(x_{01}; x_{02} \rightarrow x_{0n})$.

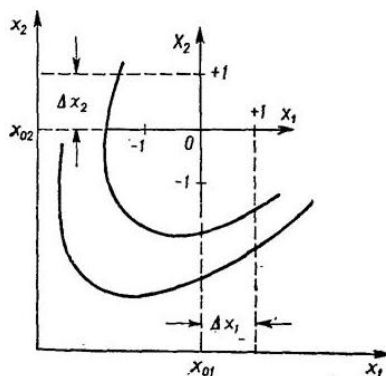


Рисунок 2.1 Преобразование физических значений в кодированные переменные [12]

Выбрана модель полного факторного эксперимента типа 3^k , количество точек в плане $N = 3^k$, где k – количество факторов влияния на систему (рисунок 2.1). Основной целью применения данного метода является получение функции отклика системы $y = f(X_1, X_2, X_3)$, где

X_1 – фактор 1 - плотность теплового потока, кВт/м^2 ;

X_2 – фактор 2 - поверхностная плотность образца, г/м^2 ;

X_3 – фактор 3 - средняя масса образца, $\text{г/высота ворса, мм}$ для ковровых изделий;

Y – отклик системы – максимальное ослабление света, мА ,

которую представляют в аналитическом виде для дальнейшей интерпретации модели с учетом задач исследования (анализ значимости коэффициентов модели, их взаимодействий, адекватности модели), а также нахождения оптимальных условий внешнего теплового воздействия на образец во время испытаний напольных покрытий.

Задача оптимизации заключается в определении области значений факторов, в которой оптическая плотность дыма обнаруживает самые высокие показатели, то есть нахождения экстремума функции. Для этого мы применим один из известных методов поиска глобального экстремума.

Геометрический образ функции в трехфакторном пространстве имеет сложный для восприятия и построения вид, вычисления трудоемки, именно поэтому принято решение создать компьютерную программу, позволяющую описать необходимые математические операции и представить их в графическом виде (рисунок 2.2).

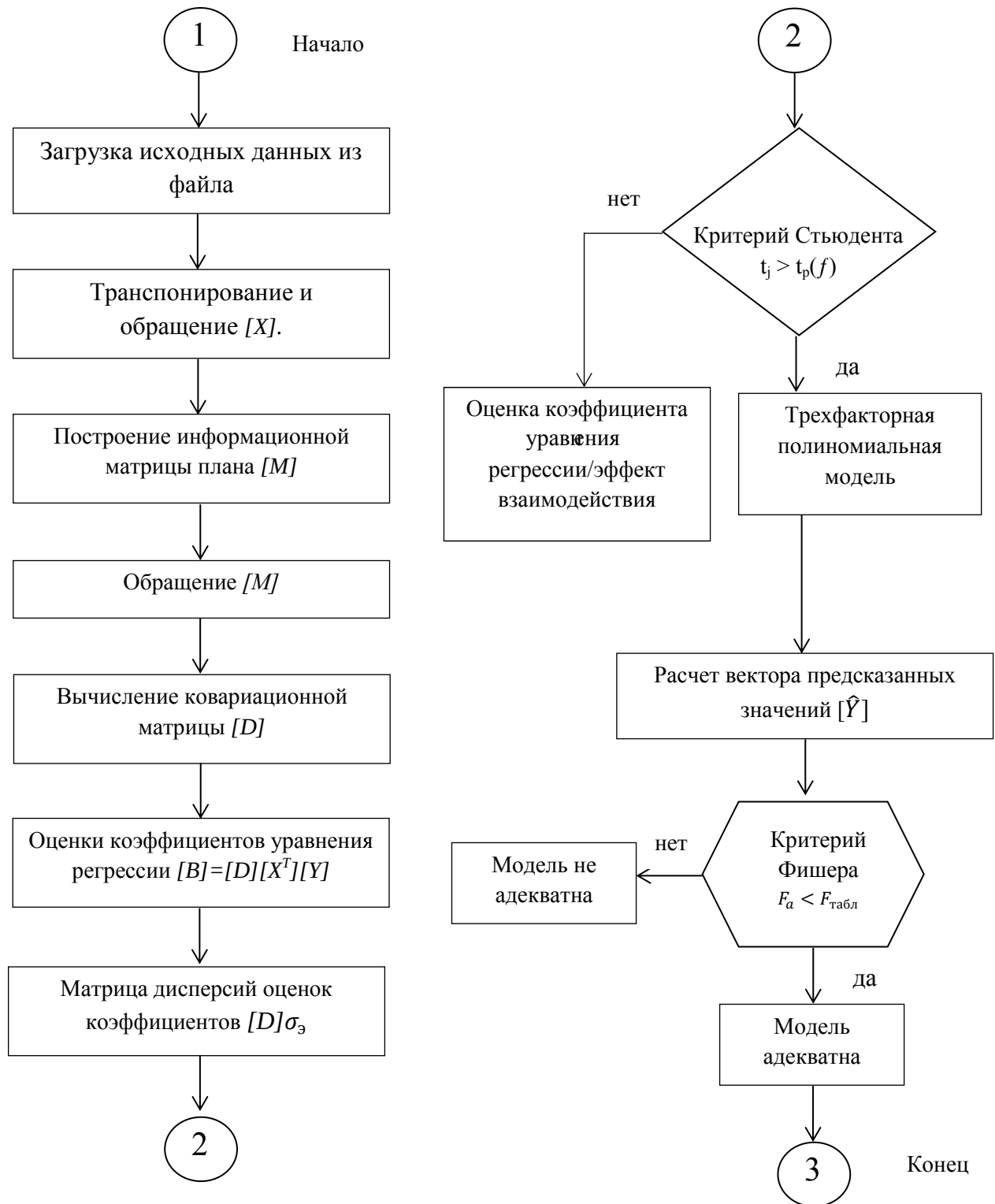


Рисунок 2.2 Схема работы программы, реализующей построение математической модели процесса задымления камеры измерений при помощи метода ПФЭ

Программа разработана совместно с кандидатом технических наук Е.М. Алехиным. Вклад автора заключается в следующем: постановка задач, тестирование, анализ предметной области, сбор исходных данных, обработка выходных данных и дизайн выходных форм [73].

Программа реализует полный факторный эксперимент для набора экспериментальных точек факторного пространства при помощи операций матричной алгебры, изложенных на языке C++, и построение трехфакторной полиномиальной модели эксперимента.

Главные эффекты разбиваются на линейные и квадратичные эффекты, а взаимодействия разбиваются на линейно-линейные, линейно-квадратичные, квадратично-линейные и квадратично-квадратичные эффекты. Рассчитываются корреляционные матрицы факторов и эффектов, стандартные оценки параметров дисперсионного анализа (стандартные ошибки, доверительные интервалы, статистическая значимость, и т. д.), коэффициенты для перекодированных $(-1, 0, +1)$ факторов.

Графические опции включают графики поверхности отклика системы.

Определение функции поверхности отклика системы осуществлялось для следующих групп напольных покрытий, распространенных в строительстве:

1. ПВХ гомогенного и гетерогенного типа;
2. Напольные ковровые покрытия с ворсом из полиамидных волокон;
3. Напольные ковровые покрытия с ворсом из полипропиленовых волокон;
4. Напольные ковровые покрытия с ворсом из шерстяной пряжи.

Нормировка факторов (таблица 2.4) производилась исходя из условий задач исследования и предварительных данных о влиянии геометрических размеров образцов на дымообразующую способность материалов, установленных экспериментальным путем.

Таблица 2.4 – Переход от естественных значений к нормированным [2, 12]

ПВХ гомогенного и гетерогенного типов				
Кодированные значения		Натуральные значения физических факторов		
		Тепловой поток	Средняя масса образца	Поверхностная плотность образца
$\bar{x}$	1	15 кВт/м ²	0,8 г	2000 г/м ²
x_0	0	25 кВт/м ²	1,4 г	1850 г/м ²
$\underline{x}$	-1	35 кВт/м ²	2,0 г	3700 г/м ²
Напольные ковровые покрытия (ворс-полиамид)				
Кодированные значения		Тепловой поток	Поверхностная плотность	Высота ворса
$\bar{x}$	1	15 кВт/м ²	1700 г/м ²	5 мм
x_0	0	25 кВт/м ²	2230 г/м ²	8 мм
$\underline{x}$	-1	35 кВт/м ²	2680 г/м ²	10 мм
Напольные ковровые покрытия (ворс-полипропилен)				
Кодированные значения		Тепловой поток	Поверхностная плотность	Высота ворса
$\bar{x}$	1	15 кВт/м ²	1700 г/м ²	5 мм
x_0	0	25 кВт/м ²	2230 г/м ²	8 мм
$\underline{x}$	-1	35 кВт/м ²	2680 г/м ²	10 мм
Напольные ковровые покрытия (ворс-шерсть)				
Кодированные значения		Тепловой поток	Поверхностная плотность	Высота ворса
$\bar{x}$	1	15 кВт/м ²	1700 г/м ²	5 мм
x_0	0	25 кВт/м ²	2230 г/м ²	8 мм
$\underline{x}$	-1	35 кВт/м ²	2680 г/м ²	10 мм

При этом, поверхностной плотностью образца считаем физическую величину, равную отношению массы тела к площади его поверхности и применяемую для характеристики толщины материала.

2.5 Выводы по главе 2

1. Анализ материалов напольных покрытий, применяющихся в зданиях с планировкой коридорного типа показал, что самыми распространенными и применяемыми являются покрытия пола из полимерных материалов, а именно:

ПВХ-покрытия гомогенного и гетерогенного типа и напольные ковровые покрытия с ворсом на основе из полиамида, полипропилена и шерсти;

2. Выбор материала и его технических характеристик для экспериментального исследования осуществляется исходя из результатов проведенного анализа номенклатуры напольных покрытий. Для последующих испытаний выбираются материалы с повышенной пожарной опасностью, обладающие классом пожарной опасности не ниже КМЗ;

3. Методика лабораторного исследования напольных покрытий разработана на основе стандартизированных методов оценки пожарной опасности.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

3.1 Исследование основных показателей пожарной опасности напольных покрытий в условиях стандартных испытаний

Напольные покрытия содержат в своем составе природные и синтетические полимеры, представляющие собой сложные системы, горение которых зависит от множества факторов. Основной научной задачей при исследовании пожарной опасности полимерных композиций НП, является определение предельных и критических явлений, обуславливающих возникновение и распространение пламени [6, 33], которые можно учитывать при формировании требований пожаробезопасного применения материалов. В работах [6, 16, 31, 76, 77] достаточно подробно рассмотрены критические параметры пожарной опасности полимерных материалов, в том числе и НП, предложены логичные схемы противопожарного нормирования. Однако и в указанных работах есть некоторые противоречия.

Обоснование нормативных требований пожаробезопасного применения любого материала основывается на предположении, что пожар будет развиваться по наихудшему сценарию, вследствие чего некоторые требования (с учетом возможного усовершенствования технического оснащения измерительными приборами с высоким классом точности, а также применения современных методов численного моделирования) могут быть избыточными. К тому же, результаты лабораторной оценки пожарной опасности полимерных материалов носят, как правило, сравнительный характер, и возможность исследования сводится к изучению одного из вероятных сценариев развития пожара.

В данном разделе представлены результаты исследования влияния различных факторов (состава, плотности, макроструктуры материала) на показатели пожарной опасности полимерных НП. Для экспериментального исследования были выбраны материалы, указанные в главе 2, а именно:

ПВХ-покрытия гомогенного и гетерогенного типов, ворсовые покрытия на основе полипропилена, полиамида, шерсти и нейлона, а также проведены исследования по определению взаимосвязи характеристик, применяемых для оценки пожарной опасности материала, с тепловыми и температурными условиями протекания пожара в помещении.

3.1.1 Количественные параметры пожарной опасности напольных покрытий на основе поливинилхлорида

Материалы НП на основе поливинилхлорида могут быть гомогенного и гетерогенного типов и различаются по способу изготовления.

Различие этих материалов состоит, прежде всего, в однородности их композиционного состава. Гомогенные материалы полностью однородны или могут иметь основу, например, из вспененного ПВХ, армированного нетканым стекловолокном. Состав гетерогенных материалов включает несколько слоев: подложка, стеклохолст, вспененный слой ПВХ, пленка с рисунком дизайна и защитный слой.

Линолеум ПВХ многослойный или однослойный без подосновы представляет собой рулонный материал, изготовленный методом экструзии с последующим дублированием с прозрачной печатной пленкой. Применяют линолеум в жилых, общественных и производственных зданиях.

Линолеум ПВХ экструзионный на тканевой подоснове с печатной пленкой толщиной 1,8 мм представляет собой рулонный материал, изготовленный методом экструзии, с последующим дублированием с печатной пленкой и тканевой подосновой.

Линолеум ПВХ многослойный изготавливают вальцово-каландровым способом из отходов производства ПВХ линолеума и погонажных изделий с добавлением пластификаторов, пигментов и других компонентов. Используют при производстве ремонтных работ в помещениях жилых зданий 4-го класса (временные помещения).

Линолеум ПВХ на теплозвукоизолирующей подоснове состоит из верхнего

ПВХ слоя, пористого или войлочного слоя толщиной не менее 4 мм. Полотнища линолеума на заводе-изготовителе сваривают в ковры, размеры которых должны соответствовать размерам помещения, чтобы при настиле требовалась только незначительная прирезка ковров в отдельных местах по периметру помещения, в дверных проемах, подоконных нишах.

Материалы НП на основе поливинилхлорида отличаются по химическому составу и физико-механическим и теплофизическим свойствам, что определяет различный механизм горения, сажеобразования и выделение токсичных компонентов продуктов распада.

Горение подобных материалов осложнено их термопластичностью, способностью к образованию карбоксильных групп при разрушении связей при термодеструкции, а также выделением хлористого водорода HCl при разложении. Помимо этого, в химической композиции полимеров на основе поливинилхлорида может присутствовать множество пластифицирующих добавок: фталиевые (диоктилфталат, диизогептилфталат, дициклогексилфталат, бензилбутилфталат), адипиновая, азелаиновая и себациновая кислоты, фосфатные пластификаторы, эпоксидированные эфиры жирных кислот (льняное и соевое масло), полиэфирные пластификаторы (олигомерные, полимерные) [6, 9, 35].

Особенность определения пожарно-технических параметров для материалов НП на основе поливинилхлорида состоит в том, что с изменением химического состава, толщины, плотности, композиционных составляющих свойства пожарной опасности меняются достаточно в широких пределах.

Как правило, указанные материалы имеют следующие результаты при лабораторных исследованиях их пожарной опасности (таблица 3.1).

Как следует из приведенных экспериментальных данных, исследуемые материалы имеют достаточно близкие численные значения результатов по оценке дымообразующей способности, и относятся к группе ДЗ ($D_m > 500 \text{ м}^2/\text{кг}$). Большая часть материалов относится к группе воспламеняемости В2 (КППТП – $20 \text{ кВт}/\text{м}^2$), группе токсичности Т2 ($H_{CL50} = 56\text{--}64 \text{ г}/\text{м}^3$).

Таблица 3.1 – Результаты экспериментальных исследований НП на класс пожарной опасности

Технические характеристики НП			Результаты испытаний				Класс пожарной опасности
Наименование	Поверхностная плотность, кг/м^2	Толщина материала, мм	Группа РП [20]; КППТП, кВт/м^2	Группа В [19]; КППТП, кВт/м^2	Группа Д [17], $\text{м}^2/\text{кг}$	Группа Т [17]; показатель токсичности, г/м^3	
Покрытие напольное ПВХ гетерогенное	3,0	2,9	РП2 8,8	В3 10	Д3 1294	Т2 64±4	КМ5
Покрытие напольное бытовое ПВХ гетерогенное	1,6	2,9	РП4 6,1	В3 15	Д3 1034	Т2 59±2	КМ5
Покрытие напольное гетерогенное ПВХ	2,0	2,85	РП2 8,5	В2 20	Д3 799	Т1 112,5±3,0	КМ3
Покрытие напольное гетерогенное ПВХ типа	3,3	2,9	РП2 9,4	В2 20	Д3 1009	Т1 110,5±2,0	КМ3
ПВХ гомогенного типа	9,4	1,6	РП2 10,1	В3 15	Д3 1062	Т2 56	КМ5
ПВХ гомогенного типа	3,4	2,0	РП1 11	В2 20	Д2 317	Т2 57	КМ3
ПВХ гомогенного типа	3,7	2,0	РП3 6,8	В2 20	Д2 451	-	КМ5

Наибольший разброс численных значений КППТП наблюдается при определении группы распространения пламени по поверхности (КППТП от 6 до 11 кВт/м^2) материалов НП.

При этом, гомогенные покрытия отличаются более пожаробезопасными параметрами по распространению пламени по поверхности и воспламеняемости (КППТП (РП) – 8,2 кВт/м^2 , КППТП (В) – 20 кВт/м^2 , $D_m = 356 \text{ м}^2/\text{кг}$) по сравнению с гетерогенными (таблица 3.2).

Таблица 3.2. Сравнительные показатели критической поверхностной плотности теплового потока и минимальной оптической плотности дыма НП на основе ПВХ гомогенного и гетерогенного типов

ПВХ - покрытия гомогенного типа		ПВХ - покрытия гетерогенного типа	
КППТП, кВт/м ²	Минимальная оптическая плотность дыма	КППТП, кВт/м ²	Минимальная оптическая плотность дыма
11	1,3	10,8	0,22
9,5	1,1	10,9	0,21
9,1	1,2	11	0,55
5,2	0,65	11	0,54
11	0,39	8,9	0,12

Напольные полимерные покрытия, как правило, могут обладать способностью к распространению пламени по поверхности при высоком падающем тепловом потоке и, также, высоким значением приведенной оптической плотности дыма (минимальная оптическая плотность дыма может составлять 0,12).

3.1.2 Количественные параметры пожарной опасности напольных ковровых покрытий

Напольные ковровые покрытия (далее – НКП) в зависимости от вида применяемого в ворсе полимера, в основном, подразделяются на полипропиленовые, полиамидные, шерстяные и т. д. В зависимости от технологии производства синтетические ковровые покрытия делятся на четыре группы: тканые, ворсово-прошивные (тафтинговые), клеевые (нетканые) и иглопробивные (войлочные). Если ворсовые ковры изготавливают дополнительно с вспененной подосновой, то каждую группу этого материала можно классифицировать следующим образом: тканый на вспененной подоснове или тафтинговый на вспененной подоснове. Вспененную подоснову применяют для покрытия с невысоким или редким ворсом, чтобы обеспечить лучшую изоляцию перекрытия от ударных звуков и понизить показатель теплоусвоения покрытия. Наибольшее применение из этих материалов нашли материал ворсовой на вспененной латексной подоснове, тафтинговые покрытия для полов и ворсовой линолеум .

Напольные ковровые покрытия обладают повышенной пожарной опасностью, нередко относятся к легковоспламеняемым материалам, в состав продуктов горения, в основном, входит оксид углерода, диоксид углерода, синильная кислота. Горение ковровых покрытий сопровождается, как правило, достаточно большим количеством дыма. Результаты лабораторных исследований представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты экспериментальных исследований материалов НП на класс пожарной опасности

Материал основы ковра	Материал ворса	Высота ворса	Поверхностная плотность, кг/м ²	Толщина материала, мм	Группа РП; КППТП, кВт/м ²	Группа В; КППТП, кВт/м ²	Группа Д, м ² /кг	Группа Т; показатель токсичности г/м ³	Класс пожарной опасности
Пряжа полиэфирно-хлопковая (50% ПЭ + 50 % ХБ; 65 % ПЭ + 35 % ХБ)	Пряжа чистошерстяная, ворс разрезной	9,5 мм	2,68	1,1	РП3 5,3	В3 15	Д3 730	Т3 37	КМ5
Пряжа полиэфирно-хлопковая (50% ПЭ + 50 % ХБ; 65 % ПЭ + 35 % ХБ), джутовая пряжа	Пряжа чистошерстяная, ворс разрезной	9,5 мм	2,68	1,1	РП3 5,3	В3 15	Д3 786	Т2 44	КМ5
Смешанная пряжа (60 % ПЭ + 40 % ХБ) пряжа ХБ	Полипропилен, ворс разрезной,	9 мм	2,58	–	РП4 2,2	В3 15	Д3 1241	Т3 35	КМ5
Смешанная пряжа (60 % ПЭ + 40 % ХБ), джутовая пряжа	Полипропилен, ворс комбинированный (разрезной и петлевой),	8 мм и 5 мм	1,78	–	РП4 2,5	В3 15	Не определялось		КМ5
Смешанная пряжа (60 % ПЭ + 40 % ХБ), джутовая пряжа	Полипропилен, ворс комбинированный (разрезной и петлевой),	8,6 мм и 5 мм	1,87	–	РП4 2,4	В3 15	Не определялось		КМ5

Основными техническими характеристиками материалов ковровых напольных покрытий, влияющими на механизм термической деструкции, являются высота ворса, количество нитей в пучке, плотность ворса, общая толщина изделия.

Наибольшей пожарной опасностью обладают НКП с ворсом на основе полипропилена. При этом, большинство НКП относятся к группе материалов с высокой дымообразующей способностью и повышенной токсичной опасностью продуктов горения. Как правило, с увеличением высоты ворса показатели пожарной опасности ухудшаются.

Для оценки пожарной опасности напольных покрытий всех типов могут применяться гостированные методики и нормативные количественные параметры, а именно: критический тепловой поток для оценки способности к распространению пламени по поверхности и удельная оптическая плотность дыма для оценки дымообразующей способности (в режиме термоокислительного разложения материала (тления)). Данные параметры указаны только для исследуемых в настоящей работе пожароопасных свойств и допустимы к применению с учетом результатов исследования динамики тепловых потоков и температурного режима пожара и последующего уточнения критических величин падающего теплового потока, образуемого у поверхности покрытия пола.

3.2 Исследование закономерностей дымообразования напольных покрытий при воздействии падающего теплового потока различной плотности

Как было отмечено в главе 1 (работы [16, 86–89]), одним из главных недостатков лабораторной оценки дымообразующей способности является оценка удельной оптической плотности дыма без учета временных характеристик.

Кроме того, результаты натурных экспериментов, представленные в работах [31, 76, 77], позволяют сделать вывод о том, что численное значение плотности теплового потока, реализующейся в зоне нахождения материалов НП при развитии пожароопасной ситуации близка к 15 кВт/м^2 (13,6 и 14,5).

Тепловое воздействие от радиационной панели при оценке дымообразующей способности материалов стандартным методом испытаний

устанавливается равным 35 кВт/м^2 при условии, что материал не нагревается до температуры самовоспламенения. Плотность теплового потока, равная 35 кВт/м^2 , фактически соответствует развитой стадии пожара, и в случае оценки пожарной опасности НП может быть избыточной.

Так, метод оценки пожарной опасности НП согласно EN 9239-1 учитывает измерение оптических свойств дымовой среды при ее прохождении через фотометрическую систему в выпускном патрубке выхлопной трубы, то есть в динамическом режиме, в реальных условиях распространения пламени по образцу материала. Кроме того, применяются более представительные размеры образца материала, что существенно влияет на объективность оценки дымообразования, что также отмечается в [86] (таблица 3.4).

В таблице 3.4 представлены результаты экспериментального исследования влияния геометрических размеров, средней массы образца на основные показатели испытаний по оценке дымообразующей способности (удельной оптической плотности дыма) и распространения пламени по поверхности (длина распространения пламени, критическая плотность теплового потока).

Таблица 3.4 Результаты экспериментальных исследований идентичных материалов НП на дымообразующую способность (для образцов различных геометрических размеров) и способность распространять пламя по поверхности

№ п/п	Геометрические размеры образцов, мм	Средняя масса, $\bar{m}$, г	Поверхностная плотность образца, г/м^2	Время наступления минимального светопропускания, τ , с	Коэффициент дымообразования, D_{yd} , $\text{м}^2/\text{кг}$	Длина РП, l_{rp} , мм
1	40×40×10	2,7	700	940	1450	354
2	20×20×9	2,1	700	705	908	219
3	40×40×2	1,66	700	842	1300	345
4	20×20×6	1,51	700	544	845	268
5	40×40×9	1,69	700	612	516	105
6	25×25×3	1,87	700	468	325	132

Для испытаний были отобраны 5 образцов модульного полимерного напольного покрытия с ячеистой структурой. Образцы испытывались в сочетании с негорючим основанием (асбестоцементная плита толщиной 10 мм).

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют об изменении значений удельной оптической плотности дыма (коэффициента

дымообразования) при варьировании геометрических характеристик образца. Подобные результаты получены и в работе [89] на примере древесноволокнистой плиты ВП-10. Наблюдаются также различные значения времени наступления минимальной величины светопропускания дымовой среды.

В таблице 3.5 представлены сравнительные лабораторные исследования, проведенные на базе ФГБУ ВНИИПО МЧС России, для напольных покрытий гомогенного типа на основе поливинилхлорида.

Таблица 3.5 Сравнительные экспериментальные данные оценки параметров распространения пламени по поверхности материала и дымообразующей способности

Метод стандартной оценки	Критическая плотность теплового потока, кВт/м ²	Средняя длина распространения пламени, мм	Оптическая плотность дыма, Нп	Показатель дымообразующей способности
ГОСТ 12.1.044-89*п. 4.18 ГОСТ 52037-97	10,8	104	0,518	$K_d = 397 \text{ кг/м}^2$
EN 9239-1	11,8	73,33	0,75	TLA-30 391,99 %/min (total light attenuation)

Примечание: – используемая подложка: волокнистый цемент;

– материал крепился с помощью клеевой основы.

Для испытаний были выбраны образцы напольного покрытия гомогенного типа размерами, соответствующими указанным методам оценки пожарной опасности. Различие в результатах величин критической плотности теплового потока можно считать не столь значительными, тогда как значения удельной оптической плотности дыма, определенной по методу EN 9239-1, превышает значение оптической плотности дыма, оценка которой производилась согласно ГОСТ 12.1.044–89. Методы, учитывающие оценку распространения пламени по поверхности с одновременным определением дымообразующей способности НП могут применяться для оценки дымообразования материалов при необходимости, с учетом особенностей различных сценариев развития пожара (наличие искусственной/естественной вентиляции, замкнутый объем и т.п.).

Оценка удельных коэффициентов дымообразования, приведенных к средней массе и площади образцов НП, при воздействии тепловых потоков различной плотности представлены в таблице 3.6.

Погрешность измерений составила 56,6 (15 кВт/м²), 76,3 (25 кВт/м²), 77,7 (35 кВт/м²).

Экспериментальное исследование количественных параметров дымообразующей способности напольных полимерных покрытий (таблица 3.6) было проведено при воздействии падающего теплового потока различной плотности (15-35 кВт/м²).

Таблица 3.6 – Результаты экспериментального исследования дымообразующей способности (массовый и поверхностный коэффициенты дымообразующей способности при воздействии тепловых потоков плотностью 15,25,35 кВт/м²) [23]

Наименование материала	Толщина покрытия, t мм	Средняя начальная масса образца m_0 , г	Поверхностная плотность образца, кг/м ²	Коэффициент дымообразования, $D_{уд}^m$ м ² /кг при тлении при тепловом потоке плотностью			Коэффициент дымообразования, $D_{уд}^s$ м ² /м ² при тлении при тепловом потоке плотностью
				15 кВт/м ²	25 кВт/м ²	35 кВт/м ²	35 кВт/м ²
Покрывое ковровое, материал ворса - полиамид	7	0,5	1,8	605	900	865	400
Ковровое покрытие рулонное, основа – полиэстер, ворс - полиамид	5	1,0	1,5	704	926	1329	700
Покрывое ковровое, материал полипропилен	5,4	0,3	0,7	1500	1980	1920	848
Ковровое покрытие, материал шерсть+нейлон	9	2,0	2,1	708	892	1020	408
ПВХ гетерогенного типа	6	2,3	9,3	506	610	879	1287
ПВХ гетерогенного типа	2,0	1,5	2,5	412	916	1090	1198
ПВХ гетерогенного типа	2,5	2,1	3,3	315	950	808	1063
ПВХ гетерогенного типа	2,5	0,8	2,6	704	1019	1178	1063
ПВХ гетерогенного типа	2,0	0,9	2,8	289	471	568	587
ПВХ гомогенного типа	2,0	0,85	3,0	257	359	397	319
ПВХ гомогенного типа	2,0	2,2	2,1	224	321	346	204
ПВХ гомогенного типа	2,0	2,4	3,4	306	295	353	495

Окончание таблицы 3.6

ПВХ гомогенного типа	2,0	2,8	3,7	219	238	293	481
ПВХ гомогенного типа	2,0	0,55	3,7	229	305	326	495

Так, напольные ковровые покрытия по результатам проведенных исследований имеют коэффициент дымообразования несколько выше при плотности теплового потока 25 кВт/м^2 , чем при его стандартной величине (35 кВт/м^2). Это можно объяснить достижением критической величины плотности теплового потока, после которой скорость дымовыделения постепенно снижается ввиду полного разложения материала, а в других случаях характер дымообразования и оптические свойства среды резко изменятся по причине достижения предельных условий для самовоспламенения.

Показатель D возрастает с увеличением плотности теплового потока, но в некоторых случаях, после достижения некой критической величины q (25 кВт/м^2), снижается. Причиной этому может быть достижение предельных условий для самовоспламенения образцов, изменение оптических характеристик дыма в связи с протекающим процессом осаждения дымовых частиц на стенках камеры измерений, снижение скорости дымовыделения ввиду полного разложения материала.

Самые высокие показатели дымообразования наблюдаются у напольных ковровых покрытий с ворсом из полипропиленовых волокон (ворс разрезной и петлевой, высота ворса – 8,6 и 5 мм).

При этом немаловажную роль в оценке процесса дымообразования играет временной показатель наступления минимального светопропускания, так как приблизительно одинаковым значениям D_{y0}^m может соответствовать разное время достижения этих значений.

Так, например, при исследовании динамики изменения оптической плотности дыма (рисунок 3.1) в камере измерений при уже обозначенных величинах плотности падающего теплового потока 15, 25 и 35 кВт/м^2

для покрытий ПВХ гомогенного типа было выявлено, что при тепловом потоке 25 кВт/м² – $\tau_{\max} = 426$ с, при 15 кВт/м² – $\tau_{\max} = 389$ с, и 35 кВт/м² – $\tau_{\max} = 270$ с.

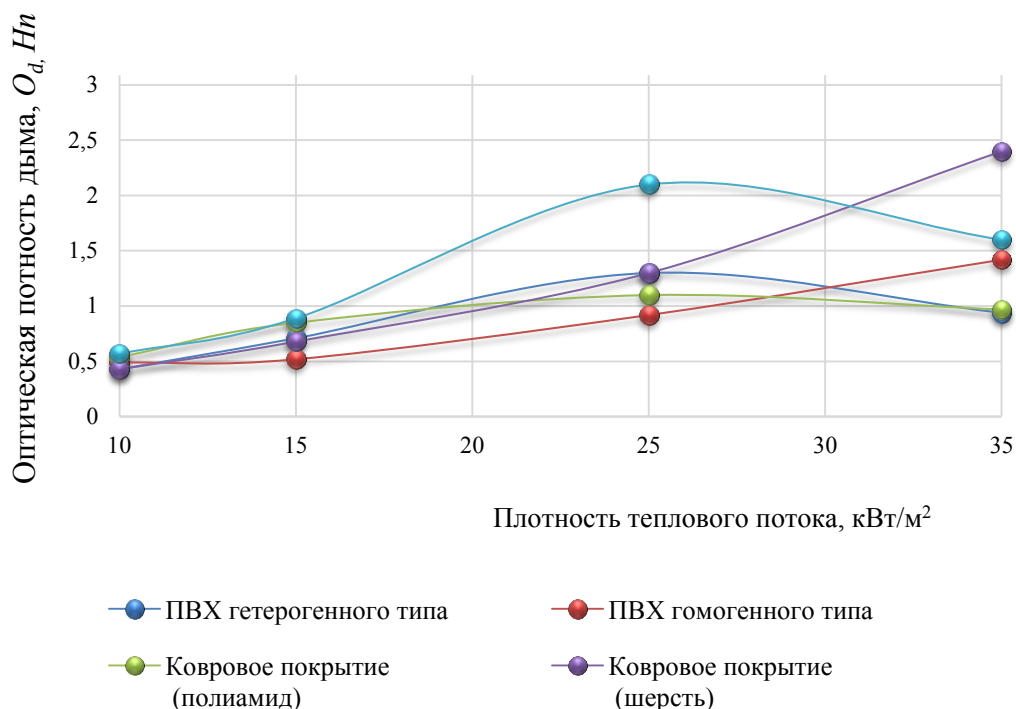


Рисунок 3.1 – Динамика изменения оптической плотности дыма при воздействии падающего теплового потока в режиме термоокислительного разложения (тление) напольных покрытий

Функциональная связь между оптической плотностью дыма и временем с учетом плотности теплового потока $O_d = f_1(q)$ представлена на рисунке 3.2.

Характер изменения оптической плотности дыма во времени $O_d = f_2(t)$ представлен на рисунке 3.3.

По результатам испытаний были рассчитаны значения абсолютного дымовыделения для испытанных материалов НП, как интегральная величина от функции оптической плотности дыма от времени при различных тепловых потоках (таблица 3.7).

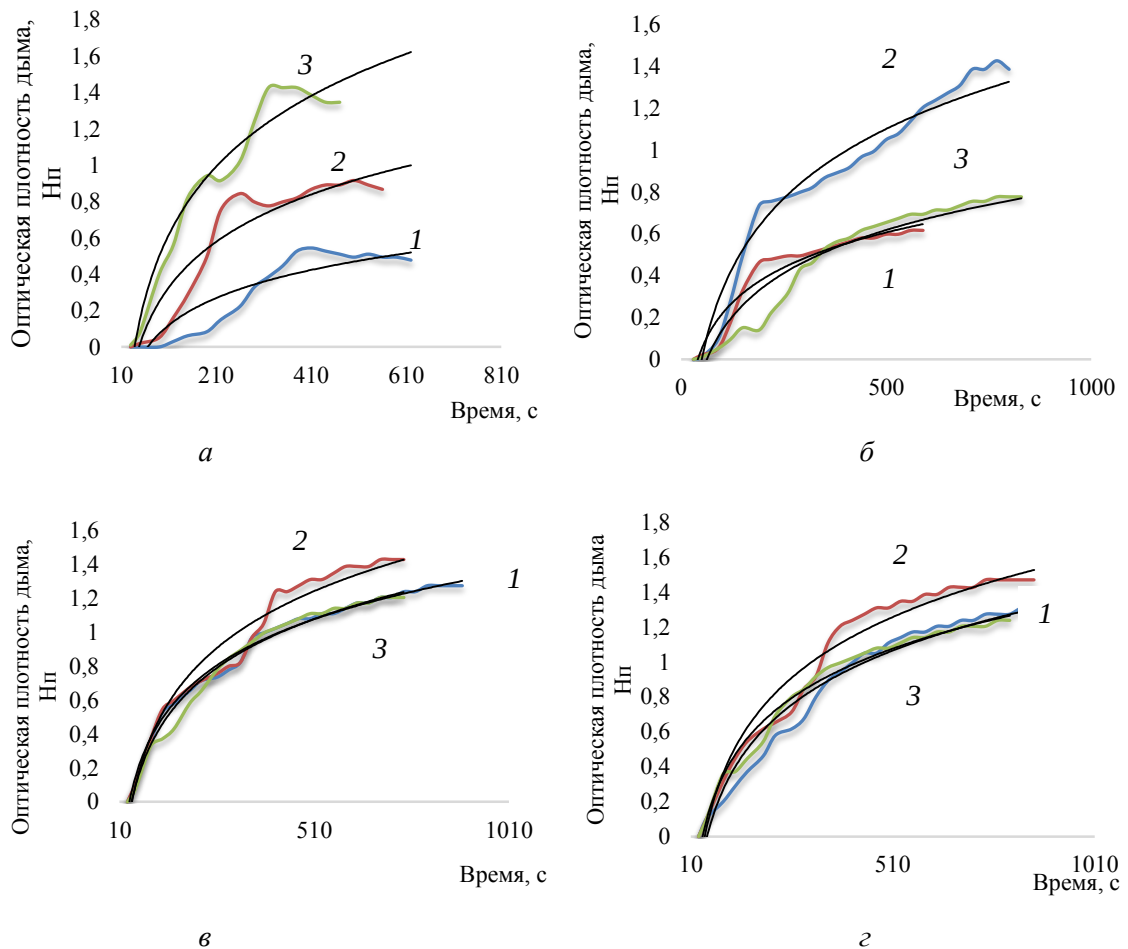


Рисунок 3.2 Динамика изменения оптической плотности дыма

во времени исследуемых полимерных напольных покрытий [24]:

а – ПВХ однородного типа; *б* – ПВХ гетерогенного типа; *в* – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена; *г* – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида;

1 – 15 кВт/м²; 2 – 25 кВт/м²; 3 – 35 кВт/м²

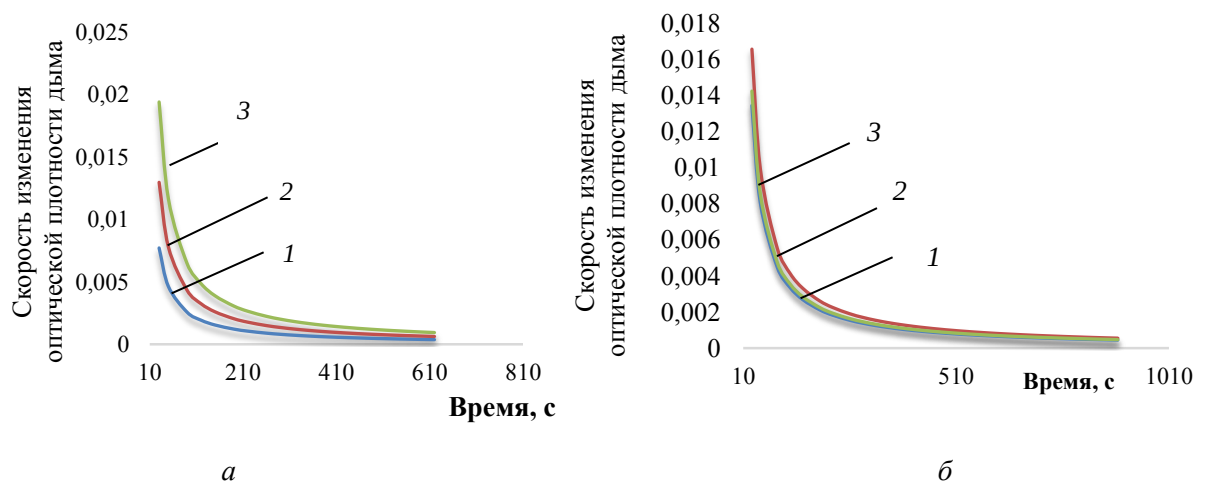


Рисунок 3.3 Динамика изменения оптической плотности дыма при воздействии теплового потока различной плотности в условиях стандартных испытаний

по п. 4.18 ГОСТ 12.1.044-89 для ПВХ однородного типа:

а – ПВХ однородного типа; *б* – ПВХ гетерогенного типа; 1 – 15 кВт/м²; 2 – 25 кВт/м²; 3 – 35 кВт/м²

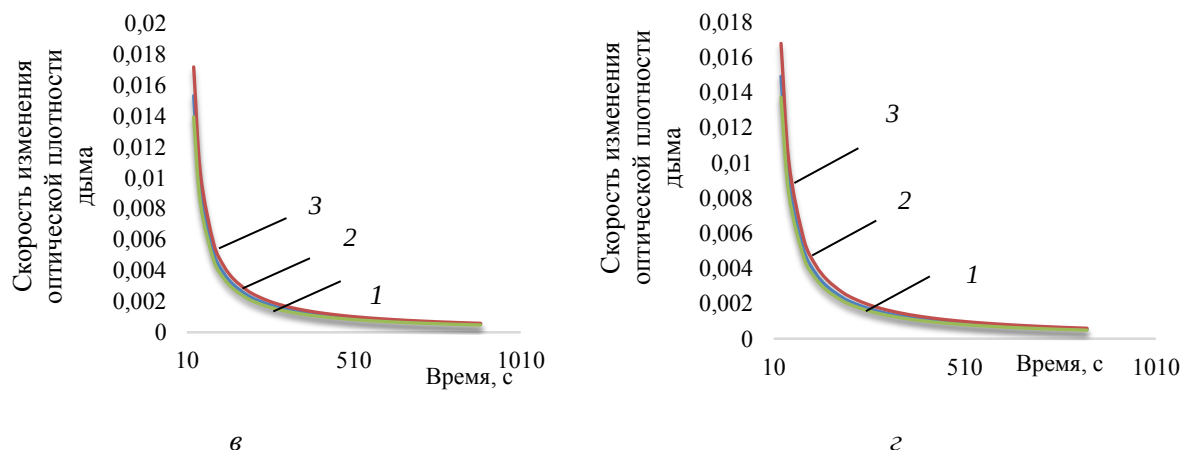


Рисунок 3.3 Окончание

в – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена;

г – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида;

1 – 15 кВт/м²; 2 – 25 кВт/м²; 3 – 35 кВт/м²

Таблица 3.7 Результаты определения динамических параметров дымовыделения при плотности теплового потока 15, 25, 35 кВт/м² [24]

Плотность теплового потока, кВт/м ²	Максимальная оптическая плотность дыма, Нп	Время наступления максимального ослабления света, с	$\frac{df_2(t)}{dt}$	$\int_{t_0}^{t_{\min}} f_2(t)dt$
ПВХ однородного типа				
15	0,48	620	$dy = \frac{0.2312}{t} dt$	178,5
25	0,87	560	$dy = \frac{0.3892}{t} dt$	319,4
35	1,35	470	$dy = \frac{0.5818}{t} dt$	413,0
ПВХ гетерогенного типа				
15	0,58	800	$dy = \frac{0.2989}{t} dt$	390,2
25	0,91	830	$dy = \frac{0.4806}{t} dt$	677,1
35	1,6	590	$dy = \frac{0.2421}{t} dt$	239,7
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида				
15	0,45	890	$dy = \frac{0.4038}{t} dt$	799,7
25	1,3	740	$dy = \frac{0.4976}{t} dt$	688,1
35	1,9	740	$dy = \frac{0.4277}{t} dt$	597,9

Окончание таблицы 3.7

<i>Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена</i>				
15	1,1	890	$dy = \frac{0.4596}{t} dt$	766,9
25	1,9	860	$dy = \frac{0.516}{t} dt$	869,1
35	2,4	800	$dy = \frac{0.4189}{t} dt$	673,0
<i>Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти</i>				
15	0,75	830	$dy = \frac{0.448}{t} dt$	699,9
25	1,2	740	$dy = \frac{0.5042}{t} dt$	663,7
35	1,7	770	$dy = \frac{0.4125}{t} dt$	638,4

Таким образом, результаты исследования закономерностей дымообразования при термоокислительном разложении (тлении) напольных покрытий: динамики изменения оптической плотности среды во времени и при воздействии теплового потока различной плотности, позволяют сделать вывод о необходимости оценки дымообразующей способности с учетом определения зависимости оптической плотности дыма от времени и регистрации оптических свойств дымовой среды в движении в режиме распространения пламени по образцу с помощью динамического метода.

3.3 Математическая модель процесса дымообразования при термоокислительном разложении (тлении) напольных покрытий

Экспериментальные исследования выполнены по предварительно разработанному плану полного факторного эксперимента (далее – ПФЭ) [2, 12, 27, 68] и изложены авторами в работе [5].

Исходные данные для матрицы плана $[X]$ содержат 27 комбинаций факторов, которые являются экспериментальными точками факторного пространства (таблица 3.8) и образуют 3-мерный параллелепипед.

Информационная матрица плана $[M]$, участвующая в дальнейших расчетах, представляет собой упорядоченное множество, полученное при умножении транспонированной исходной матрицы $[X^T]$ на $[X]$.

Таблица 3.8 – Матрица плана ПФЭ 3^3 $[X]$ и вектора наблюдений $[Y_i]$

	№ п/п	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Вектора наблюдений			
													Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Вершины	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	436	215	261	450
	2	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	291	215	245	317
	3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	347	220	254	295
	4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	452	246	296	364
	5	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	446	195	315	398
	6	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	287	217	299	365
	7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	325	199	326	302
	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	416	198	315	508
Середин ы ребер	9	1	0	-1	1	0	0	-1	0	0	1	1	369	165	150	210
	10	1	-1	0	1	0	-1	0	0	1	0	1	219	210	198	284
	11	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	289	181	206	465
	12	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	410	201	301	410
	13	1	1	-1	0	-1	0	0	0	1	1	0	375	224	323	394
	14	1	-1	-1	0	1	0	0	0	1	1	0	296	191	186	292
	15	1	-1	1	0	-1	0	0	0	1	1	0	209	215	215	315
	16	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	422	315	368	346
	17	1	0	-1	-1	0	0	1	0	0	1	1	315	182	221	475
	18	1	-1	0	-1	0	1	0	0	1	0	1	215	231	219	225
	19	1	0	1	-1	0	0	-1	0	0	1	1	502	174	345	195
	20	1	1	0	-1	0	-1	0	0	1	0	1	312	325	312	356
Центры граней	21	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	224	165	199	268
	22	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	331	191	223	295
	23	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	398	306	346	415
	24	1	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	264	222	206	168
	25	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	315	199	314	450
	26	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	347	302	202	317
Центр	27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	401	215	196	295

После построения информационной матрицы плана эксперимента $[M]$ следует расчет ковариационной матрицы (матрицы ошибок) $[D]=[M]^{-1}$, вектора оценок коэффициентов $[B]=[D][X^T][Y]$, дисперсий вектора оценок коэффициентов, значения которых являются диагональными элементами матрицы

математического ожидания вектора оценок коэффициентов регрессионной модели $[D]\sigma_3$, где σ_3 – среднеквадратичная ошибка эксперимента (рисунок 3.4).

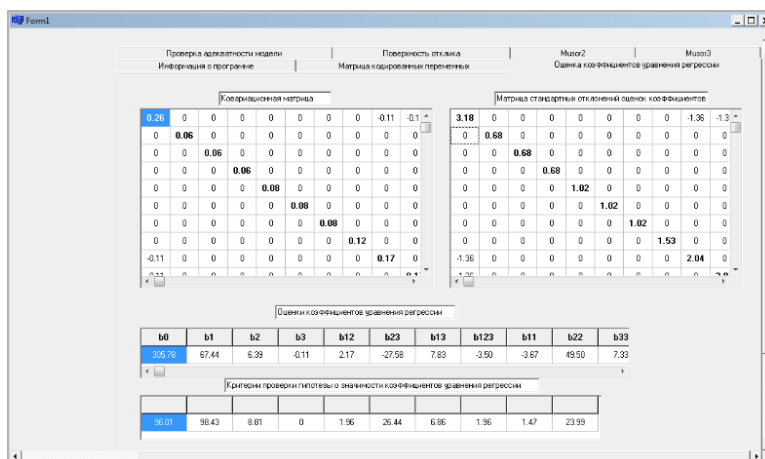


Рисунок 3.4 – Построение ковариационной матрицы и матрицы стандартных отклонений оценок коэффициентов уравнения регрессии, вычисление оценок коэффициентов, критериев их значимости

На заключительных этапах проводятся проверки гипотез об информационной способности и адекватности полиномиальной модели системы при помощи определения основных характеристик рассеяния случайных величин (учет невязки $\Delta = y_3 - \hat{y}$), дисперсионного анализа и определения F -критерия Фишера, также проверяется гипотеза о равенстве нулю истинных коэффициентов регрессионной модели при помощи построения квантилей t -распределения Стьюдента (рисунок 3.5).

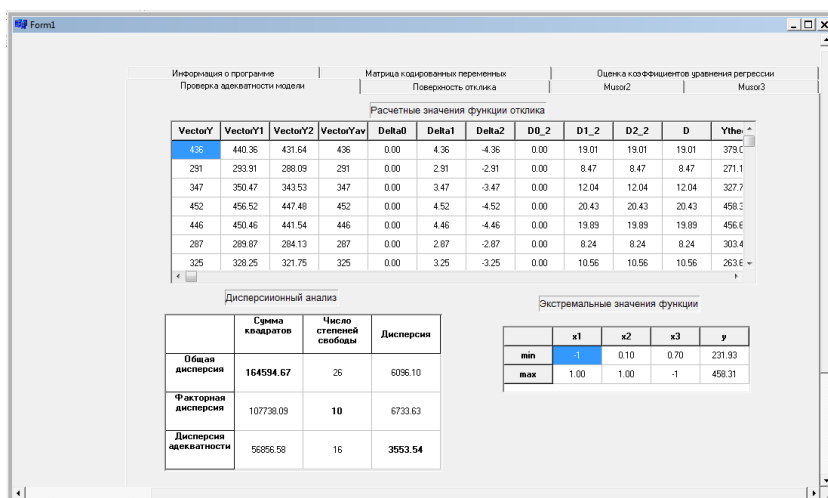


Рисунок 3.5 – Дисперсионный анализ и поиск экстремальных значений функции отклика

Поиск глобальных экстремумов искомой функции, описывающей модель, осуществлялся методом полного перебора всех точек поверхности.

По результатам планирования эксперимента были получены следующие виды поверхностей отклика системы при фиксированных значениях каждого из факторов (рисунки 3.6–3.8).

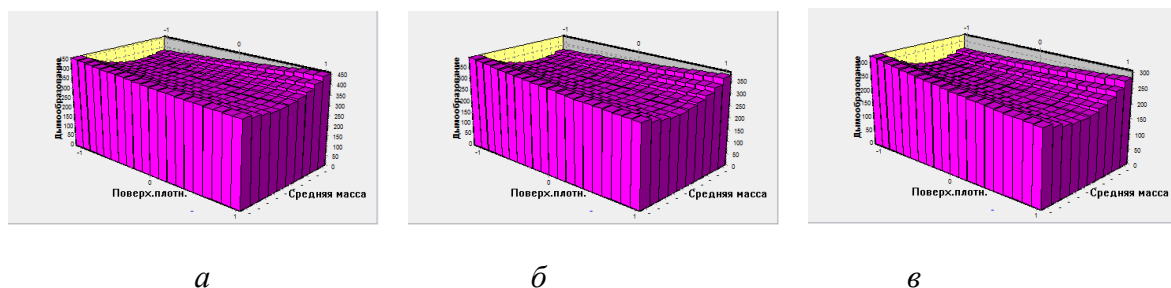


Рисунок 3.6 Поверхность отклика системы для напольных покрытий на основе ПВХ при фиксированном значении величины плотности теплового потока:

$$a - 15 \text{ кВт/м}^2; \text{ } б - 25 \text{ кВт/м}^2; \text{ } в - 35 \text{ кВт/м}^2$$

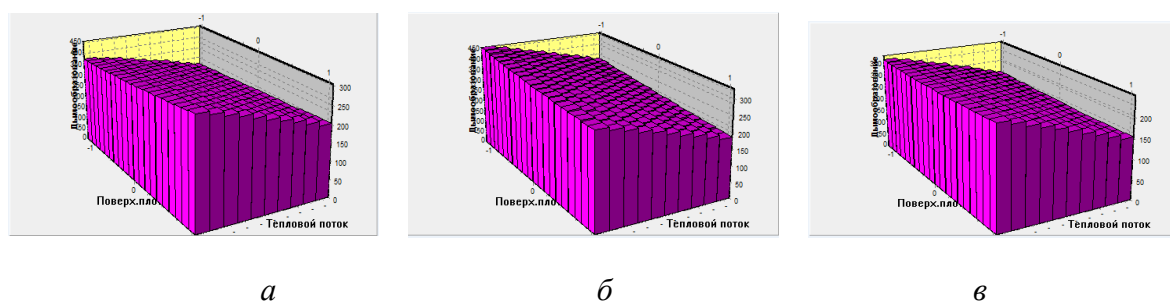


Рисунок 3.7 Поверхность отклика системы для напольных покрытий на основе ПВХ при фиксированном значении средней массы образца:

$$a - 2,0 \text{ г}; \text{ } б - 0,8 \text{ г}; \text{ } в - 1,4 \text{ г}$$

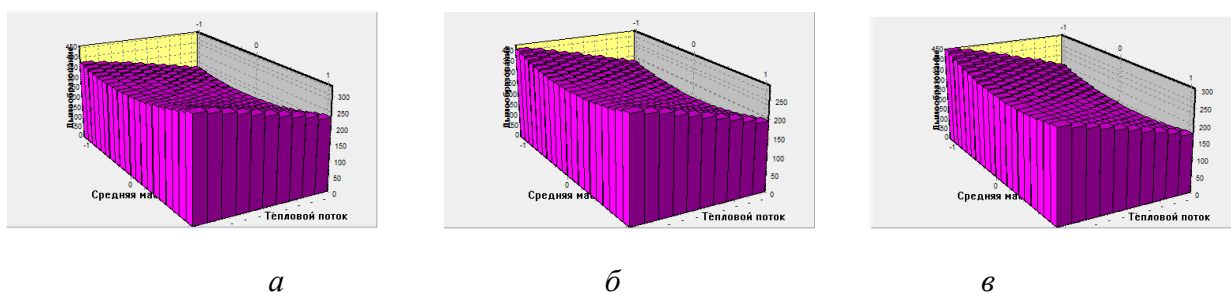


Рисунок 3.8 – Поверхность отклика системы для напольных покрытий на основе ПВХ при фиксированном значении поверхностной плотности образца:

$$a - 3700 \text{ г/м}^2; \text{ } б - 2000 \text{ г/м}^2; \text{ } в - 1850 \text{ г/м}^2$$

Для напольных покрытий на основе ПВХ присуще возрастание оптической плотности дыма с увеличением теплового воздействия, что также подтверждают найденные значения точек глобальных экстремумов. Также низкие значения

светопропускания наблюдаются при средней массе образца близкой к 1 г (рисунки 3.9–3.11)

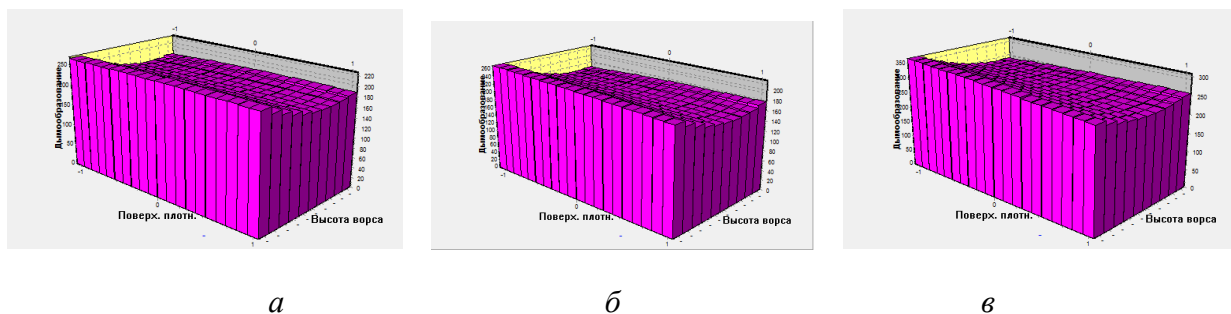


Рисунок 3.9 Поверхность отклика системы для напольных ковровых покрытий (полиамид) при фиксированном значении величины плотности теплового потока:

$$a - 15 \text{ кВт/м}^2; б - 25 \text{ кВт/м}^2; в - 35 \text{ кВт/м}^2$$

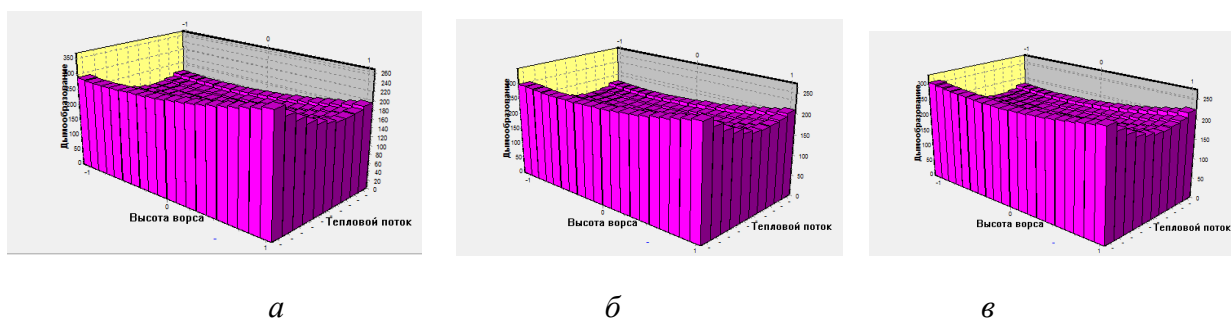


Рисунок 3.10 Поверхность отклика системы для напольных ковровых покрытий (полиамид) при фиксированном значении поверхностной плотности образца:

$$a - 2680 \text{ г/м}^2; б - 2230 \text{ г/м}^2; в - 1780 \text{ г/м}^2$$

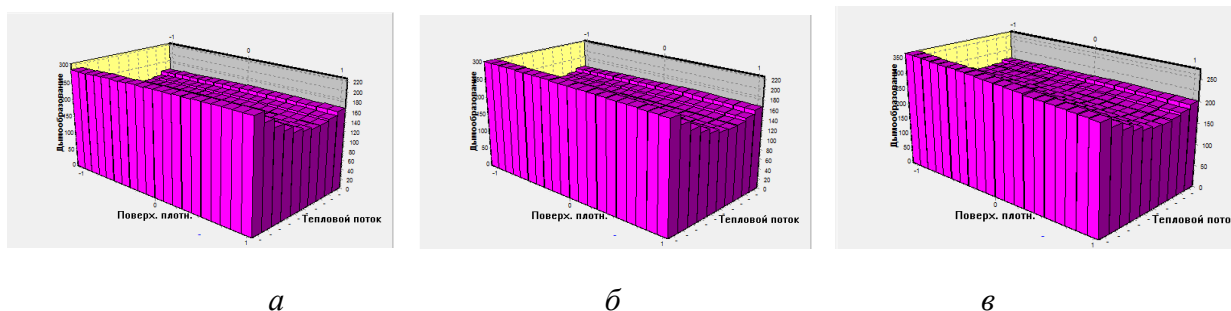


Рисунок 3.11 Поверхность отклика системы для напольных ковровых покрытий (полиамид) при фиксированном значении высоты ворса образца:

$$a - 5 \text{ мм}; б - 8 \text{ мм}; в - 10 \text{ мм}$$

Для напольных ковровых покрытий на основе полиамида значения минимального светопропускания достигаются при тепловом воздействии близком к 25 кВт/м^2 и образуют углубление в поверхности отклика при фиксации фактора поверхностной плотности образца или высоты ворса изделия (рисунки 3.12–3.14).

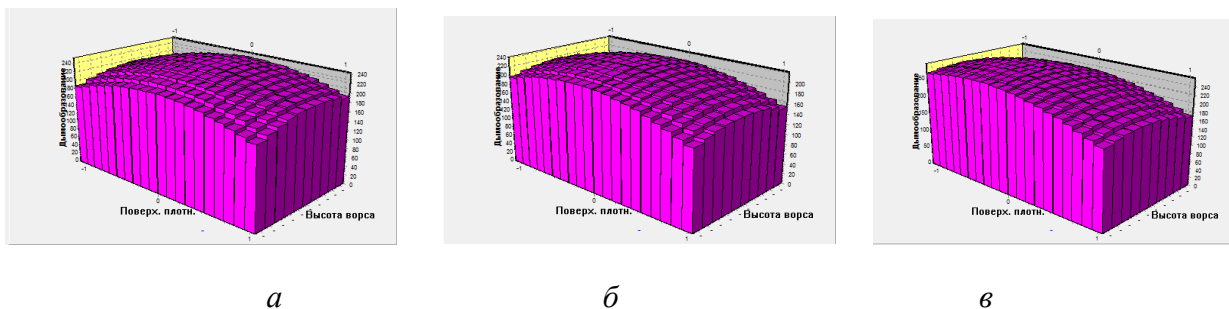


Рисунок 3.12 Поверхность отклика системы для напольных ковровых покрытий на основе полипропилена при фиксированном значении величины плотности теплового потока:

$$a - 15 \text{ кВт/м}^2; б - 25 \text{ кВт/м}^2; в - 35 \text{ кВт/м}^2$$

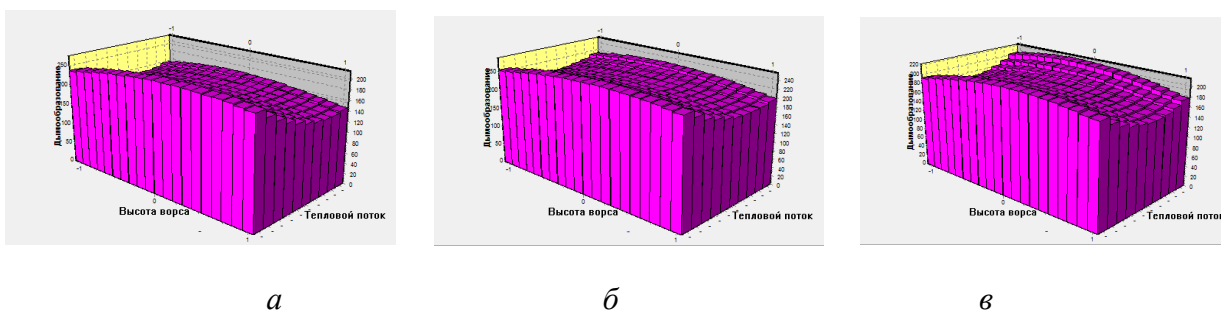


Рисунок 3.13 Поверхность отклика системы для напольных ковровых покрытий на основе полипропилена при фиксированном значении поверхностной плотности образца:

$$a - 2680 \text{ г/м}^2; б - 2230 \text{ г/м}^2; в - 1780 \text{ г/м}^2$$

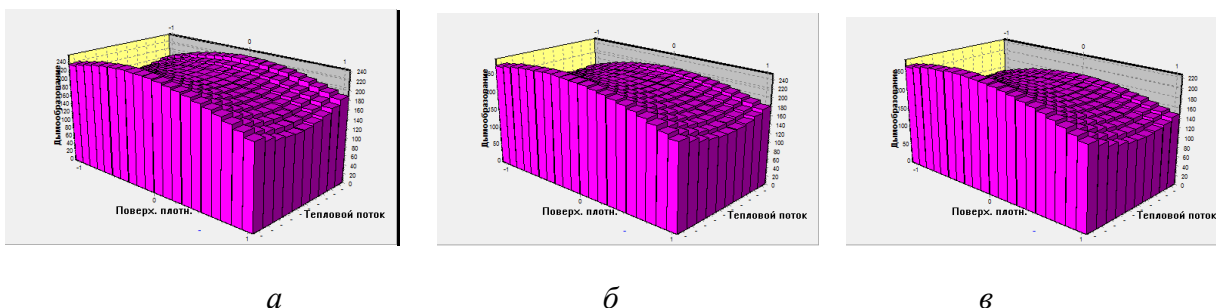


Рисунок 3.14 Поверхность отклика системы для напольных ковровых покрытий на основе полипропилена при фиксированном значении высоты ворса образца:

$$a - 5 \text{ мм}; б - 8 \text{ мм}; в - 10 \text{ мм}$$

Напольные ковровые покрытия, имеющие в основе материала ворса полипропиленовые волокна, имеют самые низкие значения светопропускания (167,94 мА). Точки экстремальных значений образуемой поверхности системы расположились в окрестности значений $x_1 \in [25, 29] \text{ кВт/м}^2$ (рисунки 3.15–3.17).

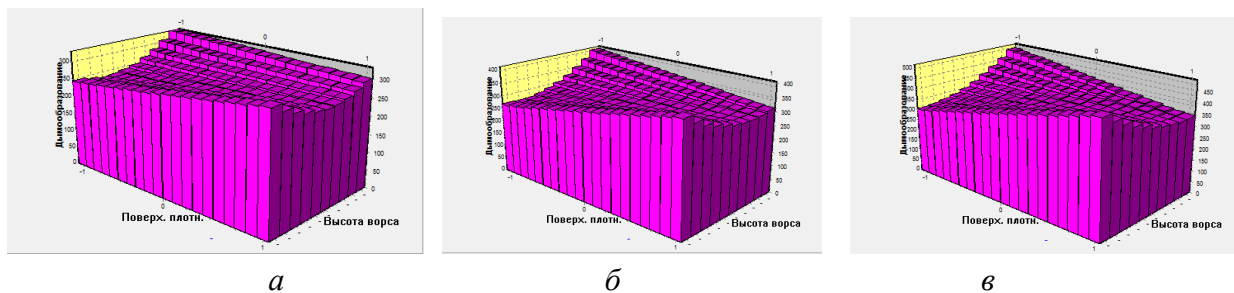


Рисунок 3.15 Поверхность отклика системы для ковровых покрытий на основе шерстяной пряжи при фиксированном значении величины плотности теплового потока:

$$a - 15 \text{ кВт/м}^2; б - 25 \text{ кВт/м}^2; в - 35 \text{ кВт/м}^2$$

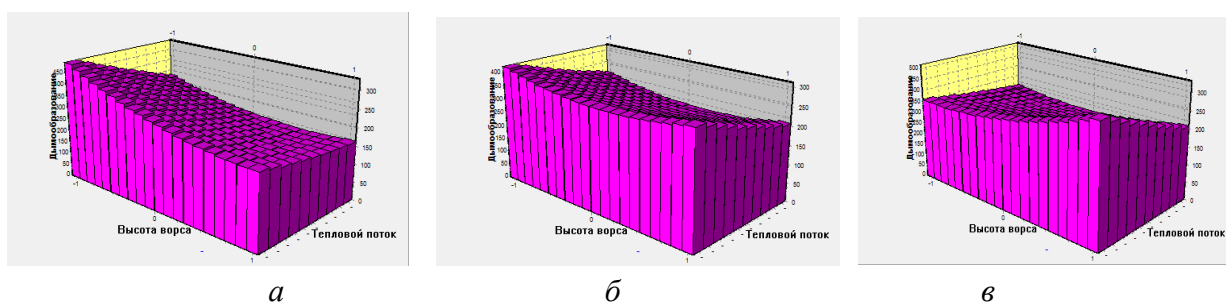


Рисунок 3.16 Поверхность отклика системы для ковровых покрытий на основе шерстяной пряжи при фиксированном значении поверхностной плотности образца:

$$a - 2680 \text{ г/м}^2; б - 2230 \text{ г/м}^2; в - 1780 \text{ г/м}^2$$

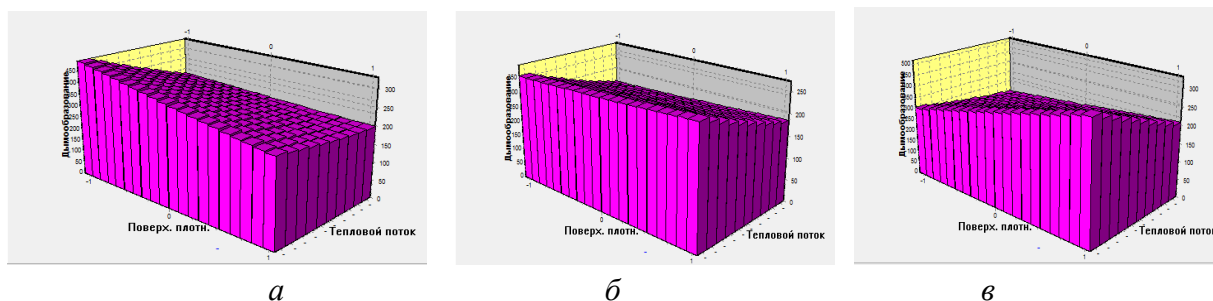


Рисунок 3.17 Поверхность отклика системы для ковровых покрытий на основе шерстяной пряжи при фиксированном значении высоты ворса образца:

$$a - 5 \text{ мм}; б - 8 \text{ мм}; в - 10 \text{ мм}$$

Геометрические образы поверхности моделей, как и ожидалось, представляют собой чаще всего гиперболический параболоид второго порядка.

Полиномиальная модель в матричной форме имеет вид:

$$[\hat{Y}] = [X][D][X^T][Y] \quad (3.1)$$

Улучшенный вид математической модели дымообразования при различных плотностях теплового потока для всех исследованных материалов с учетом незначимых эффектов взаимодействия имеет вид полинома второй степени:

– для напольных покрытий ПВХ гомогенного и гетерогенного типов (рисунок 3.18):

$$y = f(X_1, X_2, X_3) = 305,78 + 67,44x_1 + 6,39x_2 - 27,58x_1x_2 + 7,83x_1x_3 + 49,5x_2^2 + 7,33x_3^2 \quad (3.2)$$

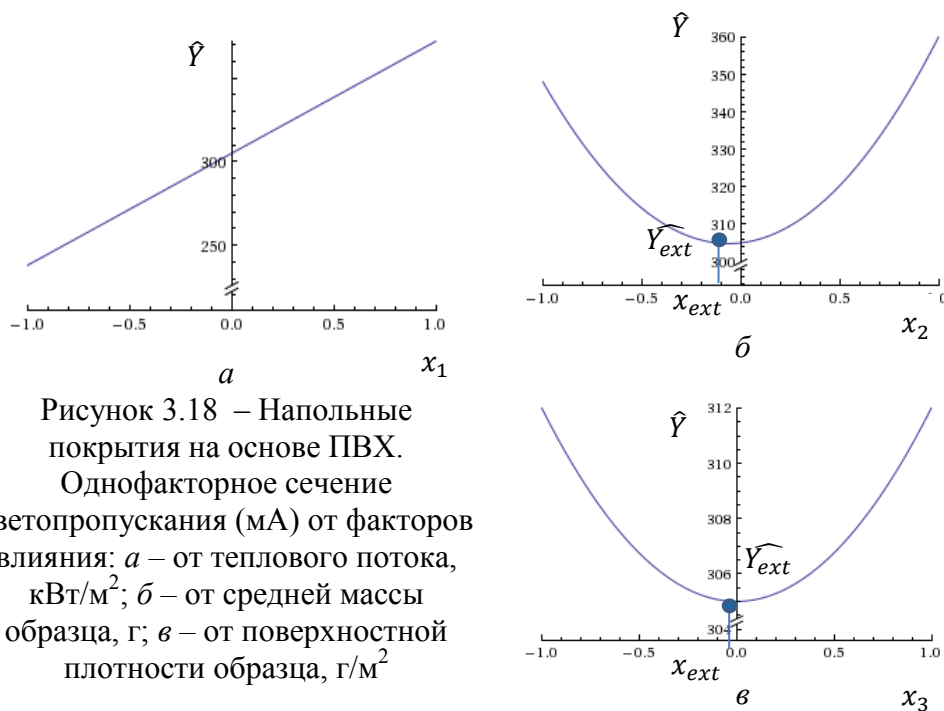


Рисунок 3.18 – Напольные покрытия на основе ПВХ. Однофакторное сечение светопропускания (мА) от факторов влияния: a – от теплового потока, кВт/м²; $б$ – от средней массы образца, г; $в$ – от поверхностной плотности образца, г/м²

– для напольных ковровых покрытий с ворсом на основе полиамида (рисунок 3.19):

$$y = f(X_1, X_2, X_3) = 213,11 + 38,28x_1 + 24,28x_2 - 1,06x_3 - 7,08x_2x_3 - 3,58x_1x_3 + 48,5x_1^2 + 24,5x_2^2 - 1,5x_3^2 \quad (3.3)$$

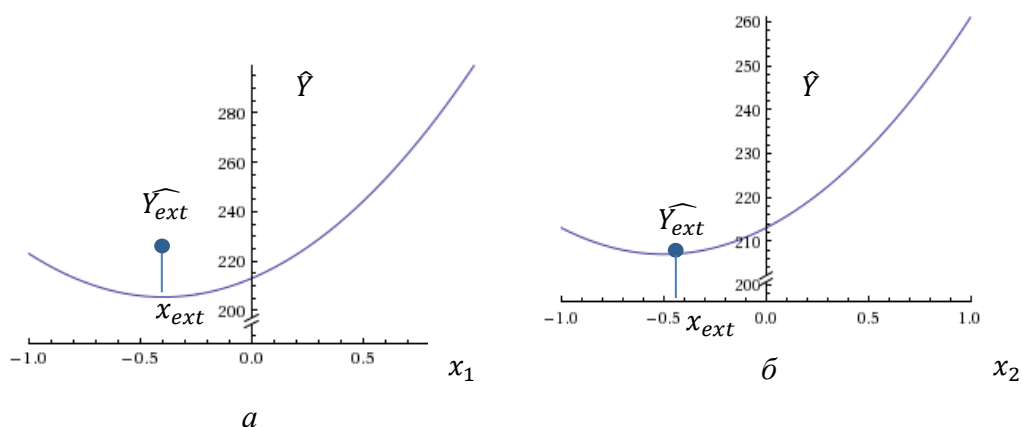
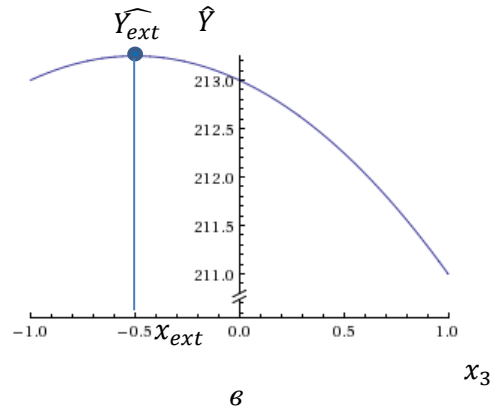


Рисунок 3.19 – Ковровые покрытия (полипропилен). Однофакторное сечение светопропускания (мА) от факторов влияния: a – от теплового потока, кВт/м²; $б$ – от поверхностной плотности образца, г/м²

Рисунок 3.19 – Окончание:
 $\hat{v}$ – от высоты ворса, мм



– для напольных ковровых покрытий с ворсом на основе полипропилена (рисунок 3.20):

$$y = f(X_1, X_2, X_3) = 241,56 + 19,94x_1 + 2,28x_2 - 12x_3 + 9,5x_1x_2 - 2,25x_2x_3 - 12,67x_1x_3 + 28,83x_1^2 - 19,83x_2^2 - 40,33x_3^2 \quad (3.4)$$

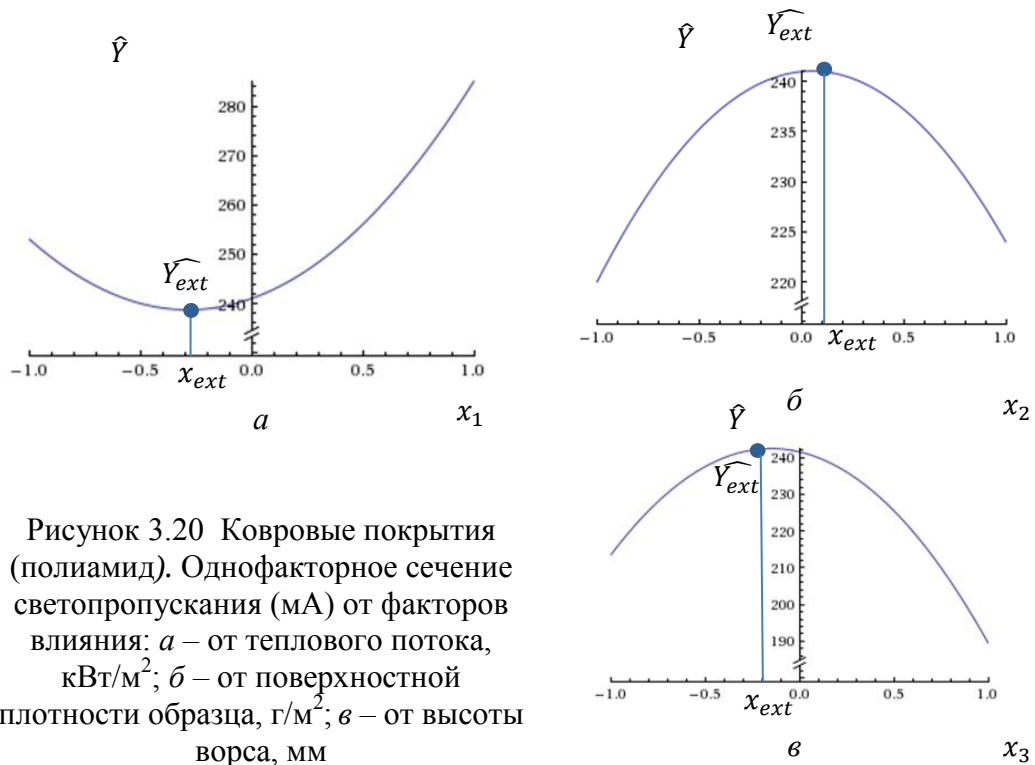


Рисунок 3.20 Ковровые покрытия (полиамид). Однофакторное сечение светопропускания (мА) от факторов влияния: a – от теплового потока, кВт/м²; b – от поверхностной плотности образца, г/м²; v – от высоты ворса, мм

– для напольных ковровых покрытий с ворсом на основе шерстяной пряжи (рисунок 3.21):

$$y = f(X_1, X_2, X_3) = 305,44 + 59,89x_1 - 10,44x_2 - 16,22x_3 - 3,17x_1x_2 + 57,5x_2x_3 + 7,67x_1^2 + 43,33x_2^2 + 4x_3^2 \quad (3.5)$$

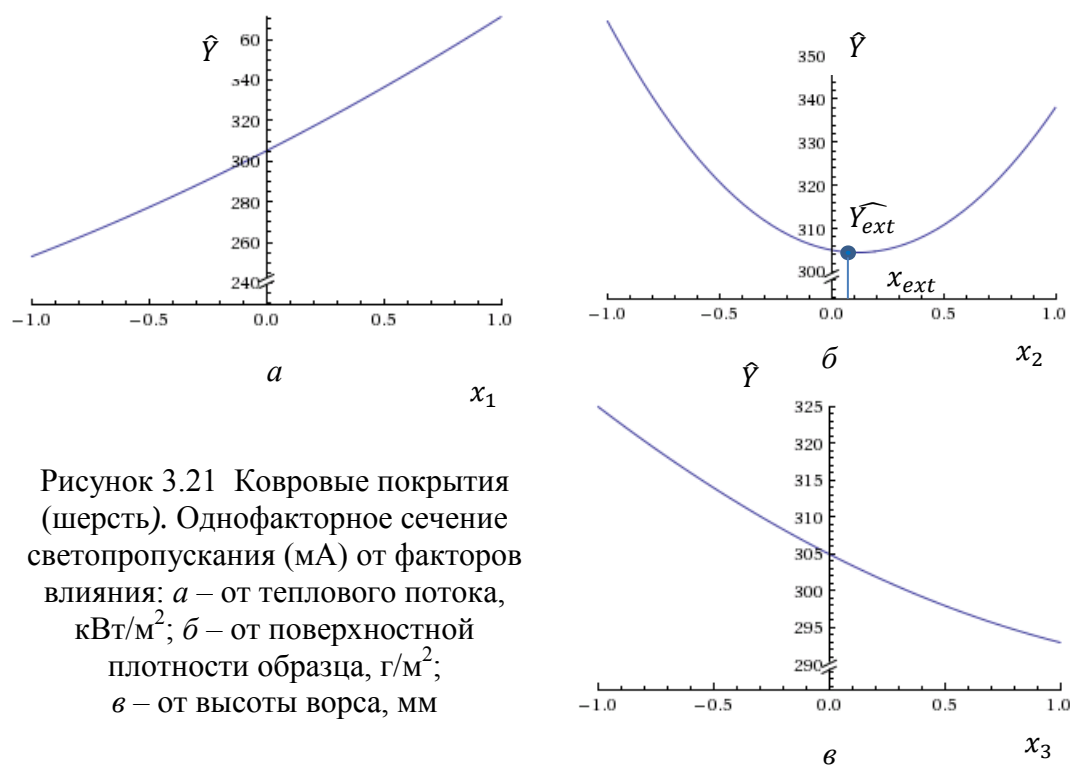


Рисунок 3.21 Ковровые покрытия (шерсть). Однофакторное сечение светопропускания (мА) от факторов влияния: a – от теплового потока, кВт/м²; $б$ – от поверхностной плотности образца, г/м²; $в$ – от высоты ворса, мм

Таблица 3.9 – Глобальные экстремумы модели дымообразования при стандартных испытаниях напольных покрытий

Точка экстремума	X_1	X_2	X_3	Y
<i>Покровы на основе ПВХ</i>				
<i>Minimum</i>	35 кВт/м ²	1 г	1955 г/м ²	231,93 мА
<i>Maximum</i>	15 кВт/м ²	0,8 г	3700 г/м ²	458,31 мА
<i>Напольные ковровые покрытия (ворс – полиамид)</i>				
<i>Minimum</i>	29 кВт/м ²	2500 г/м ²	10 мм	195,58 мА
<i>Maximum</i>	15 кВт/м ²	1780 г/м ²	10 мм	366,76 мА
<i>Напольные ковровые покрытия (ворс – полипропилен)</i>				
<i>Minimum</i>	27 кВт/м ²	1780 г/м ²	5 мм	167,94 мА
<i>Maximum</i>	15 кВт/м ²	2365 г/м ²	8,6 мм	293,11 мА
<i>Напольные ковровые покрытия (ворс – шерсть)</i>				
<i>Minimum</i>	35 кВт	1780 г/м ²	9 мм	233,76 мА
<i>Maximum</i>	15кВт	2680 г/м ²	5 мм	519,07 мА

Полученные точки минимумов функции поверхности отклика каждой исследованной системы являют собой наиболее благоприятные условия для достижения минимального светопропускания. Таким образом, величина плотности теплового потока при испытаниях для каждого материала напольного покрытия должна варьироваться в области экстремальных значений поверхности (таблица 3.9) согласно значениям, занесенным в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 Предсказанные значения $\hat{Y}$ при доверительной вероятности $P=1-\alpha=0,95$

Материал	Тепловой поток, кВт/м ²	Поверхностная плотность, г/м ²	Средняя масса образца, г/Высота ворса, мм	Минимальное светопропускание, мА	Коэффициент дымообразования м ² /кг
ПВХ	35	3200	1,6	242,1	438
Напольные ковровые покрытия (ворс – полиамид)	35	2500	0,9/8	251,9	568
Напольные ковровые покрытия (ворс – полипропилен)	35	1800	1,2/5	250,6	758
Напольные ковровые покрытия (ворс – шерсть)	35	1700	1,4/10	252	487

Трехфакторные полиномиальные модели (3.2–3.5) описывают исследуемый процесс дымообразования для выбранных групп материалов и могут прогнозировать его при заданных условиях эксперимента. Так, при следующих характеристиках материалов и величине теплового воздействия мы можем наблюдать следующие предсказанные значения минимального светопропускания и коэффициента дымообразования.

Модель поверхности в виде многомерного гиперполоида изначально позволяет уменьшить погрешность адекватности при описании изогнутых поверхностей функции отклика системы [47].

Программа содержит алгоритм расчета некоторых статистических критериев согласия и проверки статистической значимости (критерий t -Стьюдента, критерий F –Фишера), а также учет абсолютной погрешности или «невязки» $\Delta = y_3 - \hat{y}$, но для утверждения расчетно-аналитического метода необходимо более детально исследовать погрешности полученной модели и расхождение расчетных и экспериментальных величин.

Также выборки расчетных и экспериментальных величин были проверены на закон распределения вероятностей Гаусса при помощи критерия согласия χ^2 .

Плотности вероятностей для эксперимента и модели имеют удовлетворительную корреляцию во всех случаях.

Результаты погрешностей измерений были рассчитаны исходя из расчета среднего квадратичного отклонения σ для нормального распределения случайных величин по правилу 3σ (таблицы 3.11–3.13).

Таблица 3.11 – Погрешность предсказанных значений

Материал покрытия	Погрешность модели	χ^2
ПВХ	$\Delta_{0,997} = \pm 90,58 \text{ мА}$	11,16
Ковровые покрытия ПА	$\Delta_{0,997} = \pm 91,98 \text{ мА}$	23,45
Ковровые покрытия ПП	$\Delta_{0,997} = \pm 122 \text{ мА}$	5,78
Ковровые покрытия Ш	$\Delta_{0,997} = \pm 48,17 \text{ мА}$	1,84

Таблица 3.12 – Относительная погрешность предсказанных значений

Коэффициент дымообразования м ² /кг (расчетные значения)	Коэффициент дымообразования м ² /кг (эксперимент)	Δ
438	457	19 %
568	573	5%
758	742	16%
487	501	14 %

Таблица 3.13 – Значения коэффициента дымообразования, полученные в результате расчета и эксперимента

Коэффициент дымообразования м ² /кг (расчетные значения)	Коэффициент дымообразования м ² /кг (эксперимент)	Требования Федерального закона № 123 по группе дымообразующей способности
438	457	Д2 (> 50)
568	573	Д3 (> 500)
758	742	Д3 (> 500)
487	501	Д3 (> 500)

Таким образом, абсолютная погрешность находится в пределах 48,17–91,98 мА, максимальная относительная погрешность составила 19 %.

3.4 Расчет температурного режима и критических величин падающего теплового потока в динамике развития пожара в помещении

Полевая модель расчета тепломассопереноса при пожаре в здании, применяемая в программном продукте *FDS (Fire Dinamic Simulator)*, основывается на численном решении системы дифференциальных уравнений Навье – Стокса для мгновенных значений параметров потока газа в каждой ячейке вычислительной сетки. Подобная система представляет собой уравнения, описанные в частных производных и являющиеся выражением фундаментальных законов физики – сохранения массы, импульса и энергии.

Процесс распространения газовой (дымовой) среды представлен следующими уравнениями, подробно описанными в [1, 4, 7, 65-66]:

- уравнение неразрывности газовой среды;
- уравнение движения;
- уравнение энергии;
- уравнение закона сохранения оптической плотности дыма;
- закон сохранения массы горючего материала;
- уравнение состояния смеси идеальных газов;
- уравнения теплофизических параметров смеси.

Помимо основных уравнений, полевая модель содержит дополнительные соотношения для расчета турбулентного тепломассообмена, моделирование радиационного теплообмена, расчета процесса газификации пожарной нагрузки, и выбор модели горения (диффузионно-вихревая, модель ламинарных элементов пламени). Указанные выше уравнения приведены к определенному виду для удобства применения методов численного решения [65].

Полевая модель расчета тепломассопереноса при пожаре позволяет воссоздать возможную пожароопасную ситуацию, не прибегая к крупномасштабному эксперименту, и применена в данной работе для исследования температурного режима пожара и научно-обоснованного прогноза динамики опасных факторов пожара и теплового воздействия (падающего теплового потока) на уровне пола.

Основные параметры задачи были определены исходя из условий возможного протекания реального пожара по наиболее распространенным сценариям.

Размеры помещения были приняты исходя из анализа объемно-планировочных решений зданий коридорного типа класса функциональной пожарной опасности Ф 1.2 Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов, Ф 4.3 — здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов. Расположение пожарной нагрузки предполагается приближенным к реальным условиям. Исходные данные для очага пожара выбраны из справочной литературы (таблицы 3.14–3.16) [36, 82].

Таблица 3.14 – Вид, плотность пожарной нагрузки

Класс функциональной пожарной опасности здания	Вид пожарной нагрузки	Плотность пожарной нагрузки, МДж/м ²
Ф 1.2 - гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов	Жилые помещения гостиниц, общежитий и т.д	300
Ф 4.3 — здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов	Админ. помещение; мебель + бумага (0,75+0,25)	300

Таблица 3.15 – Основные параметры пожарной нагрузки [36, 82]

Обозначение по тексту	Пожарная нагрузка	$\psi_{уд}$, кг/с·м ²	ν , м/с	Q_n , кДж/кг	D_m , Нп·м ² /кг	L , кг/кг			η
						CO	CO_2	HCl_{50}	
ПН 1	Жилые помещения гостиниц, общежитий и т.д	0,015	0,005	13,8	270	0,002	0,203	0,014	1
ПН 2	Админ. помещение; мебель + бумага (0,75+0,25)	0,021	0,022	14,0	53,0	0,043	1,434	0	1

Таблица 3.16 – Основные параметры пожарной нагрузки

Расположение	Материал	Толщина, мм	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, КДж/кг*К	Теплопроводность, В/м*К	Источник
Напольное покрытие	ПВХ	6	1380	1,2	0,10	[154]
	НКП (ПА)	6	1100	1,5	0,25	[154]
	НКП (ПП)	6	910	2,1	0,10	[154]
	НКП (Ш)	6	330	1,38	0,07	[154]
Отделка стен	Силикат кальция	113	750	1,04	0,36 при 200 °С 0,36 при 300 °С 0,45 при 600 °С	[144]
	Огнеупорный кирпич	12,7	720	1,25 при 200 °С 1,33 при 300 °С 1,55 при 600 °С	0,12 при 200 °С 0,11 при 300 °С 0,12 при 600 °С	[144]
Мебель	Древесина	12,7	510	1,38	0,12	[105, 125]
Источник зажигания	ПН 1	–				[36, 82]
	ПН 2	–				[36, 82]

Для создания топологии модели была выбрана планировка типового этажа здания гостиничного комплекса (рисунок 3.22). Статистический анализ данных о пожарах и загораниях показал, что наиболее вероятное место возникновения пожара – жилая комната.

В топологии модели изменялись следующие входные параметры:

1. Для поверхности покрытия пола в помещении очага пожара и коридора изменялись характеристики (толщина, тип) материала поверхности напольного покрытия (ПВХ, полипропилен, полиамид, шерсть (ковровые покрытия)). Исходные данные взяты из справочной литературы [154];

2. Реакция горения и поверхности изменялись исходя из исследуемого класса функциональной пожарной опасности (база данных по [36]), для реакции горения и поверхности данные определены по [154];

3. Отделка стен была принята по [144] (материалы - огнеупорный кирпич и покрытие из силиката кальция);

4. Мебель в комнате была принята по древесине по [105, 125].

5. Скорость распространения пламени определена по [82].

В результате численного моделирования предполагалось определить:

1. Характер изменения температуры среды и падающего теплового потока по длине и высоте коридора;
2. Динамика нарастания падающего теплового потока на расстоянии до 0,3 м от уровня пола в помещении очага пожара и в коридоре;
3. Время наступления полной потери видимости при горении материала НП и блокирования эвакуационного выхода;
4. Функциональную зависимость среднеобъемной температуры от времени в помещении очага пожара.

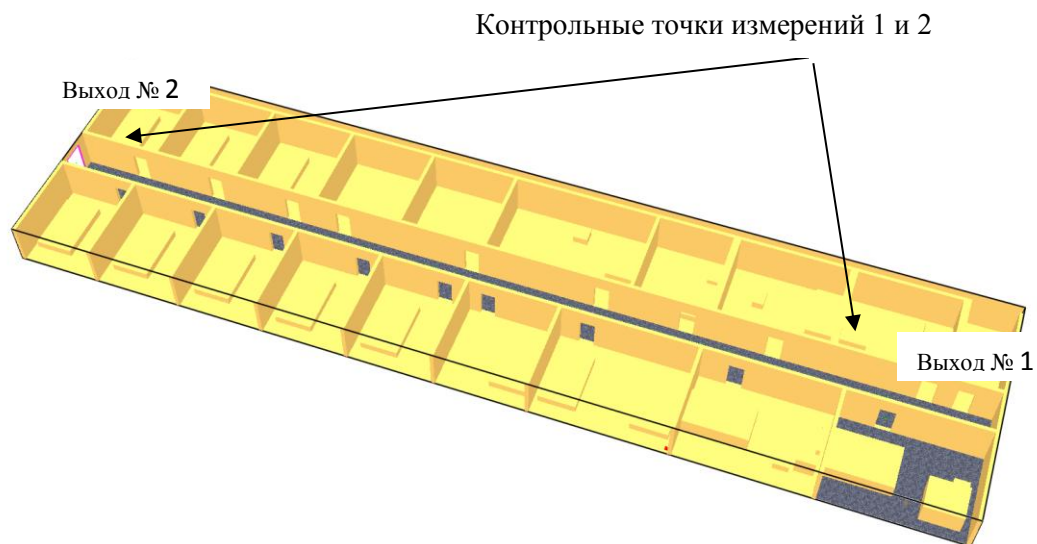


Рисунок 3.22 Топология обобщенной схемы типового этажа с измерителями в газовой фазе

Исходные данные для помещения очага пожара:

- размеры (объем) помещения: $6 \times 6 \times 3$ м, $V = 108 \text{ м}^3$;
- начальные условия задавались следующими: температура внутри помещения $T_0 = 293 \text{ °K}$; давление $p_0 = 101300 \text{ Па}$; максимальная видимость 20 м; массовая доля кислорода в атмосфере – 0,2323 кг/кг; относительная влажность 40 %. Рассматривается наиболее опасный вариант пожара: пожар возникает в жилой комнате, выход № 1 с этажа заблокирован. Принимаем, что системы пожаротушения, дымоудаления, механической вентиляции отключены.

- проемность помещения составляет $\Pi = 0,07$;
- распространение пламени начинается из центра очага возгорания, рост площади пожара и выход на максимальную мощность пожара заданы по квадратичному закону;
- расчетная сетка содержит 198 120 ячеек размером $0,25 \times 0,25 \times 0,25$ м.

Развитие пожара в начальной стадии происходит за счет недостаточного теплоотвода из зоны горения, что обуславливает рост площади пожара и ускорению процессов выгорания пожарной нагрузки. Распространение пламени происходит из жилой комнаты в коридор.

В качестве расчетных точек были установлены измерители в газовой фазе для значений ОФП в плоскости рабочей зоны на высоте 1,7 м, измерители температуры среды и датчики теплового потока по длине и высоте коридора через равные промежутки (с шагом в 2 м), измерители оптической плотности дыма по длине коридора на высоте 1,7 м, термопары на высоте 0,3; 0,7; 1,0; 1,25; 1,5; 1,7 м в помещении очага пожара, а также плоскость измерений теплового потока на высоте 0,3 м. Ось расположения датчиков в коридоре располагалась на расстоянии, удаленном на половину ширины коридора. Таким образом, измерения проводились в плоскости, находящейся напротив помещения очага пожара (таблица 3.17).

Таблица 3.17 Измерители в газовой фазе, установленные в помещениях модели

Параметр для измерений	Расстояние по высоте коридора, м	Примечание
Температура	0,3	29 измерителей с шагом - 2 м
	0,7	29 измерителей с шагом - 2 м
	1,0	29 измерителей с шагом - 2 м
	1,25	29 измерителей с шагом - 2 м
	1,7	29 измерителей с шагом - 2 м
Тепловой поток	0,3	29 измерителей с шагом - 2 м
	0,7	29 измерителей с шагом - 2 м
	1,0	29 измерителей с шагом - 2 м
	1,25	29 измерителей с шагом - 2 м
	1,7	29 измерителей с шагом - 2 м
Оптическая плотность дыма	1,7	13 измерителей с шагом 5 м
Тепловой поток	0,3	32 плоскости измерений

Окончание таблицы 3.17

Термопары	0,3	Расположение в помещении очага пожара
	0,5	
	0,7	
	1,0	
	1,25	
	1,5	
	1,7	
Расчетная точка 1		
Температура	1,7	Расположение у дверного проема № 1 (помещение очага пожара)
Видимость	1,7	
Тепловой поток	1,7	
Концентрация монооксида углерода, <i>CO</i>	1,7	
Концентрация оксида углерода, <i>CO</i> ₂	1,7	
Концентрация кислорода, <i>O</i> ₂	1,7	
Концентрация хлористого водорода, <i>HCl</i>	1,7	
Расчетная точка 2		
Температура	1,7	Расположение у дверного проема № 2 (эвакуационный выход)
Видимость	1,7	
Тепловой поток	1,7	
Концентрация монооксида углерода, <i>CO</i>	1,7	
Концентрация оксида углерода, <i>CO</i> ₂	1,7	
Концентрация кислорода, <i>O</i> ₂	1,7	
Концентрация хлористого водорода, <i>HCl</i>	1,7	

Коридор шириной 3 м, длиной 60 м, высотой 3 м. Помещение имеет геометрические размеры 6×6×3 м, размеры проема (двери): ширина 1,2 м, высота 2 м; ограждающие конструкции – бетон. Модель горения материала была задана как распространение пламени с известной скоростью при достижении условий нагрева, достаточных для воспламенения, от малокалорийного источника зажигания.

Расположение очага пожара (рисунок 3.23) осуществлялось исходя из следующих сценариев: 1. Источник зажигания находится на полу и инициирует воспламенение и горение напольного покрытия; 2. Источник зажигания находится

в углу помещения (место возникновения горения – мебель), напольное покрытие подвержено высокотемпературному нагреву от газовой среды.

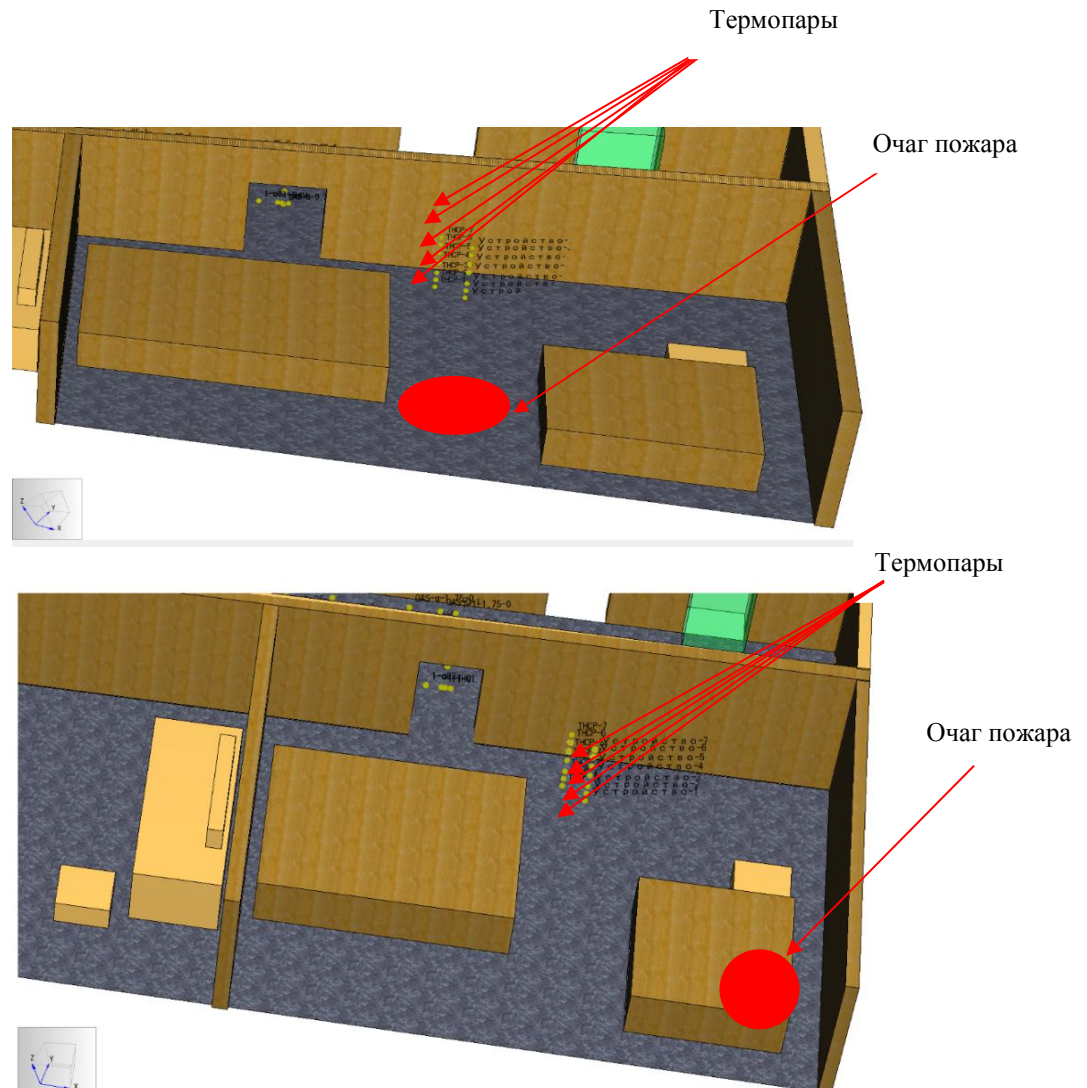


Рисунок 3.23 – Расположение очага пожара и термопар

Критическое время по каждому из опасных факторов определяется как время достижения этим фактором критического значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола.

Критические значения по каждому из опасных факторов составляют:

- по повышенной температуре – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- по тепловому потоку – 1400 Вт/м^2
- по потере видимости – 20 м;
- по пониженному содержанию кислорода – $0,226\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$;
- по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (CO_2 – $0,11\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; CO – $1,16\cdot 10^{-3}\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; HCL – $23\cdot 10^{-6}\text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$).

Анализ результатов исследования, проведенного в данной главе, показал, что наиболее опасным сценарием пожара с участием НП для определения критических параметров теплового потока и других ОФП является воспламенение покрытия с последующим распространением пламени по его поверхности (из помещения в коридор). Результаты численного моделирования по выбранному сценарию представлены на рисунках 3.24–3.31 и в таблицах 3.18–3.22, 3.26.

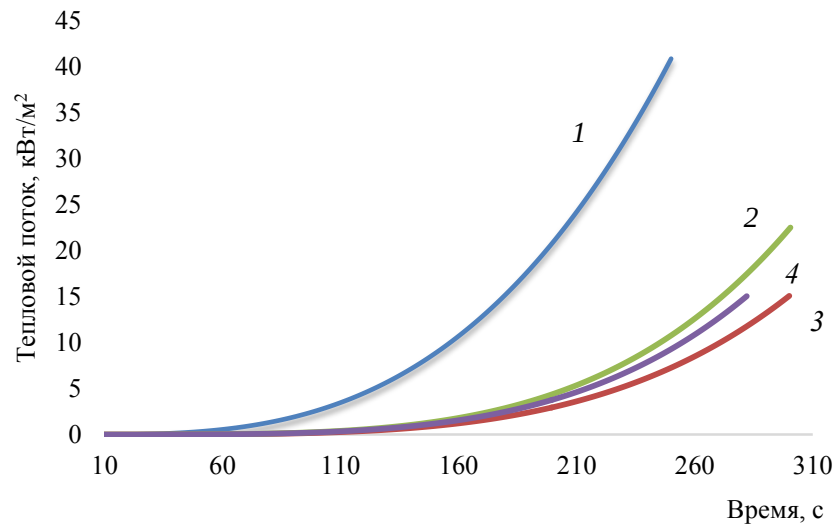


Рисунок 3.24 Распределение величин падающего теплового потока на высоте 1,7 м в плоскости измерений напротив дверного проема помещения очага пожара:

1 – НКП с ворсом на основе полипропилена; 2 – ПВХ покрытия;
3 – НКП с ворсом на основе полиамида; 4 – НКП с ворсом на основе шерсти

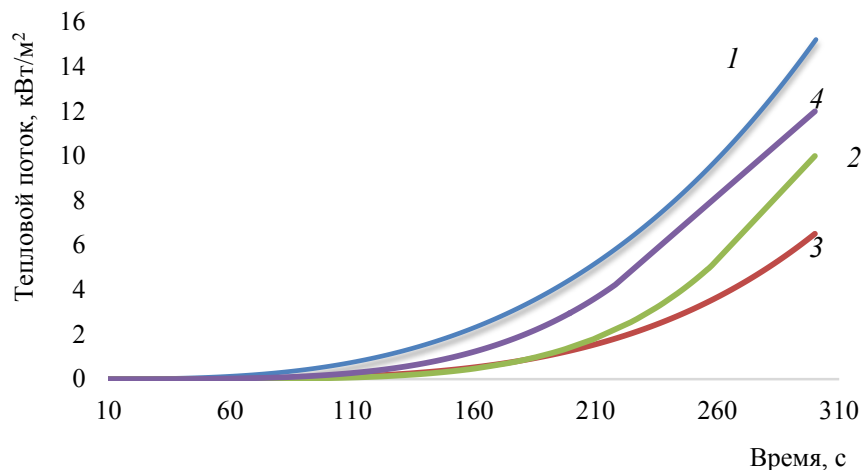


Рисунок 3.25 Распределение величин теплового потока на высоте 0,3 м в плоскости измерений напротив дверного проема помещения очага пожара:

1 – НКП с ворсом на основе полипропилена; 2 – ПВХ покрытия;
3 – НКП с ворсом на основе полиамида; 4 – НКП с ворсом на основе шерсти

Характер изменения температуры в течение времени моделирования представлен на рисунках 3.26–3.31.

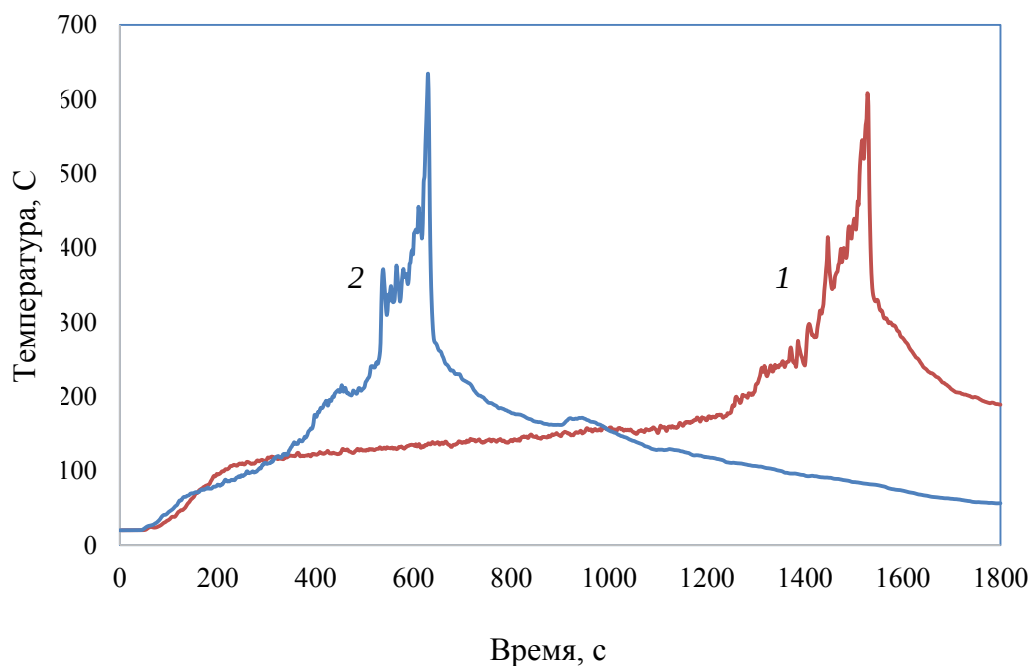


Рисунок 3.26 – Характер изменения температуры в помещении при горении напольных покрытий на основе поливинилхлорида:

1 – пожарная нагрузка ПН1, очаг пожара на полу;

2 – пожарная нагрузка ПН2,

очаг пожара на полу

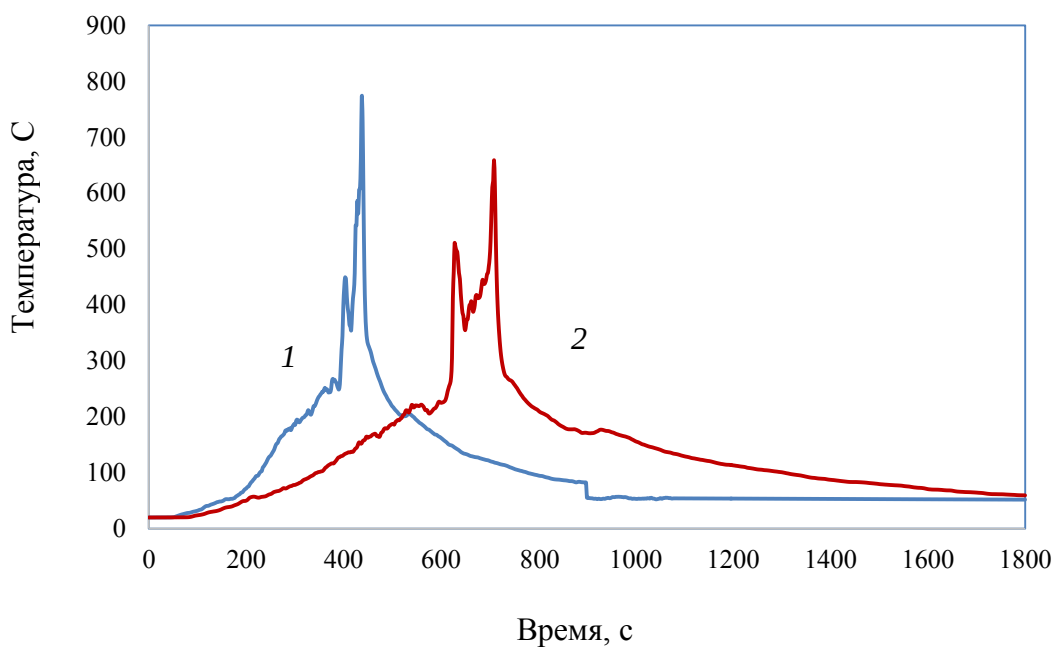


Рисунок 3.27 – Характер изменения температуры при горении напольных ковровых покрытий с ворсом на основе полипропилена:

1 – пожарная нагрузка ПН1, очаг пожара на полу;

2 – пожарная нагрузка ПН2,

очаг пожара на полу

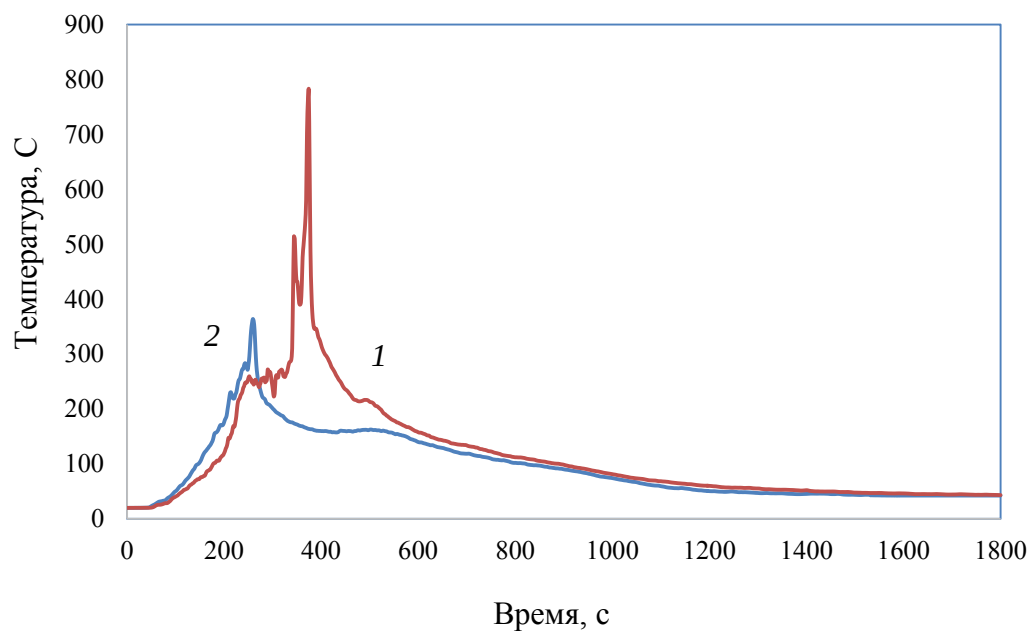


Рисунок 3.28 – Характер изменения температуры в помещении при горении напольных ковровых покрытий с ворсом на основе полиамида:

1 – пожарная нагрузка ПН1, очаг пожара на полу;

2 – пожарная нагрузка ПН2,

очаг пожара на полу

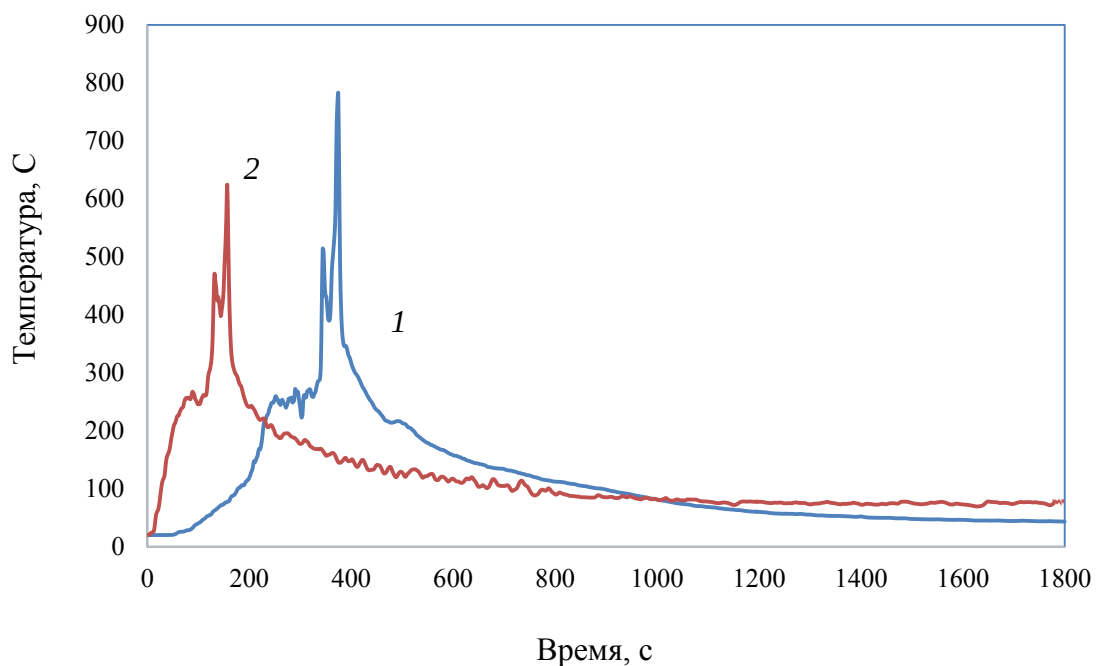


Рисунок 3.29 – Характер изменения температуры в помещении при горении напольных ковровых покрытий с ворсом на основе шерсти:

1 – пожарная нагрузка ПН1, очаг пожара на полу;

2 – пожарная нагрузка ПН2,

очаг пожара на полу

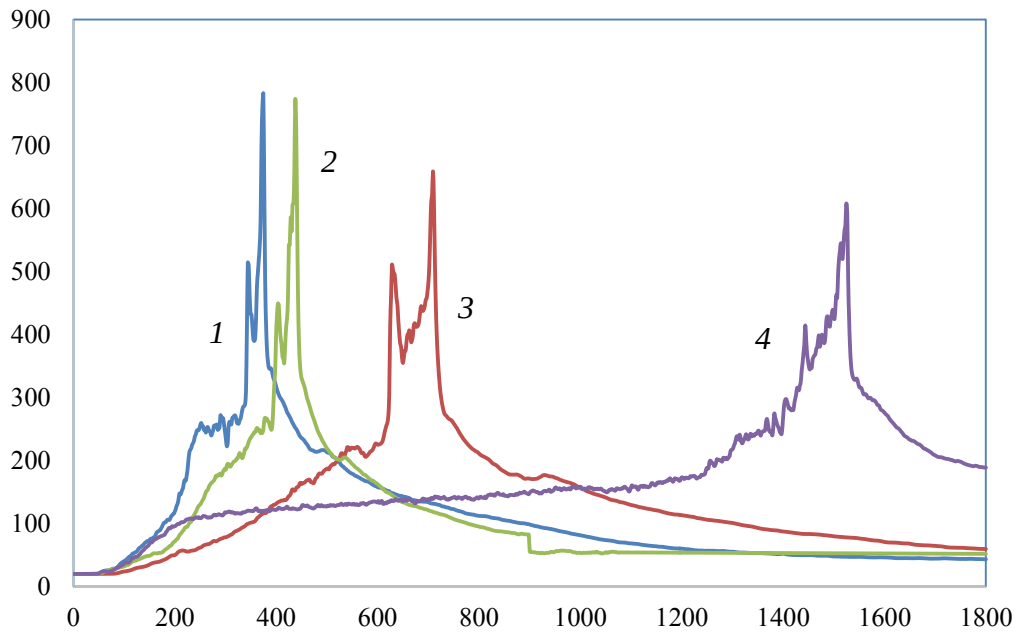


Рисунок 3.30 – Характер изменения температуры в помещении при горении напольных покрытий, пожарная нагрузка ПН1, очаг пожара на полу:

1 – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти; 2 – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена; 3 – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида; 4 – напольные покрытия на основе поливинилхлорида.

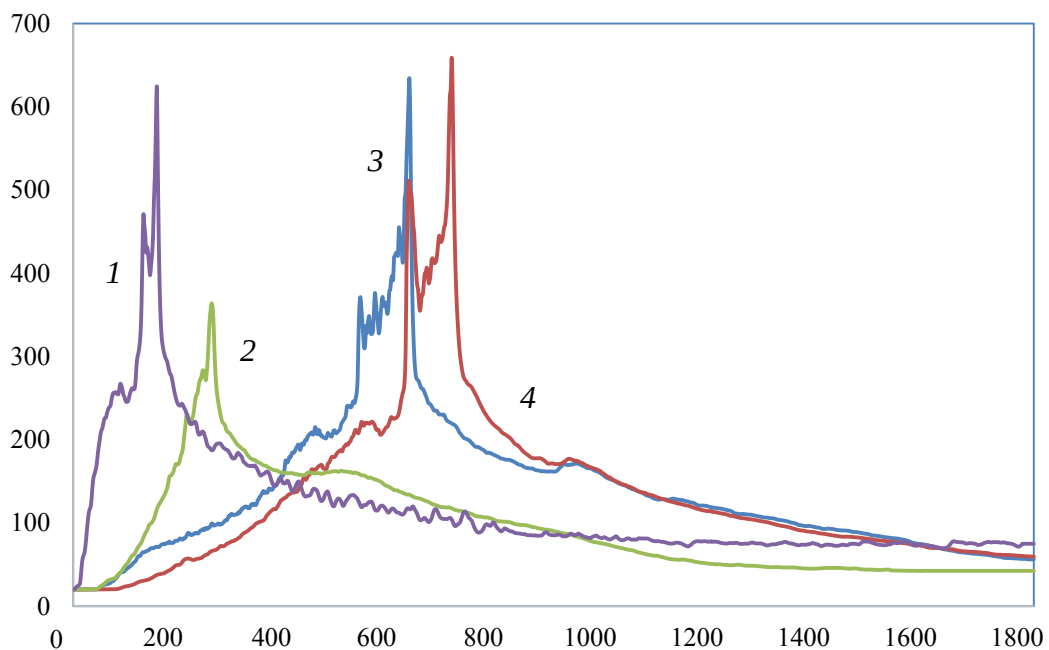


Рисунок 3.31 – Характер изменения температуры в помещении при горении напольных покрытий, пожарная нагрузка ПН2, очаг пожара на полу:

1 – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти; 2 – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида; 3 – напольные покрытия на основе поливинилхлорида; 4 – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена.

Для обоснования критической величины падающего теплового потока рассматривались средние значения теплового потока в плоскости измерений в пределах системы двух помещений (за предельное расстояние принималось расстояние между дверными проемами) на высоте до 0,3 м, динамика нарастания теплового потока от газовой среды по длине коридора. Область критических величин падающего теплового потока в зоне нахождения напольных покрытий определялась исходя из полученных расчетных значений в точках измерений на высоте $h = 0,3$ м в плоскости напротив дверного проема помещения очага пожара при наступлении времени блокирования путей эвакуации, а также при достижении максимальной величины параметра до возникновения объемного пожара (таблицы 3.18–3.21).

Таблица 3.18 – Распределение средних значений тепловых потоков по длине коридора (при горении напольных покрытий на основе поливинилхлорида) на высоте до 0,3 м

Пожарная нагрузка ПН1, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$q, \text{кВт/м}^2$	2,31	0,29	0,14	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,026
Пожарная нагрузка ПН2, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$q, \text{кВт/м}^2$	6,05	2,41	2,15	1,98	1,56	1,83	1,43	1,42	1,39	1,57	1,70	1,31	1,48	1,21

Таблица 3.19 – Распределение средних значений тепловых потоков по длине коридора (при горении напольных ковровых покрытий с ворсом на основе полиамида) на высоте до 0,3 м

Пожарная нагрузка ПН1, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$q, \text{кВт/м}^2$	2,17	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Пожарная нагрузка ПН2, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$q, \text{кВт/м}^2$	7,35	2,84	1,94	1,73	1,46	1,64	1,31	1,14	1,04	1,26	1,39	1,05	0,96	0,88

Таблица 3.20 – Распределение средних значений тепловых потоков по длине коридора (при горении напольных ковровых покрытий с ворсом на основе полипропилена) на высоте до 0,3 м

Пожарная нагрузка ПН1, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$q, \text{кВт/м}^2$	13,8	4,07	3,96	2,67	3,65	4,90	4,80	4,41	3,32	5,34	8,14	5,60	4,94	6,05
Пожарная нагрузка ПН2, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$q, \text{кВт/м}^2$	2,93	2,15	2,21	2,19	2,55	3,18	2,78	2,59	1,86	3,34	4,26	2,16	2,25	3,29

Таблица 3.21 – Распределение средних значений тепловых потоков по длине коридора (при горении напольных ковровых покрытий с ворсом на основе шерсти) на высоте до 0,3 м

Пожарная нагрузка ПН1, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
q , кВт/м ²	5,38	3,31	2,25	2,46	2,68	2,90	3,14	3,31	2,67	2,56	3,47	4,04	2,61	2,83
Пожарная нагрузка ПН2, очаг располагается на полу														
l, м	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
q , кВт/м ²	3,02	2,27	2,47	2,34	2,80	3,72	3,16	3,00	2,81	2,76	4,33	2,89	2,57	2,91

Область критических величин падающего теплового потока представлена в таблице 3.22.

Таблица 3.22 Область критических величин падающего теплового потока для материалов НП

Исследуемый параметр	Критическое значение теплового потока по времени блокирования путей эвакуации, кВт/м ²	Максимальное значение падающего теплового потока, кВт/м ²
Напольные покрытия ПВХ		
$q_{кр}$	0,72	6,05
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида		
$q_{кр}$	1,46	7,35
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена		
$q_{кр}$	1,56	13,8
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти		
$q_{кр}$	0,77	5,38

Сравнение полученных расчетных значений с данными крупномасштабных экспериментов представлено в таблице 3.23.

Таблица 3.23 Сравнительная оценка тепловых потоков, полученных при моделировании с данными крупномасштабных экспериментов, изложенных в работах [31, 77], сечение напротив дверного проема

Высота измерений, м	Расчетные данные	Работы [31, 77]	Максимальное отклонение, %
0,3	13,8	18,5	25,4
0,5	16,9	24,0	29,6

Для определения времени эвакуации людей из помещений типового этажа использовалась модель индивидуально-поточного движения людских потоков, реализуемая в программе *Pathfinder 2018* (рисунок 3.32).

Время до начала эвакуации принято $t_{нэ}$ для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 1.2 и Ф 4.3 (приказ МЧС России № 382 от 30 июня 2009 года «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности»). Обобщенная структура путей эвакуации принята исходя из положений СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с изменением № 1) и других нормативных документов, содержащих требования к структуре эвакуационных путей в зданиях с объемно-планировочными решениями коридорного типа (таблица 3.24).

Таблица 3.24 Требования к структуре эвакуационных путей

Нормативный документ	Требования к структуре эвакуационных путей в зданиях класса ФПО 1.2 и 4.3					
	Помещения (не менее)		Коридоры (не менее)		Протяженность пути, м для класса С0/С1/С2-С3 (не более)	
	Высота, м	Ширина, м	Высота, м	Ширина, м	Здания гостиниц	Остальные здания
СП 1.13130.2012*	2	1,2	2	1,2	40/30/20	60/40/30 30/20/15
СНИП 21.01-97*	2	1,2	2	1,2	-	-
СП 118.13330.2012	3	1,2	3	1,2	40/30/20	60/40/30 30/20/15
СП 44.13330.2011	2,7/2,5/3,0	-	2,7/2,5/3,0	-	—	—
СП 54.13330.2011	2,7/2,5	1,4/1,6	2,7/2,5	1,4/1,6	—	—
СП 35-112-2005	2,7/3	—	2,7/3	—	—	—

Обобщенная схема движения людей при эвакуации с этажа представлена на рисунках 3.32.

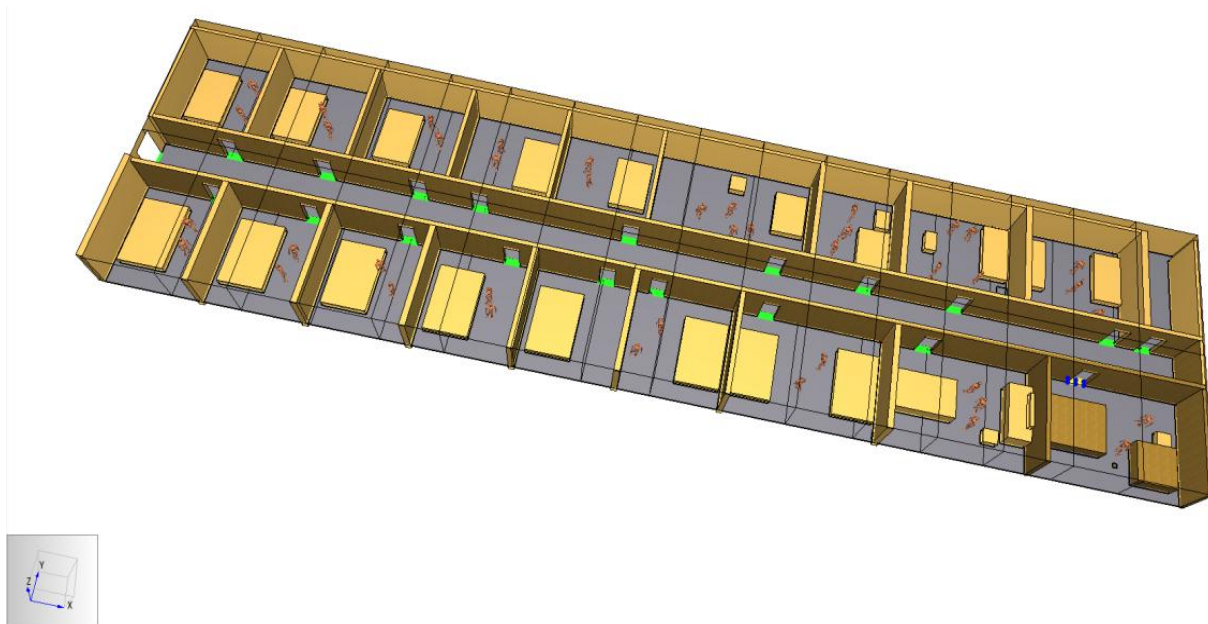


Рисунок 3.32 Представление процесса эвакуации
в программе *Pathfinder*

Расчетное время эвакуации было рассчитано с учетом нормативного времени начала эвакуации при применении систем оповещения и управления эвакуацией при пожаре 1–5 типов, и численности людей, которые могут находиться в помещениях этажа в расчете на квадратный метр.

Расчетные значения времени эвакуации с этажа здания представлены в таблице 3.25, время наступления критических значений ОФП в рассматриваемых помещениях – в таблице 3.26.

Таблица 3.25 – Результаты расчетного времени эвакуации

Результаты расчета времени эвакуации в программе <i>Pathfinder</i>			
Класс ФПО	Число людей, находящихся в помещениях [80]	Время начала эвакуации, мин [80]	Расчетное время эвакуации, мин
Ф 1.2	3-4 чел/м ²	2,0	2,66
		3,0	3,66
		6,0	6,66
Ф 4.3	6 м ² на 1 чел	1,5	2,23
		3,0	2,73
		6,0	5,73

Таблица 3.26 Время наступления критических значений ОФП (Ф 1.2/Ф 4.3) в рассматриваемых помещениях, с (расстояние до эвакуационного выхода 60 м)

Пожарная нагрузка	Расчетное время эвакуации, с	Расположение очага пожара	Видимость, м	Температура, С	Тепловой поток, кВт/м ²	HCl	O ₂	CO	CO ₂
			20						
ПВХ-покрытия	Коридор 60 м								
	159,4/133,6	Угол помещения	358/281	325/589	1121/925	375/312	508/632	765/830	1563/1323
		Центр пола	221/223	1334/567	1800/1080	249/365	902/432	554/612	1800/1759
НКП с ворсом на основе полиамида	Коридор 60 м								
	159,4/133,6	Угол помещения	220/189	534/617	868/1560	305/254	704/912	980/1160	—/—
		Центр пола	250/133	1734/206	796/657	294/213	654/206	698/725	-/1328
НКП с ворсом на основе полипропилена	Коридор 60 м								
	159,4/133,6	Угол помещения	262/229	561/412	963/1235	418/542	785/814	534/552	-/-
		Центр пола	261/217	378/380	526/511	353/267	339/325	520/631	1800/1138
НКП с ворсом на основе шерсти	Коридор 60 м								
	159,4/133,6	Угол помещения	294/242	602/437	1147/1568	334/315	906/802	645/713	-/-
		Центр пола	216/77	304/133	483/312	286/517	303/108	493/502	1608/913

*Примечание: знак «—/—» означает, что не были достигнуты предельные значения по одному из факторов.

3.5 Выводы по главе 3

1. При определении количественных параметров дымообразующей способности напольных покрытий при различной плотности падающего теплового потока было выявлено, что динамика изменения удельной оптической плотности дыма возрастает по мере увеличения теплового потока. Отмечена необходимость учета времени наступления максимального ослабления света в дымовой среде. Предложена характеристика дымообразующей способности с помощью интегрального исчисления зависимости оптической плотности дыма от времени.

2. При экспериментальном исследовании падающего теплового потока в зоне нахождения напольных покрытий (до 0,3 м) при помощи численного моделирования в программе *FDS* были определены критические значения теплового потока при симуляции горения исследованных материалов (НП на основе ПВХ, НКП с ворсом на основе полиамида, полипропилена, шерсти) в течение периода до наступления времени блокирования путей эвакуации. Отмечается, что максимальная величина теплового потока не превышает 15 кВт/м^2 в начальной стадии пожара.

3. С помощью математической модели эксперимента по оценке дымообразующей способности получены величины глобальных экстремумов функции максимального ослабления света в дымовой среде при воздействии тепловых потоков плотностью 15, 25, 35 кВт/м^2 для исследованных материалов НП. Сравнение с полученными данными численного эксперимента по величинам падающего теплового потока в зоне нахождения напольных покрытий показывает, что тепловое воздействие при лабораторном эксперименте может оказаться избыточным при исследовании потенциальной пожарной опасности материала НП.

4. Все вышесказанное позволяет сформировать предложения по актуализации нормативных документов в области оценки пожарной опасности напольных покрытий (обоснование внедрения метода испытания напольных

покрытий на способность распространять пламя по поверхности и образовывать дымовую среду с учетом построения временной зависимости ослабления света в дыму в режиме горения образца), а также предложения по применению расчетных критических величин падающего теплового потока для оценки пожарной опасности (способности к распространению пламени по поверхности) материалов, применяемых в коридорах и помещениях и определению предельно допустимых значений коэффициента дымообразования для группы материалов с высокой дымообразующей способностью.

ГЛАВА 4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОЖАРОБЕЗОПАСНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В ЗДАНИЯХ С ПЛАНИРОВКОЙ КОРИДОРНОГО ТИПА

4.1 Предложения по пожаробезопасному применению напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа

Для пожаробезопасного применения напольных покрытий следует устанавливать требования исходя из температурного режима пожара, который достигается в течение периода эвакуации, и до прибытия пожарных подразделений.

В общем случае пожарная опасность полимерных материалов определяется их склонностью к воспламенению и распространению процесса горения, возможными последствиями, наносящими ущерб здоровью и материальному благосостоянию человека. Для полной и адекватной оценки пожарной опасности материала необходимы количественные параметры, характеризующие происходящие процессы при пожаре.

Очевидно, что наиболее вероятными сценариями возникновения и развития пожара при участии полимерных напольных покрытий являются следующие варианты пожароопасных ситуаций:

1. Напольные покрытия выступают в роли источника возникновения пожара (например, воспламенение от малокалорийного источника зажигания).
2. Напольные покрытия воспламеняются от теплового воздействия фронта пламени/ нагретых конструкций.
3. Напольные покрытия способствуют распространению пожара в соседние помещения.

Все методы оценки пожароопасных свойств напольных покрытий должны соответствовать требованиям сопоставимости результатов, воспроизводимости и учитывать физико-химические процессы горения. Трудности возникают при применении результатов лабораторных исследований для прогнозирования поведения материала в реальных условиях пожара. Для того, чтобы полностью оценить степень пожарной опасности материала с учетом условий его конечного применения в помещении необходимо нахождение статистической корреляции результатов лабораторных испытаний с результатами натурных наблюдений, а также создание математической модели развития пожара.

При определении необходимых и достаточных условий пожаробезопасного применения напольных покрытий также необходимо уделить внимание тому факту, что полимерные материалы отделки помещений, в число которых входят напольные покрытия, составляют не более 10 % от общей пожарной нагрузки.

На рисунке 4.1 представлена усовершенствованная методологическая схема пожаробезопасного применения полимерных напольных покрытий (впервые разработана М.М. Казиевым, данный подход был развит далее в докторских диссертациях Б.Б. Серкова и Н.В. Смирнова (см. гл. 1)).

Представленная методологическая схема пожаробезопасного применения напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа учитывает ряд актуальных замечаний:

- определение области применения напольных покрытий должно основываться на анализе особенностей помещения возможного пожара (термогазодинамическая картина пожара, количество общей пожарной нагрузки, геометрические размеры помещения, особенности объемно-планировочных решений), т.е. расчете температурного режима пожара;
- необходимые и достаточные условия пожаробезопасного применения напольных покрытий должны быть определены исходя из параметрического подхода оценки пожарной опасности, при этом, целесообразно выделить количественные параметры, коррелирующие с динамикой пожара в помещении и характеризующие степень пожарной опасности напольных покрытий;
- критерии безопасности должны отвечать требованиям своевременной и безопасной эвакуации людей в безопасную зону.

Значимым критерием, позволяющим оценить возможность применения разных типов напольных покрытий в зданиях, является расчетное время эвакуации, t_e , при условии задания исходных данных для пожарной нагрузки, соответствующих конкретному типу материала. Невыполнение условий своевременной эвакуации позволяет сделать вывод о необходимости повышения требований пожарной безопасности к применению рассматриваемых типов напольных покрытий.

Для расчетов использовались результаты экспериментальных исследований различных полимерных материалов, входящих в состав напольных покрытий (ПВХ покрытия гомогенного и гетерогенного типов, напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена, полиамида, шерстяной пряжи), а также наиболее распространенная типовая планировка коридорного типа на примере этажа зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 1.2 и Ф 4.3.

По результатам обширного экспериментального исследования пожарной опасности напольных покрытий наибольшей степенью пожарной опасности обладают ворсовые напольные ковровые покрытия. Для развития пожароопасной ситуации наиболее благоприятными характеристиками обладают напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена. Подобные материалы не стоит применять на путях эвакуации в коридорах, а также в выставочных и зрительских залах вместимостью людей более 50 человек, если не выполняется условие, указанное выше (то есть материал не относится к классу КМ2).

Следует отметить тот очевидный факт, что напольные ковровые покрытия чаще всего эксплуатируются как второе напольное покрытие, то есть находятся поверх другого материала. Материал ворса прогорает при прямом тепловом воздействии, при этом создавая условия для воспламенения нижнего слоя покрытия. При достижении критического уровня накопленного тепла в нижнем слое напольных покрытий, будет происходить отдача тепла в верхние слои, что обусловит нагрев с двух сторон и ускорение распространения пламени, выделения дыма и токсичных веществ продуктов распада.



Рисунок 4.1 Методологическая схема пожаробезопасного применения полимерных напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа

Потому не следует при подобном использовании материалов для устройства пола применять для нижнего слоя материалы с количественными показателями пожароопасных выше, чем у верхнего коврового покрытия.

$$\begin{aligned} q_{\min} &\leq q_{kp}^{kn}, \\ D_{\max} &\leq D_{\max}^{kn}, \\ H_{cl50} &\leq H_{cl50}^{kn}, \\ Q_{\max} &\leq Q_{\max}^{kn} \end{aligned} \quad (4.1)$$

В данном случае величины q_{kp}^{kn} – критический тепловой поток, при котором материал не воспламеняется и не распространяет пламя, $D_{\max}^{kn}$ – удельная оптическая плотность дыма, H_{cl50}^{kn} – показатель токсичности продуктов горения, $Q_{\max}^{kn}$ – высшая теплотворная способность – относятся к коврам покрытиям.

Оценка дымообразующей способности должна основываться на определении таких критических показателей как максимальная удельная оптическая плотность отходящих газов, приведенная к массе образца, скорость изменения оптической плотности дыма и общее количество дыма, выделившееся в течение испытания.

$$D_{\max} = D \cdot V / m \cdot \delta, \quad (4.2)$$

где $D = \ln\left(\frac{I_0}{I_{\min}}\right)$, $\frac{I_0}{I_{\min}}$ – отношение интенсивности падающего пучка света

к интенсивности пучка света, прошедшего через слой дымовых газов;

- V – объем камеры измерений, m^3 ;
- m – масса образца, $г$;
- δ – длина оптического луча, $м$.

$$R = f(t) = dD / dt \quad (4.3)$$

где R – скорость изменения оптической плотности дыма, Нп/с.

t – время экспозиции, $с$.

$$A = \int_t^{t_{\min}} f(t) dt, \quad (4.4)$$

где A – общее дымовыделение, $Нп$.

Определение требуемых и предельно допустимых количественных параметров для пожаробезопасного применения напольных покрытий целесообразно осуществлять с учетом определяющих параметров: удельной пожарной нагрузки, площади выгорания, ориентации в пространстве (горизонтальная, $h_{\text{гор}} = 0$ м), объема помещения. Основным параметром, характеризующим потенциальную пожарную опасность материалов НП, является критический тепловой поток, при котором материал не распространяет пламя по поверхности и не воспламеняется. Данный параметр связан с условиями теплового воздействия газовой среды на отделку пола при пожаре. Предельные количественные значения определены как максимальные тепловые потоки, образуемые в зоне нахождения напольных покрытий в течение пожара и измеряемые в вертикальной секущей плоскости коридора (на расстоянии половины ширины коридора и предельной длины распространения пламени) напротив дверного проема помещения очага пожара. Предельная длина распространения пламени принята как минимальное расстояние между соседними помещениями (от геометрического центра дверного проема).

Предельно допустимые значения по дымообразующей способности и критической поверхностной плотности теплового потока, при которой напольное покрытие не способно распространять пламя по поверхности, представлены в таблице 4.1.

Для использования указанных выше предельно допустимых величин коэффициента дымообразования и критического теплового потока, необходимо понимать, что учет температурного режима пожара проводился без учета систем противопожарной защиты (системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре и противодымной защиты), так как рассматривался наихудший вариант развития пожара с участием материалов НП. Поэтому допустимо применять материалы НП в коридорах и помещениях, с учетом пожарной нагрузки, объема помещения, обладающие теми пожароопасными свойствами, которые изложены в нормативных документах, но с учетом выполнения защиты здания системами оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре и противодымной защиты, в случае их отсутствия по нормам (таблицы 4.2–4.5).

Таблица 4.1 – Предельно допустимые значения по дымообразующей способности $D_{\max}$ и критической поверхностной плотности теплового потока для применения НП в помещениях и коридорах, $q_{кр}$

Напольное покрытие	Допустимые значения по дымообразующей способности и $D_{\max}$, м ² /кг для материалов группы ДЗ	Предельно допустимая критическая плотность теплового потока, $q_{кр}$, кВт/м ²		Допустимые группы пожароопасных свойств
		Количественные значения, $q_{кр}$, кВт/м ²	Соответствие группе по распространению пламени (ГОСТ Р 51032–97)	
ПВХ покрытия гомогенного типа	≥ 500	≥ 6	РПЗ	ДЗ РП 3
ПВХ покрытия гетерогенного типа		≥ 6	РПЗ	
Напольные ковровые покрытия – ворс полипропилен	< 500	≥ 14	РП1	Д2 РП 1
Напольные ковровые покрытия – ворс полиамид	< 500	≥ 8	РП2	Д2 РП2
Напольные ковровые покрытия – ворс шерсть	< 500	≥ 6	РПЗ	Д2 РПЗ

Таблица 4.2 Определение условий применения систем противопожарной защиты для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 1.2

Время блокирования путей эвакуации, мин ($0,8 \cdot t_{бл}$)	Расчетное время эвакуации, мин			Практическое решение
	СОУЭ 3-5 типа	СОУЭ 1-2 типа	Не оборудовано СОУЭ	
Напольные покрытия ПВХ				
2,10	2,66	3,66	6,66	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида				
1,94	2,66	3,66	6,66	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена				
1,58	2,66	3,66	6,66	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти				
1,98	2,66	3,66	6,66	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ

Таблица 4.3 Определение условий применения систем противопожарной защиты для зданий класса функциональной пожарной опасности Ф 4.3

Время блокирования путей эвакуации, мин $(0,8 \cdot t_{\text{доп}})$	Расчетное время эвакуации, мин			Практическое решение
	СОУЭ 3-5 типа	СОУЭ 1-2 типа	Не оборудовано СОУЭ	
Напольные покрытия ПВХ				
2,57	2,23	2,73	5,73	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида				
2,14	2,23	2,73	5,73	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена				
1,76	2,23	2,73	5,73	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ
Напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти				
2,24	2,23	2,73	5,73	Применять СОУЭ 3-5 типа+СПДЗ

Таблица 4.4 Предложения по пожаробезопасному применению материалов НП в зданиях высотой не более 9 этажей (не более 28 м)

Помещение	Материалы напольных покрытий				
	ПВХ		Напольные ковровые покрытия		
	гом.типа	гет.типа	ПП ¹	ПА ²	Ш ³
Ф 1.2 Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов					
Общие коридоры, холлы, фойе	КМ3		КМ2		
Ф4.3 — Здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов					
Общие коридоры, холлы, фойе	КМ3		КМ2		
Примечания: ¹ – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена; ² – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида; ³ – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти					

Таблица 4.5 — Предложения по пожаробезопасному применению материалов НП в зданиях высотой более 9, но не более 17 (более 28 м, но не более 50 м)

Помещение	Материалы напольных покрытий				
	ПВХ		Напольные ковровые покрытия		
	гом.типа	гет.типа	ПП ¹	ПА ²	Ш ³
Ф 1.2 Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов					
Общие коридоры, холлы, фойе,	КМ3		КМ2		
Ф4.3 — Здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов					

Окончание таблицы 4.5

Общие коридоры, холлы, фойе	КМ2	КМ2
<i>Примечания:</i> ¹ – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полипропилена; ² – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе полиамида; ³ – напольные ковровые покрытия с ворсом на основе шерсти		

Количественные параметры, определенные в настоящей работе, можно внедрить в классификацию, изложенную в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности и другие нормативные документы, содержащие требования к определению допустимой области применения напольных покрытий.

4.2. ГОСТ Р ИСО 9239-1–2014

«Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность.

Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели»

Для решения задачи определения дымообразующей способности в динамике предложен метод испытаний, изложенный в ГОСТ Р ИСО 9239-1–2014. Основным и самым важным отличием разработанного стандарта является обоснование и введение возможности определять оптическую плотность дыма с помощью динамического контроля в вытяжной шахте выхлопной трубы в режиме пламенного горения образца.

Стандарт ГОСТ Р ИСО 9239-1-2014 «Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели». устанавливает метод испытания напольных покрытий на распространение пламени по поверхности и определения их дымообразующей способности. Нормативный документ разработан как идентичный международному стандарту *EN 9239-1:2010* «Реакция на огневые испытания напольных покрытий. Часть 1: Определение поведения при горении с помощью источника теплового излучения»

(EN ISO 9239-1:2010 «*Reaction to fire tests for floorings — Part 1: Determination of the burning behavior using a radiant heat source*»).

Сущность метода состоит в определении критической поверхностной плотности теплового потока, величину которого устанавливают по длине распространения пламени по образцу в результате воздействия теплового потока на его поверхность и в определении показателя, характеризующего оптическую плотность дыма, образующегося во время проведения испытания.

Метод испытания применим для всех напольных покрытий, таких как ковровые напольные покрытия, пробка, дерево, резина и пластиковые покрытия, а также для слоистых покрытий.

Опытный образец помещают в горизонтальном положении под зажигаемой газом панелью, излучающей тепло, наклоненной под углом 30° , так что на образец воздействует тепловой поток. Более нагретую часть образца подвергают воздействию пилотного пламени. После возгорания ведется наблюдение за каждым фронтом пламени и регистрируется горизонтальное продвижение пламени по длине образца. Фиксируют время, которое требуется пламени, чтобы продвинуться на определенное расстояние. Если нужно, регистрируют образование дыма посредством передачи света через продукты горения. Шесть образцов испытания размерами $(1\ 050 \pm 5)$ мм $\times$ (230 ± 5) мм, причем три образца испытания должны быть разрезаны в направлении изготовления и три образца испытания перпендикулярно направлению изготовления (рисунок 4.2).

Результаты выражают в значениях расстояния, на которое распространяется пламя за определенное время, критического теплового потока и оптической плотности дыма относительно времени. Определяются параметры распространения пламени (длина распространения пламени, КППТП – критическая поверхностная плотность теплового потока), а также время воспламенения образца; делается вывод о группе распространения материала с указанием величины КППТП. Также отмечают дополнительные наблюдения при испытании образца: выгорание, обугливание, плавление, вспучивание, усадка, расслоение, растрескивание, а также другие особые наблюдения при распространении пламени.

Стандарт состоит из следующих разделов:

- Область применения;
- Нормативные ссылки;
- Термины и определения;
- Оборудование для испытаний;
- Образцы для испытаний;
- Кондиционирование;
- Метод испытания;
- Обработка результатов;
- Протокол испытаний;
- Приложения.

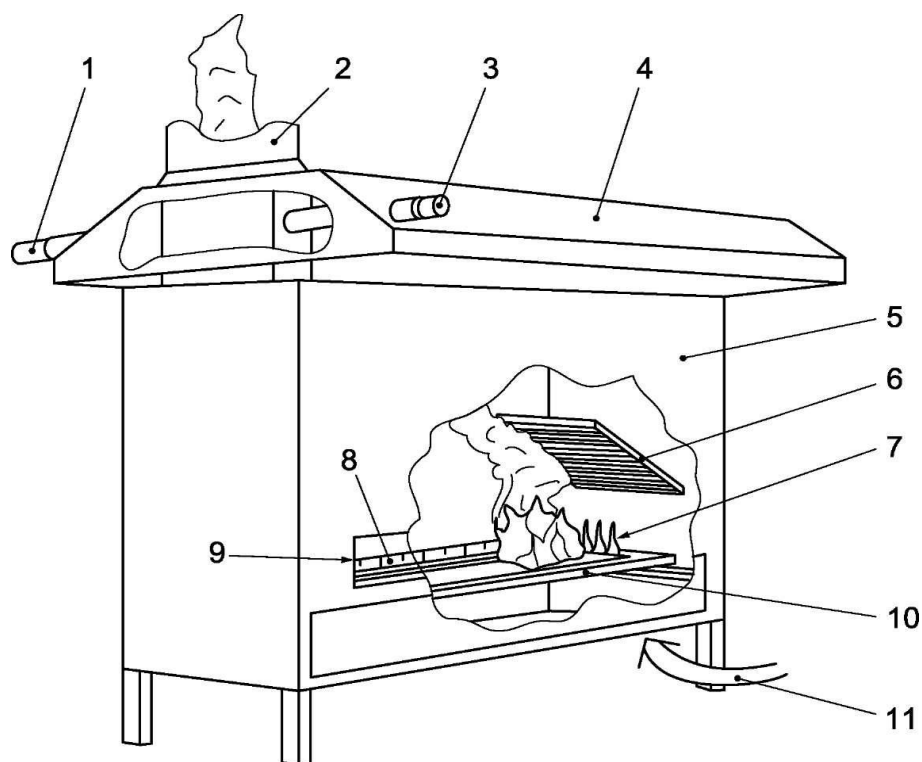


Рисунок 4.2 – Общий вид установки [22]:

- | | |
|--|---|
| 1. Лампа | 7. Пилотное пламя от линии горелок |
| 2. Вытяжка | 8. Линейка |
| 3. Приемник света | 9. Окно наблюдения |
| 4. Вытяжной зонт | 10. Держатель образца с образцом и со скользящей платформой |
| 5. Испытательная камера | 11. Доступ воздуха вокруг образца внизу камеры |
| 6. Поджигаемая газом излучающая панель | |

В Приложении А к нормативному документу [22] подробно описаны общие положения, устройство фотометрической системы, правила ее калибровки, способ измерения ослабления света во времени и оформления результатов испытаний.

На рисунке 4.3 представлена схема оптической системы, встроенной в вытяжной патрубок выхлопной трубы. Система состоит из приемника и источника света (коллимированный пучок монохроматического света).

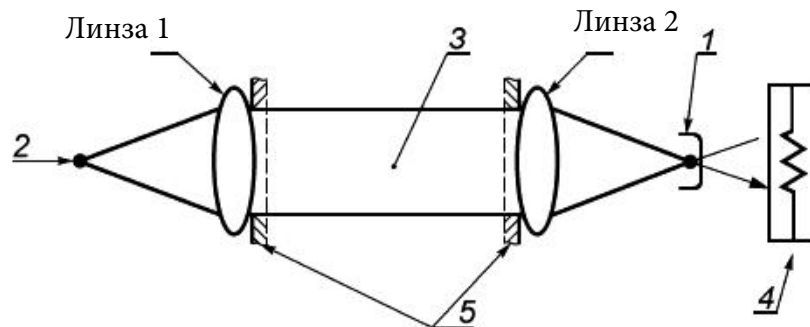


Рисунок 4.3 Оптическая система [22]:

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. Диафрагма | 4. Приемник света |
| 2. Лампа | 5. Стенки дымохода |
| 3. Дымовой поток | |

Результаты представляются в виде зависимости оптической плотности дыма от времени до момента фиксации максимального предельного значения ослабления света в дымовой среде, движущейся в дымоходе. Применяется термин «светопропускание», измеряемое в процентах. Итоговый параметр рассчитывается как интеграл полученной функции оптической плотности дыма от времени, выраженный в (процент $\times$ мин), что может являться дополнительным количественным параметром опасности исследуемого материала НП в части его дымообразующей способности.

4.3 Выводы по главе 4

1. Для пожаробезопасного применения материалов НП в зданиях с планировкой коридорного типа (на примере зданий класса ФПО 1.2

и 4.3) определены предельно допустимые значения параметров пожарной опасности (критическая плотность теплового потока, приведенная оптическая плотность дыма при термическом разложении материала) для различных типов напольных покрытий (ПВХ гомогенного типа, ПВХ гетерогенного типа, напольные ковровые покрытия (НКП) с ворсом на основе полиамида, полипропилена, шерсти). При следующих параметрах пожарной опасности: для ПВХ покрытий гомогенного и гетерогенного типов $D_{max} \geq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 6 \text{ кВт}/\text{м}^2$; НКП с ворсом на основе полипропилена $D_{max} \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 14 \text{ кВт}/\text{м}^2$; НКП с ворсом на основе полиамида $D_{max} \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 8 \text{ кВт}/\text{м}^2$; НКП с ворсом на основе шерсти $D_{max} \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 6 \text{ кВт}/\text{м}^2$;

2. Нормативный документ ГОСТ Р 9239-1-2014 «Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели», содержащий метод оценки пожарной опасности напольных покрытий, предложен в качестве актуализации нормативно-технической документации в области оценки количественных параметров дымообразующей способности напольных покрытий (с помощью вычисления определенного интеграла распределения оптической плотности дыма во времени).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе выполнен аналитический обзор современных методов исследования основных пожарно-технических характеристик и исторических аспектов их совершенствования, сформулированы научные обобщения предпосылок для совершенствования существующих подходов к определению необходимых и достаточных условий безопасного применения НП в зданиях в условиях пожара;

2. Выполнен анализ научных обоснований по определению количественных параметров (критическая поверхностная плотность теплового потока, удельная оптическая плотность дыма) и их предельных величин, образующих классы пожарной опасности материалов, представленные в Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности, а также методологических подходов к определению нормативных требований к применению материалов НП в помещениях с учетом температурного режима пожара, удельной пожарной нагрузки, возможной площади выгорания и геометрических размеров помещения;

3. По результатам экспериментальных исследований различных типов напольных покрытий разработан комплекс математических моделей, позволяющих определить расчетное значение меры ослабления света в дыму при термическом разложении материала с учетом величины плотности теплового потока (в диапазоне от 15 до 35 кВт/м²) и технических характеристик материала (толщина, поверхностная плотность, высота ворса для напольных ковровых покрытий);

4. Установлен характер изменения оптической плотности дыма во времени для прогнозирования скорости дымовыделения для исследуемых материалов полимерных напольных покрытий;

5. Исследовано распределение падающего теплового потока по высоте и длине стены, находящейся напротив дверного проема помещения очага пожара; установлено, что в течение начальной стадии пожара плотность падающего

теплового потока, образуемая в зоне нахождения напольных покрытий (расстояние до 0,3 м), не превышает 15 кВт/м^2 ;

6. Определены предельно допустимые значения параметров пожарной опасности (критическая плотность теплового потока, приведенная оптическая плотность дыма при термическом разложении материала) для пожаробезопасного применения материалов НП в зданиях с планировкой коридорного типа (на примере зданий класса функциональной пожарной опасности 1.2 и 4.3) для различных типов напольных покрытий (ПВХ гомогенного типа, ПВХ гетерогенного типа, напольные ковровые покрытия (НКП) с ворсом на основе полиамида, полипропилена, шерсти), а именно: для ПВХ покрытий гомогенного и гетерогенного типов $D_{max} \geq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 6 \text{ кВт/м}^2$; НКП с ворсом на основе полипропилена $D_{max} \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 14 \text{ кВт/м}^2$; НКП с ворсом на основе полиамида $D_{max} \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 8 \text{ кВт/м}^2$; НКП с ворсом на основе шерсти $D_{max} \leq 500 \text{ м}^2/\text{кг}$; $q_{кр} \geq 6 \text{ кВт/м}^2$;

7. Разработаны предложения по актуализации нормативно-технических документации в области методологии оценки пожарной опасности НП (разработан национальный стандарт ГОСТ Р 9239-1-2014 «Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика: учебное руководство для вузов [Текст] / Г.Н. Абрамович. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1991. – 600 с.
2. Адлер, Ю.П., Маркова, Е.В., Грановский, Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 275 с.
3. Александров, Г.С. Исследование потоков лучистой энергии при пожаре в помещении [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Александров Геннадий Владимирович. – М., 1973. – 217 с.
4. Алексащенко, А.А., Кошмаров, Ю.А., Молчадский, И.С. Тепломассоперенос при пожаре [Текст] / А.А. Алексащенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский. – М.: Стройиздат, 1982. – 173 с.
5. Алехин, Е.М., Григорьева, М.П., Константинова, Н.И., Ерёмина, Т.Ю. Расчетно-аналитический метод оценки дымообразующей способности напольных покрытий [Текст] // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 5. – С. 98-102.
6. Асеева, Р.М., Заиков, Г.Е. Горение полимерных материалов [Текст] / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М.: Наука, 1981. – 280 с.
7. Астапенко, В.М., Кошмаров, Ю.А., Молчадский, И.С., Шевляков, А.Н. Термодинамика пожаров в помещениях [Текст] / В.М. Астапенко, Ю.А. Кошмаров, И.С. Молчадский и др.; под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 488 с.
8. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы [Текст] / пер. с англ. / Х. Грин, В. Лейн; под ред. д-ра хим. наук Н.А. Фукса. – Л.: Химия. Ленингр. отделение, 1969. – 426 с.
9. Баратов, А.Н., Андрианов, Р.А., Корольченко, А.Я., Михайлов, Д.С., Ушков В.А., Филин Л.Г. Пожарная опасность строительных материалов

[Текст] / А.Н. Баратов, Р.А. Андрианов, А.Я. Корольченко и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 388 с.

10. Басов, К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

11. Батищев, А.А., Волков, А.В., Карант, А.Д. Современное здание. Конструкции и материалы [Текст] / А.А. Батищев, А.В. Волков, А.Д. Карант и др. – СПб: Новое, 2006. – 620 с.

12. Блохин, А.В. Теория планирования эксперимента. Курс лекций в двух частях [Текст] / А.В. Блохин. – М.: Электронная книга БГУ, 2003. – 68 с.

13. Братчер, Е., Парнэлл, А. Опасность дыма и дымозащита [Текст] / пер. с англ. Е. Ш. Фельдмана. – М.: Стройиздат, 1983. – 153 с.

14. Бугер, П. Оптический трактат о градации света [Текст] / пер. Н.А. Толстого, П.П. Феофилова. – Л: Изд-во АН СССР, 1950. – 479 с.

15. Введение в динамику пожаров [Текст] / Д. Драйздейл; пер. с англ. К. Г. Бомштейна; под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. – М.: Стройиздат, 1990. – 420 с.

16. Виноградов, В.В. Самошин, В.В. Газо- и дымообразование при термоокислительном разложении и горении полимерных материалов [Текст] / В.В. Виноградов, В.В. Самошин // Пожарная опасность веществ и технологических процессов: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1988 – С. 56–58.

17. ГОСТ 12.044.1–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 100 с.

18. ГОСТ 21793–76. Пластмассы. Метод определения кислородного индекса [Текст]. – М., 1976. – 14 с.

19. ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 33 с.

20. ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1998. – 18 с.

21. ГОСТ Р 54081–2010 (МЭК 60721-2-8:1994) Воздействие природных внешних условий на технические изделия. Общая характеристика. Пожар [Текст]. – М., 2011. – 32 с.
22. ГОСТ Р 9239-1–2014. Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2014. – 31 с.
23. Григорьева, М.П., Константинова, Н.И., Ерёмина, Т.Ю. Исследование дымообразующей способности напольных покрытий [Текст] // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – № 3. – С. 25–31.
24. Григорьева, М.П., Константинова, Н.И., Ерёмина, Т.Ю. Динамические параметры дымообразующей способности полимерных напольных покрытий [Текст] // Материалы международной конференции «Полимерные материалы пониженной горючести». – Алматы, 2017. – С. 98–102.
25. Григорьева, М.П., Константинова, Н.И., Ерёмина, Т.Ю. К вопросу об оценке дымообразующей способности напольных покрытий [Текст] / М.П. Григорьева, Н.И. Константинова, Т.Ю. Ерёмина // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – № 8. – С 34–42. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.08.34-42
26. Ерёмина, Т.Ю., Константинова, Н.И., Григорьева, М.П. Методология оценки характеристик пожарной опасности напольных покрытий в России и странах ЕС [Текст] / Т.Ю. Ерёмина, Н.И. Константинова, М.П. Григорьева // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2014. – № 2. – С. 33–37.
27. Ермаков, С.М. Математическая теория планирования эксперимента [Текст] / С.М. Ермаков. – М: Наука, 1983. – 392 с.
28. Есин, В.М., Кошмаров, Ю.А., Попов, П.Н. Метод расчета движения продуктов горения по зданию при пожаре [Текст] / В.М. Есин, Ю.А. Кошмаров, П.Н. Попов // Пожарная профилактика: сб. трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1981. – С. 79–80.

29. Зельдович, Я.Б. Теория зажигания накалиной поверхностью [Текст] / Я.Б. Зельдович // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1939. – Т. 9. – Вып. 12. – С. 1530–1534.
30. Зотов, Ю.С. Расчет времени потери видимости при задымлении помещений [Текст] / Ю.С. Зотов. // Безопасность людей при пожарах: сб. научных трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1986. – С. 45–50.
31. Казиев, М.М. Обоснование предельно допустимой пожароопасности отделочных материалов для коридоров (на примере зданий гостиниц) [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Казиев Махач Магомедович. – М.: Академия ГПС МЧС России, 1988. – 160 с.
32. Кодолов В.И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов [Текст] / В.И. Кодолов. – М.: Химия, 1976. – 160 с.
33. Константинова, Н.И. Огнезащита текстильных материалов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Константинова Наталья Ивановна. – М., 2004. – 263 с.
34. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения [Текст] / А.Я. Корольченко. Д.А. Корольченко – М.: Пожнаука, 2004. – Ч. 1. – 713 с.
35. Корольченко, А.Я., Трушкин, Д.В. Пожарная опасность строительных материалов [Текст] / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. – М.: Пожнаука, 2005. – 232 с.
36. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении [Текст]: учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
37. Кулёв, Д.Х., Млынский, В.И., Марченко, В.А. Морфологические свойства дисперсной фазы дыма при горении полимерных материалов [Текст] / Д.Х. Кулёв, В.И. Млынский, В.А. Марченко // Безопасность людей при пожарах: сб. научн. тр. – М: ВНИИПО МВД СССР, 1984. – С. 100–107.
38. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена [Текст] / С.С. Кутателадзе. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Атомиздат, 1979. – 416 с.

39. Ландышев, Н.В. Обоснование требований пожарной безопасности при проектировании путей эвакуации из производственных помещений с учетом динамики задымления [Текст]: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Ландышев Николай Владимирович. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 24 с.
40. Ланкастер, П. Теория матриц [Текст] / П. Ланкастер. – М.: Наука, 1973. – 280 с.
41. Лоули, Д., Максвелл, А. Факторный анализ как статистический метод [Текст] / Д. Лоули, А. Максвелл. – М.: Мир, 1967. – 144 с.
42. Меркушкина, Т.Г., Зотов, Ю.С. Определение критического уровня задымленности [Текст] / Т.Г. Меркушкина, Ю.С. Зотов. // Безопасность людей при пожарах: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1984. – С. 85–91.
43. Молчадский, И.С. Методика определения температурного режима пожара в помещениях зданий различного назначения [Текст]. – М.: ВНИИПО МВД России, 1988. – 56 с.
44. Молчадский, И.С. Пожар в помещении: производственно-практическое издание [Текст] / И.С. Молчадский. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2005. – 456 с.
45. Молчадский, И.С., Зернов, С.И. Определение продолжительности начальной стадии пожара [Текст] / И.С. Молчадский, С.И. Зернов // Пожарная профилактика: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1981. – С. 26–46.
46. Муртаф, Б. Современное линейное программирование [Текст] / Б. Муртаф. – М.: Мир, 1984. – 224 с.
47. Новицкий, П.В., Зограф, И.А. Оценка погрешности результатов измерений [Текст] / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
48. НПБ-244–97. Материалы строительные. Декоративно-отделочные и облицовочные материалы. Материалы для покрытия полов. Кровельные, гидроизоляционные и теплоизоляционные материалы. Показатели пожарной опасности [Текст]. – М., 1997. – 10 с.

49. Отчет 6011-1-РЗ. Данные для расчета видимости [Текст]. – Екатеринбург.: СИТИС, 2007. – 33 с. – Непубл. документ.
50. Патанкар, С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости [Текст] / С.В. Патанкар; пер. с англ. под ред. В.Д. Виленского. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 150 с .
51. Пожарная опасность строительных материалов [Текст] / А.Н. Баратов, Р.А. Андрианов, А.Я. Корольченко и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
52. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник – М.: ВНИИПО МЧС России, 2004. – 135 с.
53. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2005. – 135 с.
54. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2006. – 137 с.
55. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2007. – 137 с.
56. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2008. – 137 с.
57. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2009. – 135 с.
58. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. – 140 с.
59. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2011. – 137 с.
60. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2012. – 137 с.
61. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2013. – 137 с.
62. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2014. – 124 с.

63. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2015. – 124 с.
64. Пожары и пожарная безопасность. Статистический сборник [Текст]. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2016. – 124 с.
65. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещениях и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности: монография [Текст] / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
66. Пузач, С.В. Трехмерное математическое моделирование начальной стадии пожара в помещении [Текст] / С.В. Пузач // Инженерно-физический журнал. – 2001. – Т. 73. – № 3. – С. 621–626.
67. Ройтман, М.Я. Методика испытания огнестойкости строительных материалов неорганического происхождения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ройтман Мирон Яковлевич. – Л., 1944. – 212 с.
68. Румшицкий, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное пособие [Текст] / Л.З. Румшицкий. – М: Наука, 1971. – 192 с.
69. Рыбанин, С.С. К теории распространения пламени по поверхности горючего материала [Текст] / С.С. Рыбанин // Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 268, № 4. – С. 915–918.
70. Рыбанин, С.С., Соболев, С.Л. Скорость и пределы горения конденсированного вещества при теплообмене с инертной средой [Текст] / С.С. Рыбанин, С.Л. Соболев // Физика горения и взрыва. – 1989. – Т. 25, № 2. – С. 8–15.
71. Савельев, П.С. Пожары и катастрофы [Текст] / П.С. Савельев. – М.: Стройиздат, 1983. – 432 с.
72. Самошин, Д.А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Самошин Дмитрий Александрович. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – 357 с.

73. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016616715 «Программа для расчета параметров пожарной опасности полимерных материалов с применением методов факторного анализа» [Текст] / Алехин Е.М., Григорьева М.П. – опубл. 17 июня 2016 г. – 1 с.
74. Семенов, Н.Н. Зельдович, Я.Б. Теория горения и детонации газов. [Текст]. – М.: Академия наук СССР ИХФ, 1944. – 70 с.
75. Семенов, Н.Н. Цепные реакции [Текст] / Н.Н. Семенов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 1986. – 535 с.
76. Серков, Б.Б. Пожарная опасность полимерных материалов, снижение горючести и нормирование их пожаробезопасного применения в строительстве [Текст]: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук: 05.26.03 / Серков Борис Борисович. – М. Академия ГПС МЧС России, 2001. – 49 с.
77. Смирнов, Н.В. Прогнозирование пожарной опасности материалов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Смирнов Николай Васильевич. – М., 2002. – 273 с.
78. СНИП 21.01–97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – М., 2007. – 38 с.
79. СНиП 3.04.01–87. Изоляционные и отделочные покрытия [Текст]. – М., 1988. – 119 с.
80. СП 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с изменением № 1) [Текст]. – М., 2010. – 47 с.
81. СП 29.13330.2011. Полы. Актуализированная редакция СНиП 2.03.13–88 [Текст]. – М., 2012. – 69 с.
82. СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник. [Текст]. – М.: Ситис, 2014. – 51 с.
83. Сполдинг, Д.С. Основы теории горения [Текст] / Д.С. Сполдинг; пер. с англ. Л.А. Клячко, М.П. Самозванцева; под ред. Д.Н. Вырубова. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 320 с.

84. Теплотворная и дымообразующая способность пластифицированного ПВХ [Текст] / В.А. Ушков, Б.И. Булгаков, Д.Х. Кулев и др. // Пластические массы. – 1986. – № 8. – С. 47–49.

85. Тимошенко, В.Н. Расчет необходимого времени эвакуации людей из помещений по повышенной температуре среды [Текст] / В.Н. Тимошенко. // Безопасность людей при пожарах: сб. науч. трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1986. – С. 78–84.

86. Трушкин, Д.В. Оценка пожарной опасности строительных материалов на основе анализа динамических характеристик. I. Оценка горючести и дымообразующей способности [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – Т. 11, № 6. – С. 32–37.

87. Трушкин, Д.В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение воспламеняемости, дымообразующей способности, способности к распространению пламени по поверхности и токсичности продуктов сгорания строительных материалов [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23, № 6. – С. 31–37.

88. Трушкин, Д.В. Совершенствование методологии оценки пожарной опасности строительных материалов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Трушкин Дмитрий Владимирович. – М., 2004. – 162 с.

89. Трушкин, Д.В., Аксенов, И.М. Проблемы определения дымообразующей способности строительных материалов [Текст] / Д.В. Трушкин, И.М. Аксенов // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – № 4. – С. 3–8.

90. Турков, А.С. Безопасность людей при пожарах. Становление системно-вероятностной концепции и методологии [Текст] / А.С. Турков. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – С. 22–31.

91. Турков, А.С. О нормировании дымообразующей способности строительных материалов [Текст] / А.С. Турков // Противодымная защита

многоэтажных зданий: сб. научных трудов. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1976. – С. 61–69.

92. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Текст]. – Новосибирск: изд-во Сиб. унив., 2008. – 144 с.

93. Фёрстер, Э., Рёнц, Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов [Текст] / Э. Фёрстер, Б. Рёнц; пер. с нем. и пред. В.М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.

94. Франк-Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий. – М.: Наука, 1967. – 492 с.

95. Халтуринский, Н.А., Попова, Т.В., Берлин, А.А. Горение полимеров и механизм действия антипиренов [Текст] // Успехи химии. – 1984. –Т. 53. – Вып. 2. – С. 326–409.

96. Хитрин, Л.Н. Физика горения и взрыва [Текст] / Л.Н. Хитрин. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

97. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 712 с.

98. Энциклопедия полимеров. Т. 2. Основы химии и технологии химических волокон [Текст] / З.А. Роговин – 4-е изд. – М., 1974. – С. 722–727.

99. ASTM D2859–2016. Standard Test Method for Ignition Characteristics of Finished Textile Floor Covering Materials [Текст]. – West Conshohocken: ASTM International, 2016. – 4 p.

100. ASTM E1678–2015. Standard Test Method for Measuring Smoke Toxicity for Use in Fire Hazard Analysis [Текст]. – West Conshohocken: ASTM International, 2015. – 15 p.

101. Atreya, A. Ignition of fires [Текст]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1998. – P. 2787–2813.

102. Atreya, A., Baum, H.R. A model for opposed flow flame spread over charring materials [Текст]. Proceedings of the Combustion Institute. – 2002. – Vol. 29. – P. 227–236.

103. Byström, A. Compartment Fire Temperature: Calculations and Measurements [Текст]. Doctoral thesis. – Luleå: Luleå University of Technology, 2017. – 222 p.
104. Carlos, J. Hilado. Flammability Handbook for Plastics. – 5th ed. [Текст]. – Florida, CRC Press, 1998. – 326 p.
105. Craig, G. Weinschenk Kristopher, J. Overholt Daniel Madrzykowski Simulation of an Attic Fire in a Wood Frame Residential Structure [Текст]. NIST Technical Note 1838. – Chicago, 2014. – P. 39.
106. De Ris, J., Cheng, X.F. The Role of Smoke-Point in Material Flammability Testing [Текст]. Proceedings of the 4th International Symposium on Fire Safety Science. – Ottawa, 1994. – P. 301–312.
107. Dhabbah, Abdulrhman M. Ways of Analysis of Fire Effluents and Assessment of Toxic Hazards [Электронный ресурс]. – 2015. – Vol. 5. – No. 1. Режим доступа: http://file.scirp.org/pdf/JASMI_2015021713084939.pdf (дата обращения 28.05.2015). DOI: 10.4236/jasmi.2015.51001.
108. Di Blasi C., Modeling and simulation of combustion processes of charring and non- charring solid fuels [Текст]. Progress in Energy and Combustion Science. – 1993. – Vol. 19. – P. 71–104.
109. EN 13501–1:2007+A1:2009. Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2009. – 56 p.
110. EN 9239–1:2010. Reaction to fire tests for floorings. Part 1: Determination of the burning behavior using a radiant heat source [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2010. – 36 p.
111. EN ISO 1182:2010. Reaction to fire tests for products. Non-combustibility test [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2010. – 42 p.
112. EN ISO 11925–2010. Reaction to fire tests. Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame. Part 2: Single-flame source test. [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2011. – 34 p.

113. EN ISO 1716:2010. Reaction to fire tests for products. Determination of the gross heat of combustion (calorific value) [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2010. – 34 p.
114. FCRC-PR 99-02. Fire Performance of floors and floor coverings. Project Report [Текст]. Fire Code Research Reform Program. – Sydney, 1999. – 122 p.
115. Fernandez-Pello, A. Williams, F.A. Laminar flame spread over PMMA surfaces [Текст]. 15th Symp. (Int.) on Combustion. – Pittsburgh, PA: The Combustion Inst., 1975. – P. 217–231.
116. Fire and rescue incident statistics: England, year ending September 2017 [Текст]. – National statistics, Statistical Bulletin. – 2018. – No. 4. – 21 p.
117. Fire and Smoke. Understanding the Hazards [Текст]. – Washington, National Academy of Sciences, 1986. – 166 p.
118. Fire in the United States 2006-2015 [Текст]. – FEMA. – 2017. – 19th Edition. – 99 p.
119. Fire Toxicity [Текст] / Ed. by A.A. Stec, T.R. Hull. – Sawston: Wood head Publishing Limited, 2010. – 728 p.
120. Gaskill, J.R. Smoke development of plastics under various fire parameters [Текст]. Soc. Plast. Eng. 30th Annu. Techn. Conf., Part 1. – Chicago, 1972. – P. 264–275.
121. Graham S. Cowles. Review of the Fire Performance of Floor Coverings [Текст]. Conference paper no. 67 of 6th International Conference and Exhibition. – San Antonio, 1999. – 14 p.
122. Gross, D., Loftus, J.J., Robertson, A.F. Method for Measuring Smoke from Burning Materials [Текст]. Symposium of Fire Test Methods–Restraint and Smoke. – West Conshohocken: American Society for Testing Materials, 1967. – P. 166–204.
123. Hirschler, M.M. Smoke and Heat Release and Ignitability as Measures of Fire Hazard from Burning of Carpet Tiles [Текст]. Fire Safety Journal. – 1992. – Vol. 18. – P. 305–324.
124. Horrocks, A.R., Price, D. Fire retardant materials [Текст]. – Boston: Woodhouse Publishing Ltd., 2001. – P. 366–368.

125. Incropera F.P., De Witt, D.P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer [Текст]. – 4th ed. – New York: John Wiley and Sons, 1996. – P. 11, 15.
126. International Building Code 2015 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://codes.iccsafe.org/public/document/toc/542/> (дата обращения 28.08.2017).
127. ISO 13344–2015. Determination of the lethal toxic potency of fire effluents [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2015. – 24 p.
128. ISO 13571–2012. Life-threatening components of fire. Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2012. – 21 p.
129. ISO 19706–2011. Guidelines for assessing the fire threat to people [Текст]. – London, BSI Standards Publication, 2012. – 24 p.
130. ISO 9705–1:2016. Reaction to fire tests. Room corner test for wall and ceiling lining products. Part 1: Test method for a small room configuration [Текст]. – Geneva, 2016. – 42 p.
131. Johansson, P., Axelsson, J., Hertzberg, T. The influence of floor materials on in room fires [Текст]. Fire Technology, SP Report 2007:29. – Sweden, Boras: SP Technical Research Institute, 2007. – 37 p.
132. Jowsey, A. Fire imposed heat fluxes for Structural analysis [Текст]. Thesis Phd. – Edinburgh: The University of Edinburgh, 2006. – 406 p.
133. Kawagoe, K., Sekine, T. Estimation of Fire Temperatures-Time Curves in Rooms [Текст]. BRI Occasional Report. – 1963. – №. 11. – P. 23.
134. *L. Randall Lawson* A History of Fire Testing [Текст]. NIST Technical Note 1628. – U.S. Department of Commerce Building and Fire Research Laboratory Gaithersburg, MD 20899-8661, 2009 – 50 p.
135. Lennon, T., Moore, D. The Natural Fire Safety Concept. FullScale Tests at Cardington [Текст]. Fire Safety Journal. – 2003. – Vol. 38. – P. 623–643.
136. Lie, T.T. Fire Temperature-Time Relations [Текст]. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. – NFPA, Quincy Massachusetts, 2002. – P. 4-201-4-208.

137. Ma, Z., Makelainen, P. Parametric Temperature-Time Curves of Medium Compartment Fires for Structural Design [Текст]. Fire Safety Journal. – 2000. – Vol. 34. – P. 361–375.
138. Magnusson, S., Thelandersson, S. Temperature-Time Curves of Complete Process of Fire Development [Текст]. ACTA Polytechnica Scandinavica, Civil Engineering and Building Construction. – 1970. – № 65. – P. 182.
139. Masson, L. The Use of an Instrumented Steel Billet to Measure Incident Heat Flux [Текст]. – Ulster: University of Ulster, 2003. – 221 p.
140. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 6) Technical Reference Guide [Текст]. – NIST Special Publication 1018, 2013. – P. 340.
141. NF P92-501–1995. Safety against fire. Building materials. Reaction to fire tests. Radiation test used for rigid materials, or for materials on rigid substrates (flooring and finishes) of all thicknesses, and for flexible materials thicker than 5 mm [Текст]. – Paris: Association Française de Normalisation, 1995. – 26 p.
142. Östman, B. A-L, Mikkola, E. European fire tests for floorings [Текст]. Proceedings of the Interflam '96. – London : Interscience Communications e, 1996. – P. 819.
143. Paul, K, Hull, T Richard, Lebek, K, Stec, A.A. Fire smoke toxicity: The effect of nitrogen oxides [Текст]. Fire Safety Journal. – 2008. – Vol. 43 (4). – P. 243–251.
144. Peacock, R.D.; Davis, S.; Lee, B.T. An Experimental Data Set for Accuracy Assessment of Room Fire Models [Текст]. – U.S.A., National Bureau of Standards, 1988. – 128 p.
145. Pettersson, O., Magnusson, S., Thor, J. Fire Engineering Design of Steel Structures [Текст]. Division of Structural Mechanics and Concrete Construction. – 1976. – Bulletin 52. – P. 232
146. Purser, D.A. The Evolution of Toxic Effluents in Fires and the Assessment of Toxic Hazard [Текст]. Toxicology Letters. – 1992. – Spec. no. 247–255. – P. 64–65. DOI: 10.1016/0378-4274(92)90196-Q

147. Purser, D.A. Validation of Additive Models for Lethal Toxicity of Fire Effluent Mixtures [Текст]. Polymer Degradation and Stability. – 2012. – Vol. 97, is. 12. – P. 2552–2561. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.07.009-2012

148. PyroSim User Manual. Thunderhead Engineering Consultants, Inc. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.thunderheadeng.com/downloads/pyrosim/PyroSimManual.pdf> (дата обращения 17.06.2016).

149. Quintiere, I. Factors Influencing Fire Spread over Room Linnings and the ASTM E 84 Tunnel Test [Текст]. Fire and Materials. – 1985. – Vol. 9. – No 2. – P. 65–74.

150. Quintiere, I.G. The application of flame spread theory to material performance [Текст]. Proceeding of a joint one day meeting of the Combustion Physics Group and the Polymer Physics Group with The Combustion Institute (British Section). – London, 1988. – Vol. 93. – No. 1. – P. 61–70.

151. Quintiere, J.G. A characterisation and analysis of NBS corridor fire experiments in order to evaluate the behaviour and performance of floor covering materials [Текст]. National Bureau of Standards, NBSIR, 1975. – P. 691.

152. Ris, J. De Spread of a laminar diffusion flame [Текст]. Twelfth Symp. (Intern.) on Combustion. – Pittsburg, PA: The Combustion Inst., 1969. – P. 241–249.

153. Ris, J. De, Orloff, L. The Role of Buoyancy direction and radiation and in turbulent duffusion flames on surfaces [Текст]. Proceedings of the Combustion Institute. – 1979. – Vol. 15(1). – P. 175–182

154. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Technology & Engineering [Текст] / Morgan J. Hurley, Daniel T. Gottuk, John R. Hall Jr. etc. – 4th ed. – New York: Springer, 2015. – 3493 p.

155. Smoke Component Yields from Bench-Scale Fire Tests: 1. NFPA 269 / ASTM E 1678 [Текст]. NIST Technical Note 1760. – Gaithersburg, NIST, 2013. – 65 p.

156. Spalding, D.B. Older and newer approaches to the numerical modeling of turbulent combustion [Текст]. 3-rd International Conference on Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines. – London: IMochE, 1996. – P. 25–37.

157. Suzuki, M., Hirano, T.A Study on Flame Spread over Charring Materials [Текст], Fire and Explosion Hazard of Substances and Venting of Deflagration. Proceedings of the Second International Seminar. – Moscow, 1997. – P. 249.
158. Troitzsch, J. Plastics Flammability Handbook [Текст]. Principles, Regulations, Testing, and Approval. – 3rd ed. – Munich: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2004. – 774 p. DOI: 10.3139/9783446436695.
159. Welch, S., Rubini, P. Simulations of Fires in Enclosures, User Guide [Текст]. – Cranfield: Cranfield University, 1996. – 340 p.
160. Wichman, I.S. Theory of opposed-flow flame spread [Текст]. Prog. Energy Combust. Sci. – 1992. – Vol. 18. – P. 553–593.
161. Wichman, I.S., Williams, F.A. A Simplified Model of Flame Spread in an Opposed Flow along a Flat Surface of a Semi-infinite Solids [Текст]. Combustion Science and Technology. – 1983. – Vol. 32. – P. 91.
162. Williams, F.A. Mechanisms of fire spread [Текст]. Sixteenth Symp. (Intern.) on Combustion. – Pittsburgh, PA: The Combustion Inst., 1976. – P. 1281–1294.

Приложение А

(обязательное)

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ

Врио начальника
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
Д.М. Гордиенко
«02» _____ 2016 г.

**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**

результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
Григорьевой Маргариты Петровны

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук сотрудника Академии ГПС МЧС России Григорьевой М.П. на тему «Пожаробезопасное применение напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа» были использованы при разработке национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9239-1 «Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели» (идентичен EN 9239-1:2010) в соответствии с Программой разработки национальных стандартов России на 2013-2014 гг. и планом работ ТК 274 «Пожарная безопасность» в части обоснования введения динамического контроля дымовыделения при испытании напольных покрытий на пожарную опасность.

Председатель комиссии:
главный научный сотрудник НИЦ НТП ПБ
д.т.н., с.н.с.

И.Р. Хасанов

Члены комиссии:
главный научный сотрудник НИЦ НТП ПБ
д.т.н., профессор

Н.В. Смирнов

Ведущий научный сотрудник НИЦ НТП ПБ
к.т.н.

В.В. Булгаков

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника
университета по научной работе
Т.М. Мусиенко
« 06 » 09 2016 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
Григорьевой Маргариты Петровны

Комиссия в составе: председателя – начальника центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности, кандидата педагогических наук, доцента Мамедова Н.М., членов комиссии – старший научный сотрудник отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности, кандидат технических наук Филиппова А.Г., профессора кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения, кандидата технических наук, доцента Кутузова В.В.

составила настоящий акт о том, что «Рекомендации по применению программы для оценки соответствия строительных и отделочных материалов требованиям пожарной безопасности», разработанные в рамках решения задач диссертационной работы Григорьевой М.П., внедрены в учебный процесс ФГБОУ Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России и используются в лекциях по дисциплине «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре»

Председатель комиссии:



Мамедов Н.М.

Члены комиссии:



Филиппов А.Г.



Кутузов В.В.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФАУ «Федеральный центр
нормирования, стандартизации и
технической оценки соответствия
в строительстве», к.э.н.


А.В. Михеев
“ 2016 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
Григорьевой Маргариты Петровны

Настоящим подтверждается, что результаты диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук сотрудника Академии ГПС МЧС России Григорьевой М.П. на тему «Пожаробезопасное применение напольных покрытий в зданиях с планировкой коридорного типа», заключающиеся в обосновании критических и предельно допустимых значений пожароопасных свойств напольных покрытий в коридорах, были использованы ФАУ ФЦС для практической оценки обоснованности пожарно-технических характеристик напольных покрытий на полимерной основе, включаемых в тексты нормативных документов в области строительства.

Использование указанных результатов позволило повысить качество утверждаемых Министром России нормативно-технических документов в области пожарной безопасности в строительстве.

Председатель комиссии:

Советник директора ФАУ ФЦС

д.т.н., профессор



Ю.М. Глуховенко

Члены комиссии:

Начальник отдела



Т.А. Петрова

Главный специалист, к.т.н.



С.А. Ступников