

**Министерство Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий**

**Академия Государственной противопожарной службы**

*На правах рукописи*



**Мироненко Роман Владимирович**

**ОГРАНИЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА  
ЧЕРЕЗ МНОГОСВЕТНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ ПО ЗДАНИЯМ  
ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(отрасль строительство, технические науки)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук, доцент  
Кирюханцев Евгений Ефимович

Москва – 2017

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ПРОБЛЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ЗДАНИЯМ ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ С МНОГОСВЕТНЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ (АТРИУМЫ) .....	12
1.1 Особенности пожарной безопасности торгово-развлекательных центров....	12
1.2 Особенности многосветных помещений (атриумы) в зданиях торгово-развлекательных центров .....	19
1.3 Проблемы ограничения распространения пожара по зданиям с многосветными помещениями (атриумы) .....	22
1.3.1 Проблемы применения противопожарных зон для ограничения распространения пожара по зданиям .....	24
1.3.2 Проблемы применения светопрозрачных перегородок для ограничения распространения пожара по зданиям .....	30
1.4 Выводы по первой главе.....	34
ГЛАВА 2 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРА ЧЕРЕЗ МНОГОСВЕТНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ (АТРИУМ).....	35
2.1 Пожарная нагрузка в помещениях магазинов торгово-развлекательных центров .....	36
2.2 Выбор и обоснование модели развития пожара и исходных данных для расчета.....	38
2.2.1 Обоснование исходных данных для моделирования стадий пожара.....	44
2.2.2 Обоснование исходных данных для моделирования пожарной нагрузки в помещении магазина одежды .....	46
2.2.3 Обоснование геометрической модели многосветного помещения (атриум) и помещения магазина одежды .....	48
2.3 Обоснование критерия воспламенения материалов.....	51
2.4 Обоснования критерия разрушения светопрозрачного заполнения в виде закаленного стекла.....	55

2.5 Обоснование модели воздействия от двух независимых источников лучистого теплового потока.....	56
2.6 Алгоритм по выбору необходимой ширины многосветного помещения (атриум).....	56
2.7 Результаты моделирования пожара в помещении магазина одежды .....	59
2.8 Выводы по второй главе.....	60
<b>ГЛАВА 3 УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА ОТ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МНОГОСВЕТНОМ ПОМЕЩЕНИИ (АТРИУМ).....</b>	<b>61</b>
3.1 Характеристика пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум).....	61
3.2 Теоретические основы распространения пожара по многосветному помещению (атриум) .....	67
3.3 Экспериментальное определение параметров пламени при горении объектов островковой торговли .....	68
3.3.1 Выбор исходных данных для проведения натурального эксперимента.....	68
3.3.2 Методика проведения эксперимента .....	70
3.3.3 Интегральная интенсивность излучения пламени .....	73
3.3.4 Геометрические характеристики пламени .....	80
3.4 Результаты моделирования горения объекта островковой торговли .....	84
3.5 Результаты моделирования совместного действия лучистого теплового потока от пожара в магазине одежды и горения объекта островковой торговли .....	85
3.6 Выводы по третьей главе .....	86
<b>ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ ОСТЕКЛЕННОЙ ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ ЗАКАЛЕННОГО СТЕКЛА НА УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА ЧЕРЕЗ МНОГОСВЕТНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ (АТРИУМ).....</b>	<b>88</b>
4.1 Теоретические основы влияния падающего теплового потока на закаленное стекло.....	88
4.2 Экспериментальное определение коэффициентов .....	89
4.2.1 Методика проведения эксперимента .....	95

4.2.2 Алгоритм обработки экспериментальных данных .....	95
4.2.3 Результаты обработки экспериментальных данных .....	97
4.3 Математическая модель прогрева закаленного стекла с учетом поглощенного теплового потока .....	100
4.4 Определение ширины многосветного помещения (атриум) с учетом светопрозрачной перегородки со светопрозрачным заполнением из закаленного стекла.....	104
4.5 Вывод по четвертой главе .....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	109
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	111
Приложение А Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа по обработке данных, полученных при моделировании пожара полевой модели» .....	129
Приложение Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа по расчету углового коэффициента облученности фактического факела пламени».....	130
Приложение В Текст программного кода для передатчика .....	131
Приложение Г Текст программного кода для приемника .....	136
Приложение Д Акты внедрения .....	140

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Трудно представить современный город без крупных торгово-развлекательных центров (далее – центры).

Центры – это, как правило, многофункциональные здания с многосветными помещениями (атриумы) большой площадью, в которых находятся помещения различных классов функциональной пожарной опасности.

В данной работе под многосветным помещением понимается внутренний единый объем, объединяющий несколько этажей. По мнению автора, помещение можно называть атриумом при наличии в указанном объеме естественного освещения.

Анализ пожаров в зданиях центров в России и за рубежом показал, что, несмотря на небольшое количество пожаров в целом, в таких зданиях пожары характеризуются большой площадью и человеческими жертвами.

Современные центры давно вышли за рамки нормативных величин площадей этажей пожарных отсеков [3].

Согласно новому нормативному документу, разработанному Минстроем России, «Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования», при делении зданий центров на пожарные отсеки вместо противопожарных стен 1 типа можно использовать противопожарные зоны без пожарной нагрузки шириной не менее 8 м.

Функции противопожарной зоны может выполнять объемно-планировочное решение в виде многосветного помещения (атриум), делящее здание на части по всей длине и высоте здания центра.

Однако следует помнить, что при эксплуатации зданий в многосветных помещениях (атриумы) не редко размещают различную пожарную нагрузку, создавая условия распространения пожара по всему зданию. Наиболее часто пожарная нагрузка в многосветных помещениях (атриумы) представлена в виде объектов

островковой торговли. К объектам островковой торговли относятся киоски и ларьки островковой торговли.

В ранее проведенных работах [37, 38, 39] по изучению проблем обеспечения пожарной безопасности зданий центров вопрос использования многосветных помещений (атриумов) в виде противопожарных преград не рассматривался.

Данная тема становится актуальной в связи с тем, что центры являются одним из привлекательных направлений привлечения инвестиций в бизнесе, поэтому максимально эффективное использование площади таких центров (в том числе и зоны многосветных помещений (атриумы)) в дальнейшем будет только расти.

Настоящая диссертационная работа посвящена проблемам изучения характера развития пожара через многосветное помещение (атриум) и поиску новых научно-обоснованных путей предупреждения этого явления. Исследования, проведенные автором диссертации, направлены на развитие теоретических основ и получения новых экспериментальных данных, научно-обосновывающих требования к ширине многосветного помещения (атриума) с нахождением в нем пожарной нагрузки.

**Степень разработанности:** Проблеме научного обоснования требований к зданиям многофункционального назначения, в частности к зданиям центров, посвящены работы таких ученых, как: В. И. Присадков, В. В. Лицкевич, С. В. Пузач, А. В. Федоринов, С. П. Харченко, И. В. Костерин, Д. Г. Пронин, И. Р. Хасанов, А. В. Гомозов, Е. Е. Кирюханцев, Е. А. Мешалкин. Н. Park, В. J. Meacham, G. D. Lougheed, N. A. Dembsey, M. Goulthorpe и другие.

В работах этих авторов рассмотрены вопросы по созданию методов оценки пожарной опасности зданий многофункционального назначения, а именно: для зданий центров с многосветным помещением (атриум) на основе оценки распространения опасных факторов пожара, эвакуации людей при пожаре и вероятности потери несущей способности основных несущих конструкций при пожаре. Однако проблема распространения пожара через многосветное помещение (атриум) не рассматривалась.

**Целью работы** является повышение пожарной безопасности зданий центров с многосветными помещениями (атриумы) путем ограничения распространения пожара через многосветное помещение (атриум) при наличии в нем пожарной нагрузки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

– провести анализ строящихся и проектируемых зданий центров с многосветными помещениями (атриумы) и выявить наиболее распространенные схемы объемно-планировочных решений;

– на основе натурных обследований зданий центров с многосветными помещениями (атриумы) выявить вид, способы размещения и значение удельной пожарной нагрузки;

– разработать методику и программно-аппаратный комплекс для экспериментальных исследований параметров горения объектов островковой торговли (пожарной нагрузки);

– разработать методику и стенд для экспериментальных исследований пропускающей, поглощающей и отражающей способностей закаленного стекла от падающего теплового потока;

– обосновать требование к ширине многосветного помещения (атриум), ограничивающее распространение пожара.

**Объект исследования:** Обеспечение пожарной безопасности в торговоразвлекательных центрах с многосветными помещениями (атриумы).

**Предмет исследования:** Процесс распространения пожара через многосветные помещения (атриумы).

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Получены новые данные по высоте пламени при горении объекта островковой торговли в центрах.

2. Впервые получено значение интегральной интенсивности излучения пламени при горении объекта островковой торговли в центрах.

3. Получены уточненные данные по коэффициентам пропускающей и поглощающей способности закаленного стекла.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается:

– в создании научных предпосылок для нормирования требований пожарной безопасности к ширине многосветного помещения (атриум), выполняющего роль противопожарной преграды, как к элементу системы обеспечения пожарной безопасности здания центра с многосветным помещением (атриум);

– в разработке алгоритма, позволяющего обосновать необходимую ширину многосветного помещения (атриум), ограничивающего распространения пожара из одной части здания в другую при нахождении в нем пожарной нагрузки в виде объекта островковой торговли.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач автором диссертационной работы проводились теоретические и экспериментальные исследования.

Основу теоретических исследований составляли методы математического моделирования с применением программных комплексов Excel, COMSOL Multiphysics, Wolfram Mathematica моделирование распространения пожара по полевой модели, реализованной в программе *FDS* (Fire Dynamic Simulator).

Основу экспериментальных исследований составляли натурные и лабораторные эксперименты.

**Положения, выносимые на защиту:**

– методика и результаты экспериментов по исследованию параметров пламени горящей пожарной нагрузки в виде островковой торговли в объеме многосветного помещения (атриум);

– методика и результаты экспериментов по исследованию способности закаленного стекла пропускать, поглощать и отражать лучистый тепловой поток;

– результаты математического моделирования горения объекта островковой торговли для определения ширины многосветного помещения (атриум), удовлетворяющего условию нераспространения пожара по тепловому потоку;



– оценка достаточности ширины многосветного помещения (атриум), препятствующей распространению пожара из одной части здания в другую при нахождении в нем пожарной нагрузки в виде объекта островковой торговли.

**Степень достоверности и апробация результатов**, представленных в диссертации, достигалась:

– использованием в экспериментальных исследованиях современных поверенных измерительных приборов и измерительной аппаратуры, обеспечивающих достаточную точность измерений;

– использование валидированных и верифицированных программных комплексов;

– внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей.

**Основные результаты работы доложены на:**

– 4-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015);

– 18-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (г. Москва, МГСУ, 2015);

– 24-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Системы безопасности – 2015» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2015);

– 5-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016);

– 19-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (г. Москва, МГСУ, 2016);

– Днях науки научно-практических мероприятий проведенных с 23 по 27 мая 2016 года на базе Уральского института ГПС МЧС России «Актуальные про-

блемы обеспечения безопасности в Российской Федерации» (г. Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России, 2016);

– 7-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (г. Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2016);

– 25-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Системы безопасности – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016);

– 5-й Международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017);

– 6-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2017» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2017);

– 20-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (г. Москва, МГСУ, 2017);

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 3 статьи – в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2 – свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Материалы диссертации реализованы при разработке:**

– проекта на строительство торгово-развлекательного комплекса по адресу: Московская область, г. Павловский Посад, 1-ая Пушкинская ул.;

– специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности для объекта капитального строительства: Многофункционального торгового центра «Лосино-Петровский Пассаж» по адресу Московская область г. Лосино-Петровский, ул. Первомайская, возле котельной № 3;

– специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности для объекта капитального строительства: Многофункциональный

центр с автостоянками открытого и крытого типа и сопутствующей инфраструктурой, по адресу: г. Москва, в районе д. Мешкова, участок № 14/1;

– специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности для объектов капитального строительства «Парка развлечений», расположенного по адресу: г. Москва, Нагатинская пойма, участок № 1;

– фондовых лекций по дисциплине «Пожарная безопасность в строительстве» на тему «Противопожарные преграды» и дисциплине «Экспертиза пожарной безопасности» на тему «Противопожарная защита уникальных зданий» в учебном процессе Академии ГПС МЧС России.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 145 страницах текста, включает в себя 11 таблиц, 76 рисунков, список литературы из 155 наименований, приложения на 17 страницах.

## ГЛАВА 1

**ПРОБЛЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА  
ПО ЗДАНИЯМ ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ  
С МНОГОСВЕТНЫМИ ПОМЕЩЕНИЯМИ (АТРИУМЫ)**

### 1.1 Особенности пожарной безопасности торговых развлекательных центров

В настоящее время очень трудно представить современный город без торговых развлекательных центров, они стали неотъемлемой частью мегаполисов России.

Торгово-развлекательные центры – это, как правило, общественные здания многофункционального назначения [2] с массовым пребыванием людей, с расположением в них помещений различных классов функциональной пожарной опасности [3, 4].

Центры являются одним из привлекательных направлений для привлечения в России инвестиций в бизнес, поэтому строительство подобных зданий в дальнейшем будет только расти. Данные утверждения были подтверждены исследованиями (рисунок 1.1) [5].

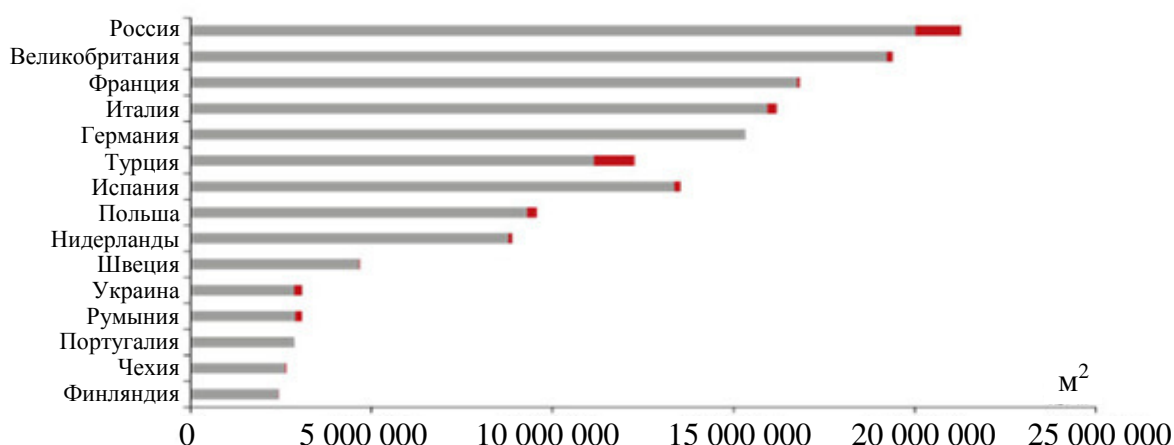


Рисунок 1.1 – Объем торговых площадей центров в европейских странах [5]:

■ – объем торговых площадей, 1 полугодие 2016 г.;

■ – планируемый объем ввода, 2 полугодие 2016 г.

Типичные планировочные решения зданий центров представлены на рисунках 1.2 и 1.3.



Рисунок 1.2 – Типичный внешний вид торгово-развлекательных центров и комплексов [6]



Рисунок 1.3 – Типичный внутренний вид торгово-развлекательных центров и комплексов [7]

Наиболее часто в центрах встречаются следующие сочетания помещений (групп помещений) с классами функциональной пожарной опасности:

- Ф2.1 (кинотеатры) (рисунок 1.4);
- Ф2.2 (выставочные и танцевальные залы) (рисунок 1.5);
- Ф3.1 (магазины) (рисунок 1.6);
- Ф3.2 (рестораны, кафе, фудкорты) (рисунок 1.7);
- Ф3.6 (фитнес-центры, развлекательные зоны для детей и взрослых, аквапарки) (рисунок 1.8);
- Ф3.5 (предприятия бытового обслуживания) (рисунок 1.9);
- Ф4.3 (зоны административных помещений и офисов) (рисунок 1.10);
- Ф5.2 (складские помещения арендаторов, стоянки для автомобилей) (рисунок 1.11).



Рисунок 1.4 – Помещение кинотеатра [8]



Рисунок 1.5 – Помещение выставочного зала [9]



Рисунок 1.6 – Помещение магазина одежды [10]



Рисунок 1.7 – Фудкорт [11]



Рисунок 1.8 – Часть помещения фитнес-центра [12]





Как видно из приведенного выше перечня классов помещений по функциональной пожарной опасности, в таких зданиях пожарная нагрузка разнообразна как по содержанию, так и по значениям удельной пожарной нагрузки.

Так же следует отметить, что к особенностям центров можно отнести массовое скопление людей, неравномерность распределения людей и наличие различных групп мобильности населения в здании.

В целом деятельность центров представляет собой совокупность услуг по организации торговли, общественного питания, бытового обслуживания, культурно-развлекательного досуга и т. д. [16]. Основная деятельность в центрах заключается в организации торговли и досуга.

В России наибольшее распространение получили 2–4 этажные здания центров.

Массовое строительство современных зданий центров в России началось около 10 лет назад, поэтому в России пока еще нет полной статистики по пожарам в подобных зданиях [4, 17, 18].

В таблице 1.1 приведены данные о крупных пожарах в зданиях центров в мире и их последствия.

Таблица 1.1 – Данные о крупных пожарах в зданиях центров и их последствия

№ п/п	Дата пожара	Город (страна)	Площадь пожара, м <sup>2</sup>	Количество пострадавших, чел.	Количество погибших, чел.
1	11.06.2005	Ухта (Россия)	500	10	25
2	26.02.2005	Тайчжун (Тайвань)	400	-	2
3	28.10.2009	Тольятти (Россия)	300	2	1
4	13.03.2009	Дакка (Бангладеш)	400	30	7
5	05.01.2009	Бангкок (Таиланд)	500	47	1
6	26.08.2011	Харбин (Китай)	400	-	3
7	16.01.2011	Уфа (Россия)	300	15	2
8	07.09.2012	Бали (Индонезия)	300	50	-
9	28.05.2012	Дохи (Катар)	400	-	19

Окончание таблицы 1.1

№ п/п	Дата пожара	Город (страна)	Площадь пожара, м <sup>2</sup>	Количество пострадавших, чел.	Количество погибших, чел.
10	27.02.2013	Калькутта (Индия)	500	50	18
11	08.08.2013	Киров (Россия)	600	–	–
12	13.07.2013	Всеволожск (Россия)	300	–	–
13	07.07.2013	Екатеринбург (Россия)	400	–	–
14	06.07.2013	Москва (Россия)	700	–	–
15	24.05.2013	Краснодар (Россия)	200	1	–
16	10.04.2013	Владивосток (Россия)	700	–	–
17	02.04.2013	Черемхово (Россия)	1200	–	–
18	11.03.2013	Барнаул (Россия)	500	–	–
19	08.02.2013	Иркутск (Россия)	200	–	–
20	02.02.2013	Владивосток (Россия)	300	–	–
21	01.01.2013	Владикавказ (Россия)	800	–	–
22	29.12.2014	Тверь (Россия)	400	3	-
23	25.12.2014	Оренбург (Россия)	400	1	1
24	29.10.2014	Саров (Россия)	3000	–	–
25	16.08.2014	Санкт-Петербург (Россия)	200	–	–
26	11.08.2014	Реж (Россия)	1200	–	–
27	03.05.2014	Владимир (Россия)	500	1	–
28	18.03.2014	Кострома (Россия)	350	–	–
29	05.02.2015	Москва (Россия)	200	1	–
30	11.03.2015	Казань (Россия)	4000	70	17

Как видно из данных таблицы 1.1, крупные пожары в зданиях центров имеют большой разброс по размерам площади пожара, в среднем она составляет около 400–500 м<sup>2</sup>, что соответствует стадии развитого пожара.

## 1.2 Особенности многосветных помещений (атриумы) в зданиях торгово-развлекательных центров

Основным объемно-планировочным решением в центрах стало устройство атриума (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Примеры часто встречаемых атриумов  
в торгово-развлекательных центрах России [3]

Проектирование атриумов стало необходимым в центрах не только с точки зрения архитектурной привлекательности, но прежде всего с позиции управления сбыта продукции и оказания услуг, что в условиях современной экономики является основной задачей любого владельца или арендатора.

Основные типы атриумов по месту расположения представлены на рисунке 1.13.

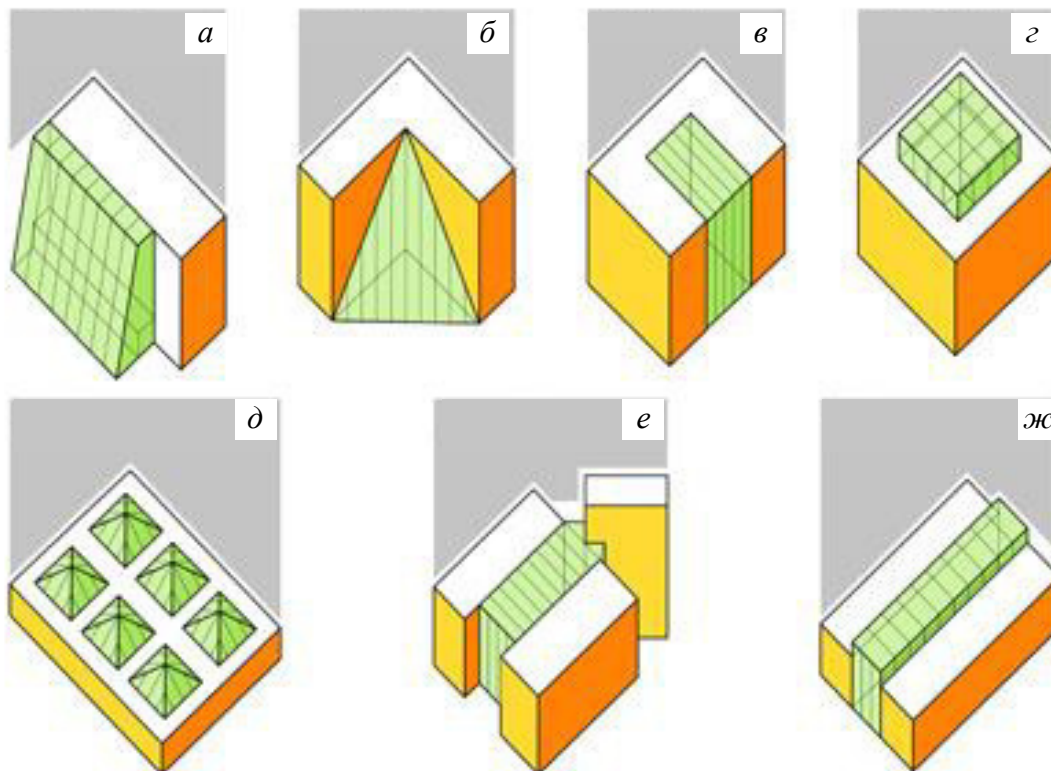


Рисунок 1.13 – Типы атриумов по месту расположения:

*а* – одностенный, оранжерейного типа; *б* – двухстенный;  
*в* – трехстенный; *г* – четырехстенный; *д* – система множества из одноуровневых атриумов;  
*е* – атриум, соединяющий несколько зданий; *ж* – галерея

Широкое распространение в России в ТРЦ получили атриумы галерейного типа, устроенные на всю длину и высоту здания, с продольным расположением помещений (в основном – магазины) на галереях.

Слово *атриум* вызывает сегодня определенные опасения как у проектировщиков, так и у представителей надзорных структур. Причина такого настороженного отношения заключается в отсутствии в нормативно-правовых актах и нормативных документах по пожарной безопасности такого понятия (атриум).

Согласно книге Р. Саксона «Атриумные здания», атриум с греческого переводится как внутренний входной дворик, в более широком смысле – входное пространство, развитое по вертикали [8].

Для дальнейшей работы необходимо определиться с термином *атриум*. В нормативных документах по пожарной безопасности в России и зарубежных

странах присутствуют определения данного термина [20–27]. Обобщив изложенные трактовки определения этого слова, возможно сформулировать следующее:

*Атриум – часть здания в виде многосветного помещения с естественным освещением, поэтажными галереями, на которые выходят помещения различного назначения.*

Под многосветным помещением понимается часть здания, объединяющая в единый объем два и более этажа при помощи устройства проемов в междуэтажных перекрытиях.

Как видно из сформулированного определения, атриум – это частный случай многосветного помещения.

Из определений, представленных в источниках [20–27], можно сделать вывод, что атриумы бывают вертикально и горизонтально развитые, открытого и закрытого типов.

На основе этих определений была разработана классификация многосветных помещений и атриумов, которая представлена на рисунке 1.14



Рисунок 1.14 – Классификация многосветных помещений

В дальнейшем понятия *атриум* и *многосветное помещение* будут употребляться вместе, так как эти понятия сходны.

### **1.3 Проблемы ограничения распространения пожара по зданиям с многосветными помещениями (атриумы)**

Пожарная безопасность зданий центров может быть обеспечена двумя способами при выполнении:

- обязательных требований пожарной безопасности, установленных действующими нормативными документами;
- требований пожарной безопасности, установленных специальными техническими условиями (далее – СТУ) по обеспечению пожарной безопасности, при этом пожарный риск не должен превышать допустимых значений.

Как показывает практика проектирования, обеспечение пожарной безопасности зданий центров вызывает определенные затруднения. Эти затруднения связаны с тем, что не существует единых подходов в решении проблем в обеспечении пожарной безопасности многофункциональных зданий с расположением в них помещений различных классов функциональной пожарной опасности. Современные центры давно вышли за рамки установленных нормами [1] величин площадей этажей пожарных отсеков. Кроме того, деление зданий центров традиционным способом с помощью противопожарных стен 1 типа невозможно из-за особенностей объемно-планировочных и конструктивных решений (устройства многосветных помещений (атриумы)), новых маркетинговых технологий (технологии продажи товаров) и по другим причинам.

Деление на пожарные отсеки в основном направлено на ограничение распространения пожара по зданию [3]. Есть два подхода при делении здания на пожарные отсеки: по допустимой площади пожарного отсека и по функциональной пожарной опасности помещений [3, 29]. Второй подход реализовать в зданиях центров невозможно из-за особенностей объемно-планировочных решений и маркетинговых технологий. Однако по первому подходу в расчете пожарного риска напрямую не учитывается площадь пожарного отсека, т. е. пожарный риск, со-

гласно СТУ, является недостаточным обоснованием по увеличению площади этажа пожарного отсека.

Можно отметить, что в настоящее время обеспечение пожарной безопасности зданий центров регламентируются СТУ.

В свою очередь, обоснование необходимых требований пожарной безопасности в СТУ и при построении системы обеспечения пожарной безопасности в зданиях центров может опираться на расчетные методы.

На каждое здание центра должна разрабатываться конкретная система обеспечения пожарной безопасности (далее – СОПБ) [28] с учетом всех особенностей конкретного центра.

В свою очередь СОПБ в соответствии с техническим регламентом [28] подразделяется на три подсистемы (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Схема системы обеспечения пожарной безопасности

Деление на пожарные отсеки, согласно нормам в регламенте [28], производится противопожарными стенами и перекрытиями 1 типа, с помощью которых обеспечивается нераспространение пожара за пределы пожарного отсека. Деление здания на пожарные отсеки относится к системе противопожарной защиты. Противопожарные стены являются противопожарными преградами. Согласно определению противопожарных преград, данного в технических документах [28, 30],

к ним могут относиться объемные элементы здания или иные инженерные решения, предназначенные для предотвращения распространения пожара.

В практике проектирования противопожарной защиты здания существует возможность замены проектных решений, предусмотренных по нормативным требованиям, на альтернативные. Данный способ на основе компромисса в западных англоязычных странах получил название *trade-off* [31]. Основная идея альтернативных замен заключается в том, чтобы выбранное решение могло быть применено вместо другого без снижения уровня пожарной безопасности. Эффективность альтернативной замены должна подтверждаться натурными испытаниями либо расчетными методами, которые базируются на моделировании процесса распространения пожара по конкретному зданию.

### **1.3.1 Проблемы применения противопожарных зон для ограничения распространения пожара по зданиям**

Можно сделать предположение, что противопожарную стену 1 типа возможно заменить на объемный элемент здания или иное инженерное решение, которое будет выполнять ее функцию и обеспечивать нераспространение пожара за пределы пожарного отсека на каком-то временном интервале. Однако данные замены не оговорены в документе [28], но присутствуют в нормативном документе [32]. В соответствии с нормативным документом [32] противопожарную стену допускается заменять на противопожарную зону шириной не менее 8 м без размещения в ее пределах пожарной нагрузки.

Противопожарной зоной может быть многосветное помещение (атриум), которое, как правило, располагается на всю длину и высоту здания центра.

Проведенные исследования в Новой Зеландии по обеспечению пожарной безопасности в различных зданиях с многосветными помещениями (атриумы) показали, что достаточно ширины 6 м, чтобы пожар не распространился через многосветное помещение (атриум) в другую часть здания [33].



Особенность многосветных помещений (атриумы) в зданиях центров заключается в том, что часто пожарная нагрузка увеличивается за счет новогодних елок, рекламных баннеров, островковой торговли и предметов интерьера, так как собственник здания стремится максимально полезно использовать площадь здания.

Использование противопожарной зоны в виде многосветного помещения (атриум) без учета возможности появления в нем пожарной нагрузки не является правильным. Далее будет приведен расчетный способ, учитывающий наличие пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум) при определении необходимой ширины многосветного помещения (атриум), ограничивающей распространение пожара через него.

В России и в ряде зарубежных стран активно развивается направление по созданию систем обеспечения пожарной безопасности на основе расчетных методик, получившее название *функционально-ориентированное проектирование*. В России данное направление получило название *гибкое нормирование* [3, 31, 34–37].

Разработкой расчетных методов для проектирования эффективной СОПБ в России посвящены работы таких ученых как В. В. Лицкевич, В. И. Присадков, Д. Г. Пронин, И. Р. Хасанов, А. В. Гомозов, Е. Е. Кирюханцев, Е. А. Мешалкин и другие, а зарубежом Н. Park, В. J. Meacham, G. D. Lougheed, N. A. Dembsey, M. Goulthorpe и другие.

Стоит отметить работы следующих авторов: А. В. Федоринова [37], С.П. Харченко [38] и И. В. Костерина [39], которыми впервые была поставлена проблема обеспечения пожарной безопасности в зданиях с многосветными помещениями (атриумы) и в зданиях многофункционального назначения. В работах этих авторов были рассмотрены вопросы, имеющие отношение к созданию методов оценки пожарной опасности зданий многофункционального назначения, в частности для зданий центров с многосветным помещением (атриум) на основе распространения опасных факторов пожара, эвакуации людей при пожаре. Однако проблема деления зданий центров с многосветным помещением (атриум) на пожарные отсеки не рассматривалась.

Для дальнейшего рассмотрения многосветного помещения (атриум), как элемента противопожарной преграды в виде объемного элемента здания и моделирования ситуации с развитием пожара, надо определиться со сценариями распространения пожара.

Проанализировав более 20 различных планировок центров с многосветными помещениями (атриумы), были разработаны 3 основных сценария:

1. Пожар происходит в помещении с одной стороны многосветного помещения (атриум), и за счет лучистого теплового потока огонь может перейти на помещение, расположенное с противоположной стороны многосветного помещения (атриум). Схема сценария представлена на рисунке 1.16.

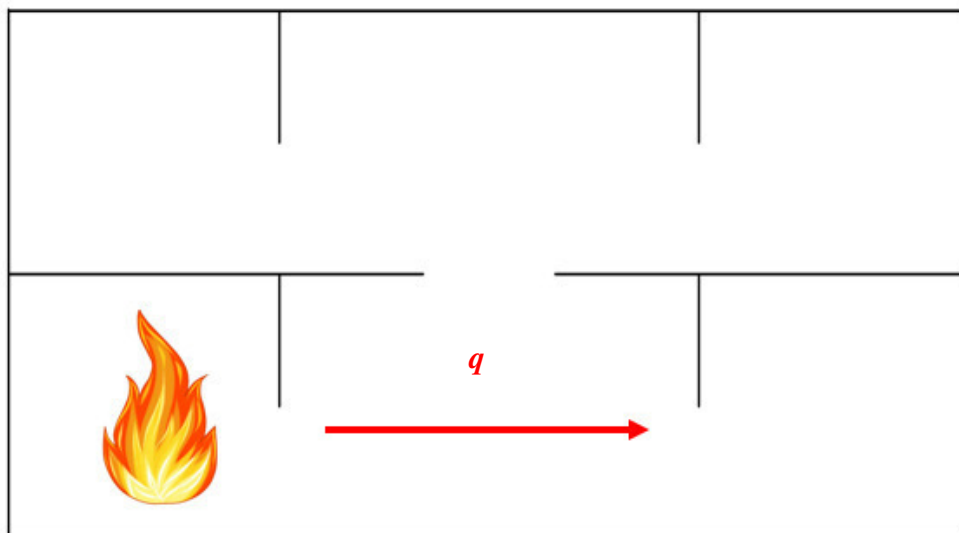


Рисунок 1.16 – Схема *первого сценария*: распространение пожара из помещения очага пожара в противоположащее помещение через многосветное помещение (атриум):

$q$  – лучистый тепловой поток

2. Пожар происходит в помещении с одной стороны многосветного помещения (атриум), распространяется на пожарную нагрузку в многосветном помещении (атриум) и за счет лучистого теплового потока от двух источников может перейти на противоположащее помещение. Схема сценария представлена на рисунке 1.17.

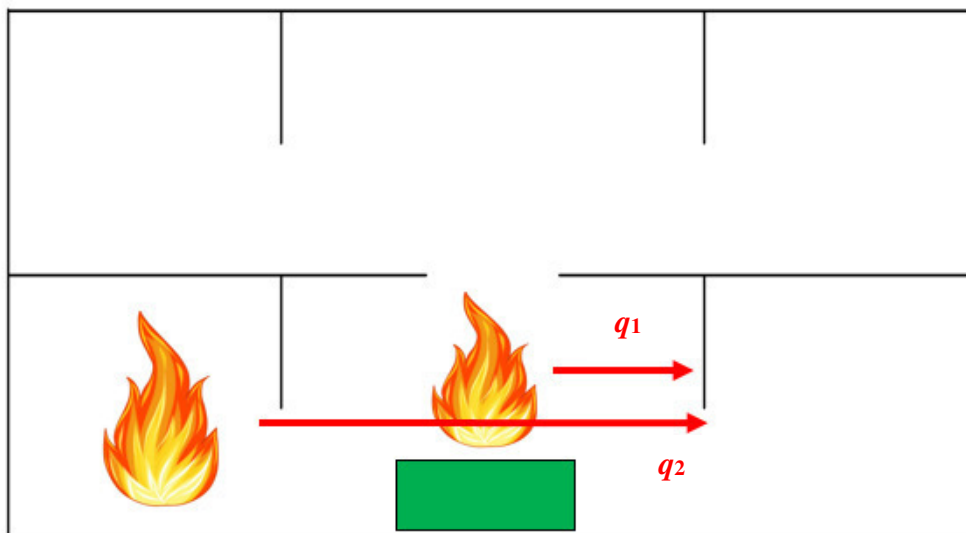


Рисунок 1.17– Схема *второго сценария*: распространение пожара из помещения очага пожара на пожарную нагрузку, находящуюся в многосветном помещении (атриум) и на противоположащее помещение:  $q_1$ ,  $q_2$ – лучистый тепловой поток

3. Пожар происходит в зоне расположения пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум) и за счет лучистого теплового потока может перейти на противоположащие помещения. Схема сценария представлена на рисунке 1.18.

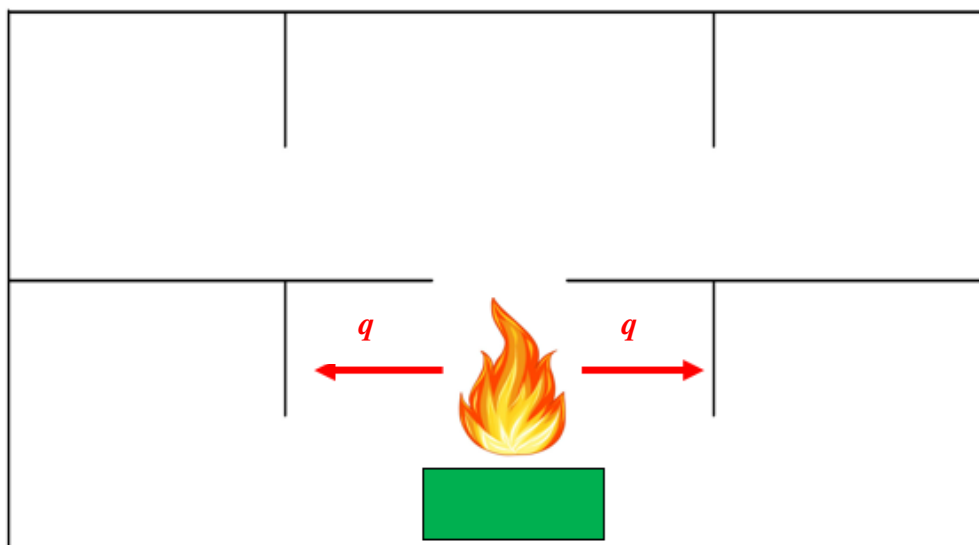


Рисунок 1.18 – Схема *третьего сценария*: распространение пожара от пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум) и на противоположащие помещения:  $q$  – лучистый тепловой поток

Анализ источников [28, 29, 40–46] позволяет считать, что понятие *противопожарная зона* сходно с понятиями *противопожарный разрыв между зданиями* или *противопожарные расстояния между пожарной нагрузкой* в помещениях категории В1–В4 по пожарной опасности.

В первом случае противопожарный разрыв – это расстояние, препятствующее распространению пожара между объектами защиты, во втором случае – это расстояние, препятствующее в распространении пожара между участками с пожарной нагрузкой в помещении.

В обоих случаях расчеты основывались на законе Стефана – Больцмана, для серого тела, закон можно описать формулой (1.1) [33–36]:

$$E = \varepsilon \sigma_0 T^4, \quad (1.1)$$

где  $E$  – плотность полусферического излучения реальных тел, Вт/м<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – степень черноты для серого тела;  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – коэффициент излучения абсолютно черного тела;  $T$  – температура излучающей поверхности, К.

В инженерных расчетах противопожарного разрыва используется две основных формулы (1.2) и (1.3) для нахождения падающего теплового потока на материал:

$$q_n = \varepsilon_{\text{пр}} \sigma_0 T_{\text{пл}}^4 \Phi_{1-2}, \quad (1.2)$$

где  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты системы;  $\Phi_{1-2}$  – угловой коэффициент облученности;

$$q_n = q_{\text{и}} \Phi_{1-2}, \quad (1.3)$$

где  $q_{\text{и}}$  – интегральная интенсивность излучения пламени, Вт/м<sup>2</sup>.

Для проверки выполнения условия безопасности используется формула (1.4):

$$q_n \leq q_{\text{кр}}, \quad (1.4)$$

где  $q_{\text{кр}}$  – критическая плотность теплового потока для материала, Вт/м<sup>2</sup>.

В работе [40] получены инженерные формулы для расчета углового коэффициента облученности. Данный коэффициент является геометрическим параметром, зависящим от формы, ширины и высоты пламени и взаимного располо-

жения облучаемого тела относительно облучающего пламени. Также установлено, что критическая плотность теплового потока материала зависит от времени воздействия.

Впервые в работе [43] выражена зависимость плотности падающего теплового потока от локального пожара в горизонтальном положении, что соответствует горению пожарной нагрузки в помещении, развитом вертикально. С помощью полученных зависимостей возможно было установить безопасные с точки зрения распространения пожара расстояния между участками пожарной нагрузки. Дальнейшие исследования были продолжены в работе [42], а результаты были изложены в нормативном документе [41].

Зависимость, предложенная в [43] была выражена формулой (1.5):

$$q_n = A \sigma_0 T_{пл}^4 \left( \frac{x}{D} \right)^{-B}, \quad (1.5)$$

где  $A$ ,  $B$  – сложные функции оптической характеристики очага пожара, зависящие от числа Бугера;  $x$  – расстояние от оси факела пламени до облучаемого объекта, м;  $D$  – характерный размер факела пламени, м.

Значения сложных функций  $A$  и  $B$  находятся из графика, изображенного на рисунке 1.19.

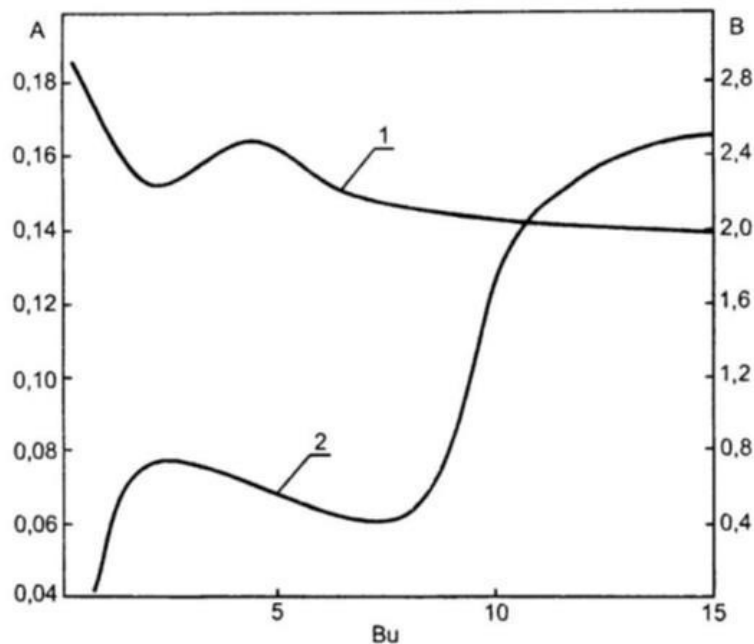


Рисунок 1.19 – Зависимость сложных функций  $A$  и  $B$  от числа Бугера:

1 – функция  $A$ ; 2 – функция  $B$  [42, 43]

Данные полученные в результате расчета по формуле (1.4) и изложенные в нормативном документе [41] можно применять только к производственным и складским зданиям в помещениях категорий (В1–В4) по пожарной опасности. Для общественных зданий, к которым относятся центры, результаты расчетов по формуле (1.4), изложенные в документе [41], применять нельзя, так как полученные результаты характерны для иных исходных условий.

Анализ литературных источников [29, 42, 43, 46, 50, 51] позволил установить, что в них отсутствуют данные, характерные для помещений зданий центров и многосветных помещений (атриумов) по следующим показателям:

- температуре пламени для пожарной нагрузки;
- интегральная интенсивность излучения пламени для пожарной нагрузки;
- геометрическим показателям (высота и ширина) пламени для пожарной нагрузки;
- критической плотности теплового потока для помещений зданий центров.

### **1.3.2 Проблемы применения светопрозрачных перегородок для ограничения распространения пожара по зданиям**

Одним из способов ограничения распространения пожар по зданию с многосветными помещениями (атриум) является применение противопожарных перегородок для отделения помещений различного функционального назначения от многосветного помещения (атриум). Согласно данным, указанным в своде правил [52], противопожарные перегородки должны иметь предел огнестойкости не менее *EI 45*. Данный предел огнестойкости очень легко обеспечить с помощью перегородок из традиционных строительных материалов (кирпич, блоки, железобетон и т.п.), но очень трудно его обеспечить для перегородок из светопрозрачных материалов с применением различных видов стекла.

Основное преимущество остекленных перегородок заключается в обеспечении максимальной открытости и прозрачности. В торговых помещениях остек-

ленные перегородки выполняют также функцию витрины, позволяя не только зонировать пространство, но и давать возможность демонстрировать самые популярные товары.

Способность стекла обеспечивать пропускание естественного света способствует визуальному увеличению границы торговой зоны. Модульность остекленных перегородок позволяет менять конфигурацию торговой зоны. Остекленные перегородки визуально размывают границы помещения и дают благоприятную возможность покупателям рассмотреть товар до входа в магазин. Остекленные перегородки обеспечивают панорамный обзор магазина, привлекая покупателей как товаром, так и интерьером.

В настоящее время на рынке присутствует множество разновидностей остекленных перегородок с применением различных типов огнестойкого, ударопрочного, закаленного, армированного и иного стекла, изготавливаемого по разным технологиям и имеющего разнообразные свойства. Указанные разновидности стекла различаются и по поведению во время пожара.

В ходе анализа были выявлены наиболее часто используемые виды светопрозрачного заполнения [53]:

- огнестойкое стекло с различными пределами огнестойкости;
- армированное стекло;
- закаленное стекло.

Основными недостатками использования огнестойкого стекла являются его высокая цена, сложность монтажных работ и замена самого стекла из-за его значительного веса. Вес стекла с пределом огнестойкости по потере целостности и теплоизолирующей способности по температуре ( $EI$ ) находится в диапазоне 35–50 кг/м<sup>2</sup>, а в отдельных случаях доходит до 110 кг/м<sup>2</sup> [54]. Высокая цена огнестойкого стекла объясняется тем, что основными компаниями производящие огнестойкие стекла являются зарубежные компании: PILKINGTON (Великобритания) [55–59], Promat (Германия) [60, 61], Glaverbel (Бельгия) [62], SHOTT (Германия) [63, 64], Saint-Goban Glass (Франция) [65–67], Glas Troesh (Швейцария) [68]. Огнестойкие стекла, выпускаемые российскими производителе-

лями, уступают зарубежным аналогам по качественным характеристикам.

Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что использование огнестойкого стекла с пределом огнестойкости  $EI 45$  нецелесообразно.

В нормативном документе [32] представлена возможность замены перегородки с пределом огнестойкости  $EI 45$  на перегородку с пределом огнестойкости  $EI 15$  используя дополнительно защиту этой перегородки с помощью дренчерной завесы. В этом требовании реализовано решение, указанное в своде правил [69] повышение предела огнестойкости перегородки с помощью дренчерной завесы.

Как показывают исследования в области повышения устойчивости и сохранения целостности светопрозрачного заполнения с помощью водяной дренчерной завесы [70–72], попадание воды на остекление при определенных условиях может способствовать разрушению светопрозрачного заполнения, если не выполнить ряд следующих условий:

- орошение светопрозрачного заполнения должно начаться до нагрева стекла до некоторой критической температуры;
- обеспечение равномерности орошения светопрозрачного заполнения с целью исключения температурных напряжений в стекле.

На практике данные условия очень трудно реализовать. Данный факт позволяет предположить, что орошение дренчерной завесой не может гарантировать устойчивость и целостность конструкции при пожаре.

При разработке СТУ до появления нормативного документа [32] предлагалось несколько альтернативных вариантов (замен), относящихся к остекленным перегородкам.

При анализе СТУ центров с многосветными помещениями (атриумы) были выделены следующие основные виды замены:

- использование остекленных перегородок из закаленного стекла толщиной 6 мм со специальным орошением этого стекла водой из спринклерных оросителей со стороны пожарной нагрузки;



– использование остекленных перегородках из армированного стекла толщиной 6 мм со специальным орошением этого стекла водой из спринклерным оросителей со стороны пожарной нагрузки;

– использование остекленных перегородок из стекла типа *триплекс* со специальным орошением этого стекла водой из спринклерным оросителей со стороны пожарной нагрузки;

– использование остекленных перегородок со стеклом с нормируемым пределом огнестойкости не менее  $E15$  со специальным орошением этого стекла водой из спринклерных оросителей со стороны пожарной нагрузки или с двух сторон.

Наиболее часто встречается вид замены, связанный с применением в перегородках закаленного стекла. Популярность этого вида стекла заключается в том, что данный вид стекла является более дешевым по сравнению с огнестойким стеклом, безопасным для людей при его разрушении и предел огнестойкости такого стекла выше, чем у обычного листового.

Проведенные испытания в Академии ГПС МЧС России показали, что потеря теплоизолирующей способности закаленного стекла по двум критериям  $I$  и  $W$  наступали в среднем на 2 и 3-й минутах, соответственно, а потеря целостности не наступала в течение 30 минут без орошения, но при орошении водой в ряде испытаний наступало преждевременное разрушение стекла [73].

Вследствие этого можно сделать вывод, что закаленное стекло может имеет предел огнестойкости только по целостности ( $E$ ), но не может выполнять теплоизолирующую функцию ( $IW$ ) [73].

Закаленное стекло имеет способность частично пропускать, отражать и поглощать определенные спектры излучения [46, 74, 75].

Лучистый тепловой поток и излучение имеют одну и ту же природу, поэтому можно предположить, что при воздействии на закаленное стекло падающего теплового потока происходит частичное отражение, пропускание и поглощение падающего теплового потока. Данное свойство закаленного стекла не было отражено в современных работах, связанных с изучением поведения стекла при пожаре.

Как было отмечено выше, закаленное стекло может иметь только предел огнестойкости по целостности, тем самым пожар может распространиться за счет лучистого теплового потока на противоположащее помещение без разрушения самого стекла, используя свойство стекла, частично пропускать лучистый тепловой поток.

#### **1.4 Выводы по первой главе**

1. Статистика по пожарам в зданиях центров только появляется, но уже сейчас можно увидеть закономерность, что пожары в подобных зданиях характеризуются большой площадью.

2. В действующих нормативно-правовых актах и нормативных документах по пожарной безопасности отсутствует понятие многосветное помещение и атриум.

3. Основной проблемой проектирования СОПБ зданий центров является деление здания на пожарные отсеки. Традиционными способами деление на пожарные отсеки зданий центров произвести невозможно из-за особенностей объемно-планировочных и конструктивных решений (устройства многосветных помещений (атриумы)), новых маркетинговых технологий (технологии продажи товаров).

4. Как видно из приведенного анализа в первой главе, для зданий торговых центров в России не производились исследования, устанавливающие научно-обоснованные требования к ширине многосветного помещения (атриум) как к противопожарной преграде, которая ограничивает распространение пожара.

5. Научно-обоснованные требования к ширине многосветного помещения (атриум) должны основываться на расчетных методах, которые включают в себя закономерности динамики развития пожара, а именно: физические законы и пожароопасные свойства материалов.

## ГЛАВА 2

### ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРА ЧЕРЕЗ МНОГОСВЕТНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ (АТРИУМ)

Разработка СОПБ зданий центров с многосветными помещениями (атриумы) должна осуществляться с учетом особенностей развития пожара по зданию [17]. Данное утверждение становится актуальным с переходом России к гибкому нормированию в области обеспечения пожарной безопасности объектов защиты.

Закономерности развития пожара по зданию возможно получить с помощью средств математического моделирования. Для проведения компетентного математического моделирования нужно определиться с факторами, влияющими на распространение пожара по зданию с многосветными помещениями (атриумы).

За основу математического моделирования был взят второй сценарий, изложенный в первой главе, так как он является наиболее вероятным, с точки зрения распространения пожара по зданию, и худшим из представленных в первой главе по масштабам последствий.

В работах [42, 43, 50, 73–80] сказано, что на динамику развития пожара в здании влияет множество факторов, но выделяют основные:

- пожарную нагрузку;
- объемно-планировочные решения здания;
- системы активной противопожарной защиты (автоматические установки пожаротушения и противодымная защита);
- системы пассивной противопожарной защиты.

## 2.1 Пожарная нагрузка в помещениях магазинов торгово-развлекательных центров

На развитие и последующее распространение пожара по зданию оказывает характеристика и величина пожарной нагрузки.

Пожарная нагрузка зависит от функционального назначения помещений и характеризуется:

- наличием горючих материалов;
- высокими значениями удельной пожарной нагрузки.

Охватить полностью весь перечень пожарных нагрузок в зданиях центров невозможно, так как эти здания являются многофункциональными.

Для решения поставленных задач было решено определить наиболее часто встречаемую группу помещений по функциональной пожарной опасности. В ходе экспертизы проектной документации центров и натурных наблюдений было установлено (рисунок 2.1), что наиболее часто встречаемой группой помещений по функциональной пожарной опасности является Ф3.1, а наибольшую площадь в таких зданиях сдают под торговые точки, занимающиеся продажей одежды (занимают 43 % торговой площади).

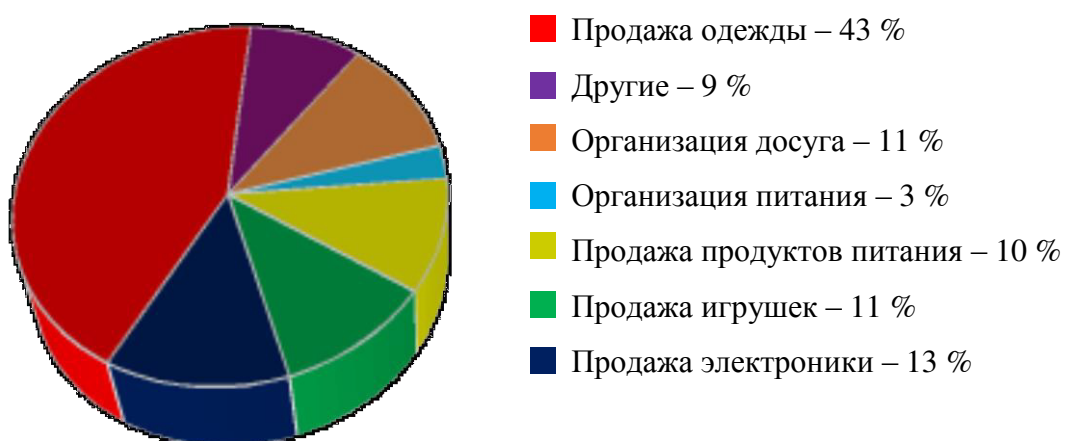


Рисунок 2.1 – Распределение площади, арендуемой в центрах по виду деятельности

Выбор параметров пожарной нагрузки для помещения магазинов одежды был произведен на основании информации, изложенной в источниках [51, 76, 81–88]. Значения удельной пожарной нагрузки для магазинов с одеждой лежат в диапазоне от 181 до 661 МДж/м<sup>2</sup> (таблица 2.1). Наиболее часто встречающиеся значения удельной пожарной нагрузки лежат в диапазоне от 500 до 661 МДж/м<sup>2</sup>.

Таблица 2.1 – Значение плотности пожарной нагрузки в различных источниках

Наименование помещений или зоны расположения пожарной нагрузки	Удельная пожарная нагрузка, МДж/м <sup>2</sup>	Источник
Магазины торгового центра	600	51
Магазин одежды	660	51
Головные уборы (магазин)	500	87
Магазин одежды	600	87
Меховой магазин	200	87
Торговый центр	600	87
Магазины одежды	661	82
Магазин головных уборов	502	83
Магазин одежды	586	83
Магазины одежды, обуви и игрушек	181–650	84

В исследованиях, представленных в статьях [82, 86], выявлена зависимость долевого содержания различных материалов в магазинах одежды и далее определена «реальная» пожарная нагрузка, а не приведенная к древесине. Согласно информации в статье [82], процентное содержание пожарной нагрузки для магазинов с одеждой имеет 3 характерных варианта распределения (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характерные варианты распределения пожарной нагрузки по составу для помещений по торговле одеждой [82]

Варианты распределения пожарной нагрузки	Текстиль, %	Пластик, %	Дерево, %	Кожа и кожзаменители, %
1	55,0	6,0	37,0	2,0
2	23,0	1,0	76,0	0,0
3	86,0	2,0	12,0	0,0

Наиболее часто встречаемым вариантом распределения пожарной нагрузки по составу является первый вариант, по которому в магазине находится:

- 86 % текстильного материала;
- 2 % пластика;
- 12 % дерева или материалов, содержащих в своем составе древесину.

Как показал литературный обзор данных по геометрическим показателям пламени (высоты и ширины), интегральной интенсивности излучения пламени и температуры пламени для помещений торговли нет. Проведение натурных испытаний для получения этих данных невозможно из-за большой стоимости экспериментов, но возможно проведение численного эксперимента на основании одной из трех математических моделей развития пожара в программных комплексах.

## **2.2 Выбор и обоснование модели развития пожара и исходных данных для расчета падающего теплового потока**

В настоящее время (согласно методике [44, 94]) существует три модели развития пожара: интегральная, зонная и полевая (дифференциальная). Каждая из моделей развития пожара имеет свою область применения.

### *1. Интегральная модель развития пожара*

Интегральная модель развития пожара применяется для описания развития пожара на уровне среднеобъемных параметров таких, как:

- плотность среды,
- давление,
- температура,
- концентрация компонентов газовой среды и т. д.

Моделирование основывается на законе сохранения масс, первом законе термодинамики и эмпирических зависимостях.

Интегральную модель развития пожара используют только в помещениях высотой до 6 метров [76]. Как показала практика проектирования, многосветные помещения имеют высоту более 6 метров, эмпирические зависимости интегральной модели для помещений выше 6 метров несправедливы. Значения, выдаваемые программами, основанными на интегральной модели, являются среднеобъемными величинами, которыми в полной мере невозможно описать термогазодинамическую картину пожара. Следовательно, использование интегральной модели пожара в многосветном помещении для прогнозирования развития пожара невозможно.

### *2. Зонная модель развития пожара*

При использовании зонной модели развития пожара исследуемый объем разбивается на зоны. Наиболее популярной и используемой при расчетах является трехзонная модель (рисунок 2.2), при которой объем разбивается три зоны:

- зона припотолочного дымового слоя,
- зона конвективной колонки,
- зона холодного воздуха.

В пределах каждой из зон газовая среда описывается на уровне усреднённых параметров.

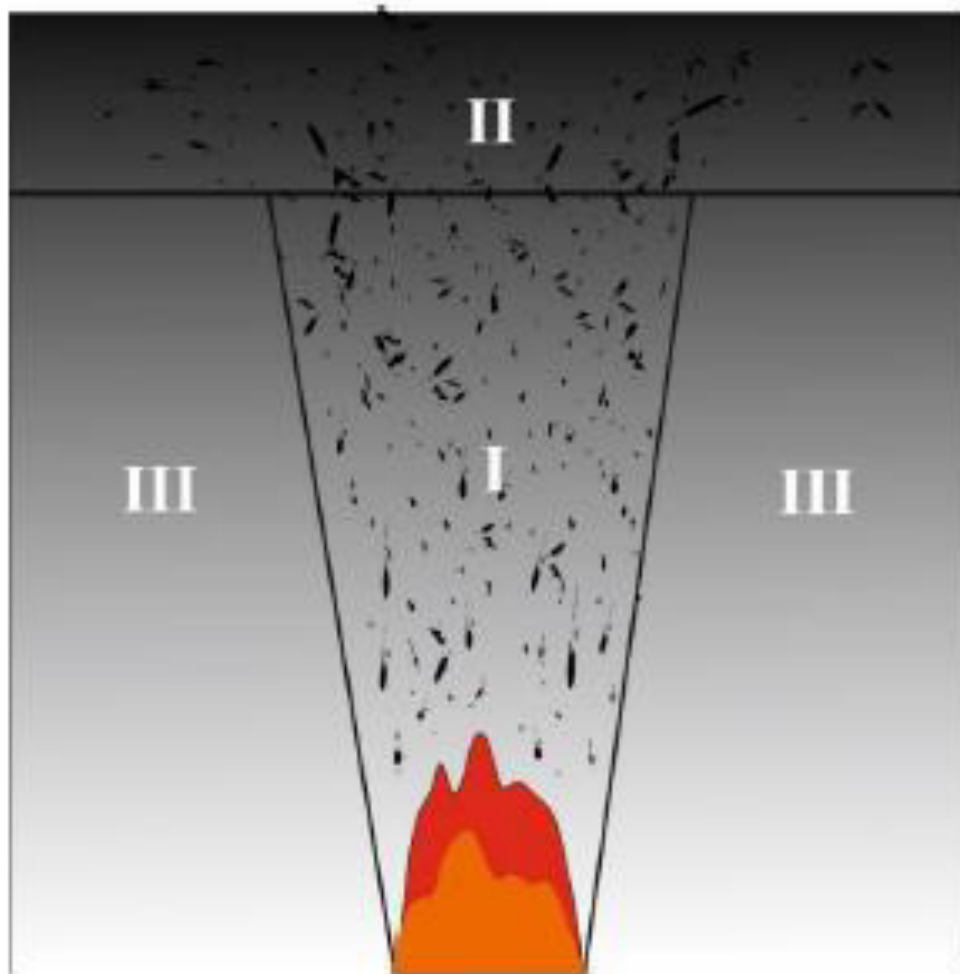


Рисунок 2.2 – Схема зон зонной модели развития пожара:

I – зона конвективной колонки;

II – зона припотолочного дымового слоя; III – зона холодного воздуха [71]

Использование зонной модели развития пожара в многосветных помещениях более чем обосновано по сравнению с интегральной, так как она отражает термогазодинамическую картину пожара в многосветном помещении. Но в ряде работ [89–91] отмечено, что зона припотолочного дымового слоя при сложной геометрии многосветных помещений (атриумы) не является равномерно задымленной и равномерно нагретой, а зона конвективной колонки не является неограниченно свободной [92], что противоречит основным допущениям зонной модели.

### *3. Полевая (дифференциальная) модель развития пожара*

Полевая (дифференциальная) модель развития пожара в своей основе опирается на вычислительную гидродинамику (computational fluid dynamics – *CFD*), при этом исследуемый объем делится на ряд элементарных объемов с конечными



размерами (метод конечных элементов). Область применения модели – это расчеты развития пожара в зданиях со сложной геометрией, развитых вертикально и горизонтально [44, 93, 94]. Полевая (дифференциальная) модель развития пожара является наиболее приемлемой при моделировании пожара в зданиях с многосветными помещениями (атриумами).

Пожар в многосветных помещениях (атриумы) и примыкающих к ним помещениях – это сложный термогазодинамический процесс, трехмерный и нестационарный. Основной вклад в понимание термогазодинамического процесса пожара в многосветных помещениях (атриумы) внесли W. K. Chow, T. Tanaka, S. Yamada, K. Matsuyama, G. D. Lougheed, В. В. Лицкевич, Ю. А. Кошмаров, Ю. А. Поляков, С. В. Пузач, В. М. Есин, Нгуен Тхань Хай, До Тхань Тунг и др.

Полевая (дифференциальная) модель развития пожара чаще всего применяется при научных и прикладных исследованиях – это связано с развитием электронно-вычислительной техники и программного обеспечения, позволяющих использовать столь сложный алгоритм для расчетов. Уравнения, заложенные в полевую (дифференциальную) модель развития пожара, представляют собой дифференциальные уравнения, решение которых без использования современного персонального компьютера представляет собой невыполнимую задачу, поэтому для моделирования пожара по полевой (дифференциальной) необходимо использовать программные комплексы, которые реализуют полевую (дифференциальную) модель.

Из зарубежных программных комплексов, реализующих полевую (дифференциальную) модель развития пожара, можно отметить такие, как: COMSOL Multiphysics, ANSYS CFX, FLUENT, STAR-CD – они предназначены для решения большого количества задач. К специализированным программным комплексам можно отнести Fire Dynamics Simulator (далее – *FDS*) [95], *SOFIE* [96], *PHOENICS* [97], *JASMINE*, *KOBRA-3D*, *SMARTFIRE* и программы, разработанные доктором технических наук, профессором С. В. Пузачем [98–100]. Эти программные комплексы основаны на решении уравнения Навье – Стокса.

Наибольшую популярность из программных пакетов для персонального компьютера, реализующих расчет по полевой (дифференциальной) модели развития пожара, завоевал *FDS*. Это связано с тем, что программный комплекс *FDS* имеется в свободном доступе, каждый год выходят новые версии, данный программного комплекса, программный комплекс прошел валидацию [101] и верификацию [102] в различных научно-исследовательских организациях мира, занимающихся исследованием развития пожара. Данные исследования представлены в таблице 2.3, подтверждающие достоверность полученных результатов.

Таблица 2.3 – Апробация программного комплекса *FDS*

Страна	Научно-исследовательские организации	Исследуемый параметр
США	Государственный институт стандартизации и технологического регулирования	Высота пламени
		Скорость движения воздуха, газовой смеси
	ООО «Научно-исследовательский прикладной центр горения»	Турбулентность при моделировании
Великобритания	Научно-исследовательский институт пожарной охраны	Температура активации автоматических установок спринклерного пожаротушения, температура газа в притолочном слое
Финляндия	Отдел строительства зданий и транспортных систем. Государственный технический научно-исследовательский центр Финляндии	Теплопередача излучением
Китай	Отдел эксплуатации зданий, Политехнический университет Гонконга	Температура

Данный программный пакет прошел верификацию и валидацию при пожаре в здании с многосветным помещением (атриумы) [103, 104].

Соответствие программного комплекса *FDS* методике [44, 94] не вызывает сомнения, так как все требуемые уравнения (сохранение массы, импульса, энер-

гии, химических компонентов), необходимые для реализации полевой (дифференциально) модели, согласно техническому руководству *Fire Dynamics Simulator (Version 6)* [105], используются в качестве основополагающих:

уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0; \quad (2.1)$$

уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i; \quad (2.2)$$

уравнение сохранения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\lambda}{c_p} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial q_j^R}{\partial x_j}; \quad (2.3)$$

уравнение сохранения химического компонента  $k$ :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_j} \right) + S_k. \quad (2.4)$$

Для замыкания системы уравнений (представленных выше) используется уравнение состояния идеального газа, которое для смеси газов имеет вид:

$$p = \rho R_0 T \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \quad (2.5)$$

где  $R_0$  – универсальная газовая постоянная;  $M_k$  – молярная масса  $k$ -го компонента.

В результате проведенного анализа для моделирования развития пожара в здании с многосветным помещением (атриум) будет использован программный комплекс *FDS*.

## 2.2.1 Обоснование исходных данных для моделирования стадий пожара

Обоснование требований норм пожарной безопасности на основе расчетных методов (согласно работам [106–108]) должно основываться на знаниях о характерных стадиях развития пожара.

Пожар в помещении проходит через характерные стадии развития пожара. В работах [42, 43, 109, 110] упоминается, что существует от 3 до 7 стадий пожара.

Для исследования развития пожара в зданиях с многосветными помещениями (атриумы) было выбрано 3 характерных стадии пожара (рисунок 2.3):

- начальная стадия пожара (развивающаяся стадия пожара);
- развитая стадия пожара;
- затухающая стадия пожара.

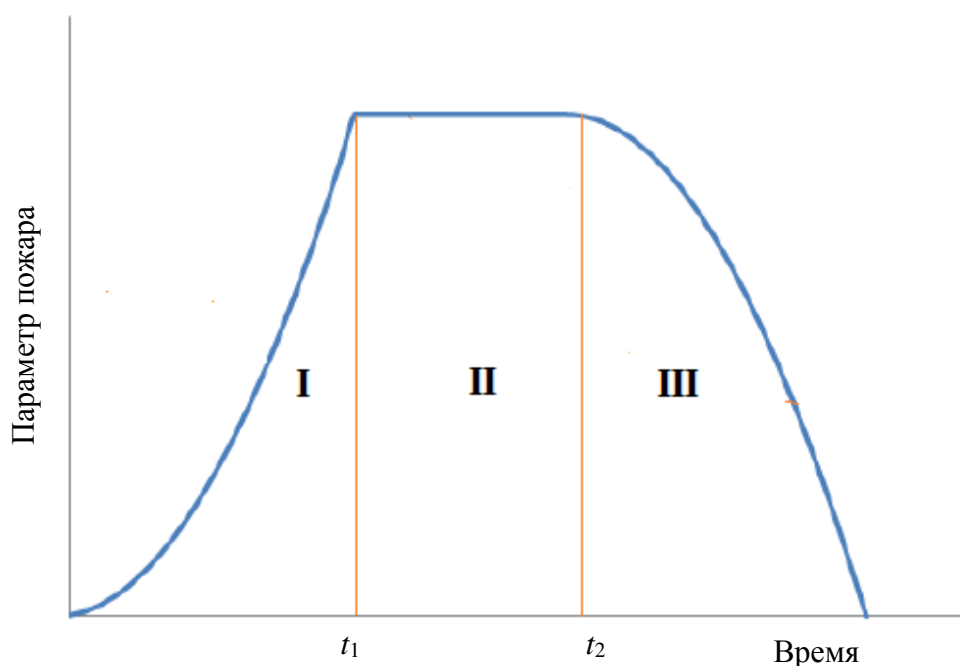


Рисунок 2.3 –Характер изменения параметров в помещении в зависимости от стадии развития пожара:

I – начальная стадия пожара (развивающаяся стадия пожара);

II – развитая стадия пожара;

III – затухающая стадия пожара [111]

Для каждой стадии характерны следующие черты:

- в начальной стадии пожара (развивающаяся стадия пожара характеризуется) постепенным увеличением скорости тепловыделения до максимального значения;
- развитая стадия пожара характеризуется максимальной скоростью тепловыделения и практически постоянным значением;
- затухающая стадия пожара характеризуется уменьшением скорости тепловыделения до момента выгорания всей пожарной нагрузки.

Учет стадий пожара при обосновании требований пожарной безопасности необходим, согласно работам [42, 43, 106–108, 103], иначе это приводит к нецелесообразному завышению требований.

Программный комплекс *FDS* позволяет смоделировать все стадии пожара, но для этого нужно задать правильно исходные данные для моделирования. Для этого требуется определить основные показатели пожара.

За основной показатель берется мощность пожара, которую можно определить по формуле (2.6):

$$Q = \eta Q_n \psi_{уд} S, \quad (2.6)$$

где  $\eta$  – коэффициент полноты сгорания;  $Q_n$  – низшая теплота сгорания, МДж/кг;  $\psi_{уд}$  – удельная массовая скорость выгорания кг/(м<sup>2</sup>·с);  $S$  – площадь пожара, м.

Как видно из формулы (2.6), смоделировать стадии пожара можно, используя показатели площади пожара и удельную массовую скорость выгорания:

1. Площадь пожара – это функция трех переменных (времени, линейной скорости распространения пламени по поверхности и формы распространения). Математически площадь пожара можно записать формулой (2.7):

$$S = a\pi(V_d t)^2, \quad (2.7)$$

где  $a$  – коэффициент учитывающий форму распространения пожара (из центра – 1, из угла – 0,25, из ребра – 0,5);  $V_d$  – линейная скорость распространения пламени по материалу, м/с;  $t$  – время от момента зажигания, с.

Основы данного способа заложены в пожарно-тактических расчетах сил и средств на пожаре [112]. Основные допущения заключается в том, что первые 10 минут пожар развивается с половинной от исходной скорости, а форма площади пожара зависит от места возникновения горения.

2. Удельная массовая скорость выгорания зависит от массы сгоревшего материала, и согласно работам [108, 113] изменение удельной массовой скорости выгорания происходит по трем очевидным периодам:

– при уменьшении массы пожарной нагрузки с 100 до 80 % удельная массовая скорость выгорания линейно возрастает с 0 до максимального значения для этого вида пожарной нагрузки;

– при уменьшении массы пожарной нагрузки с 80 до 30 % удельная массовая скорость выгорания имеет максимальное постоянное значение;

– при уменьшении массы пожарной нагрузки с 30 до 0 % удельная массовая скорость выгорания линейно уменьшается с максимального значения до 0.

Данные периоды можно сопоставить с тремя стадиями пожара (рисунок 2.3).

Реализация стадий пожара при моделировании через площадь пожара в программном комплексе *FDS* связана с некоторыми трудностями, поэтому наиболее приемлемым является подход, в котором реализация стадий пожара осуществляется через удельную массовую скорость выгорания.

Для обоснования требований к ширине многосветного помещения (атриум) наиболее важными стадиями пожара являются начальная и развитая, поэтому было решено произвести моделирование только этих двух стадий.

### **2.2.2 Обоснование исходных данных для моделирования пожарной нагрузки в помещении магазина одежды**

Для моделирования термогазодинамики пожара в помещении надо задать низшую теплоту сгорания для материалов, которые представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения низшей теплоты сгорания для материалов, встречающихся в магазинах одежды

Вид материала	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Источник
<i>Текстиль</i>		
Ткани	17–21	85
Хлопок	18; 20	85, 87
Шелк	17–21	85, 117
Ткань хлопковая	17	114
Хлопок и капрон	16,2	117
Лен	15,7	117
100 % хлопковая ткань «Ивушка»	13,376	116
Ткань 75 % хлопка 25 % лавсана	15,667	116
Ткань 63 % хлопка 33 % лавсана «Турист»	16,398	116
Ткань 29 % шерсть 71 % лавсана «Спринт», «Тайм»	21,999	116
Ткань 42 % шерсть 58 % лавсана «Ракита»	21,757	116
Ткань 50 % шерсть 50 % лавсана «Береста», «Костюмная»	21,606	116
Ткань 53,5 % шерсть 46,5 % лавсана «Наина»	21,544	116
Ткани	20	115
Шерсть	20	115
<i>Пластик</i>		
АБС-пластик	40	85
Полиэтилен	47	85
Полистирол	42	85
Полиуретан	24	85
Пенополиуретан	25–29	85
Поливинилхлорид	18	85
Акрилонитрил-бутаген-стирол, АБС	35	87; 115
Пенополистирол	41	114
Пенополиуретан	24,3	117
Поливинилхлорид, ПВХ	20	87; 115
Полиизоцианурит и полиуретан	25	87; 115
Полипропилен	45,7	117
Полиэтилен	47,1	117

Окончание таблицы 2.4

Вид материала	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Источник
<i>Древесина и материалы на ее основе</i>		
Древесина	13,8;17–20	85, 117
ДВП	21	114
ДСП	18	114
Плита столярная	20	114
Фанера	22	114
<i>Кожа и кожзаменители</i>		
Кожа	20; 21	85;115
Кожзаменитель	17,76	117

За основу для моделирования были взяты следующие величины низшей теплоты сгорания: для текстильных материалов – 22 МДж/кг, для пластика – 47,1 МДж/кг, для дерева и материалов на основе дерева – 20 МДж/кг.

Выбор низшей теплоты сгорания основывался на максимально возможной низшей теплоте сгорания из представленных и наиболее используемых материалов в торговых магазинах.

### **2.2.3 Обоснование геометрической модели многосветного помещения (атриум) и помещения магазина одежды**

Моделирование распространения пожара по полевой (дифференциальной) модели в программном комплексе *FDS* реальных объемов зданий занимает очень много времени, следовательно, требования к ресурсным вычислительным мощностям персонального компьютера возрастают. В связи с этим было принято решение произвести моделирование на модели фрагмента здания с многосветным помещением (атриум).



Для построения геометрических параметров модели фрагмента здания был произведен анализ проектной документации объемно-планировочных решений центров с многосветными помещениями (атриумы). Данный анализ проводился для выявления наиболее встречаемых значений параметров:

- ширины и высоты многосветного помещения (атриум);
- ширины, длины и высоты помещения, примыкающего к многосветному помещению (атриум).

В ходе этого анализа было установлено, что:

- ширина многосветного помещения (атриум) варьируется в диапазоне от 6–10 м;
- наиболее встречаемыми в проектной документации являются двухуровневые многосветные помещения (атриум) (рисунок 2.4);
- высота помещения, примыкающего к многосветному помещению (атриум), равна 4,5 м;
- среднее значение отношения длины к ширине помещения, примыкающего к многосветному помещению (атриум), равно 1,5 (рисунок 2.5);
- средняя площадь помещения, примыкающего к многосветному помещению (атриум), равна 216 м<sup>2</sup> (рисунок 2.6).

Доля от общего количества, %

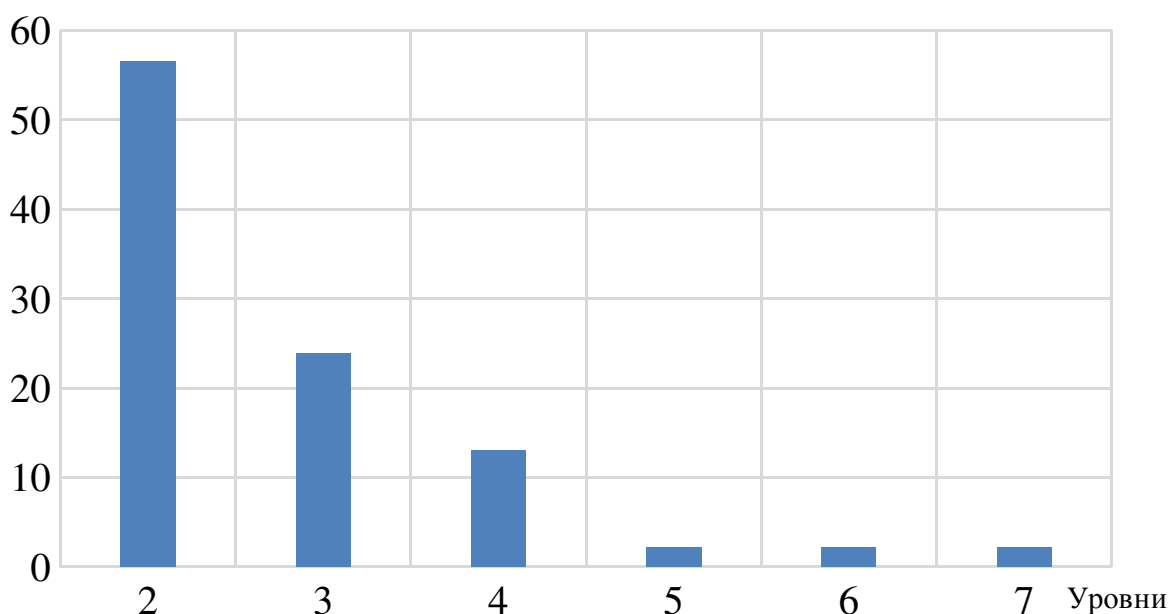


Рисунок 2.4 – Количество уровней в многосветном помещении (атриум)

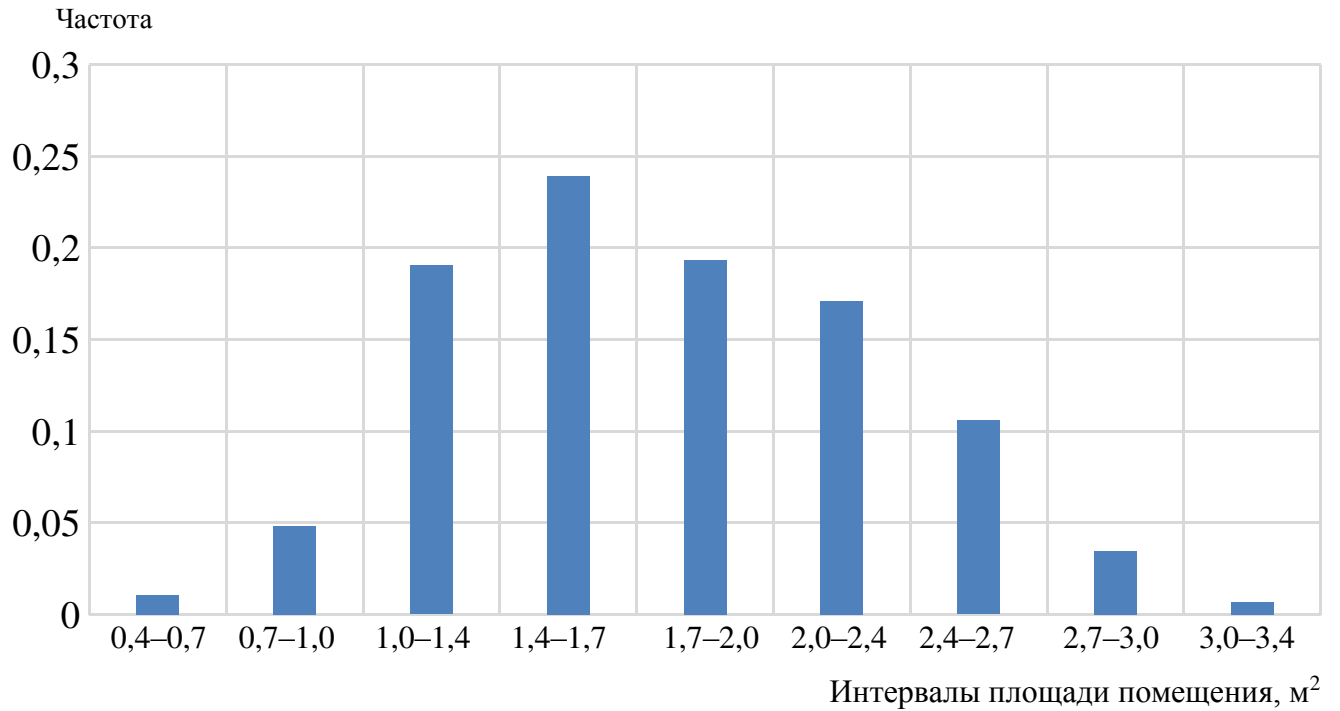


Рисунок 2.5 – Частота соотношений длины к ширине в помещениях торговли одеждой

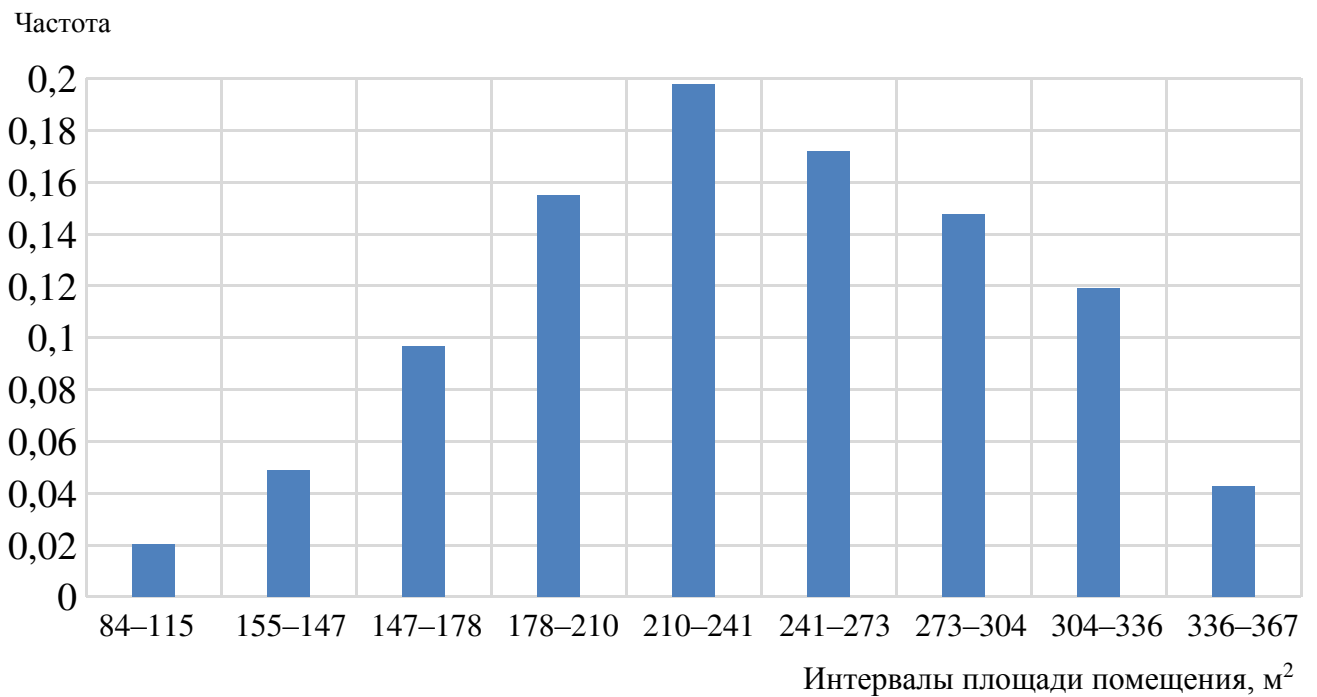


Рисунок 2.6 – Частота площади помещений торговли одеждой

Выбор геометрических параметров модели фрагмента здания был основан на анализе проектной документации центров. Размеры помещения магазина, прилегающего к многосветному помещению (атриум), были приняты 18×12×4,5 м,

ширина многосветного помещения составляла 6, 8 и 10 м, высота многосветного помещения (атриум) – 9 м. Геометрическая модель фрагмента здания представлена на рисунке 2.7.

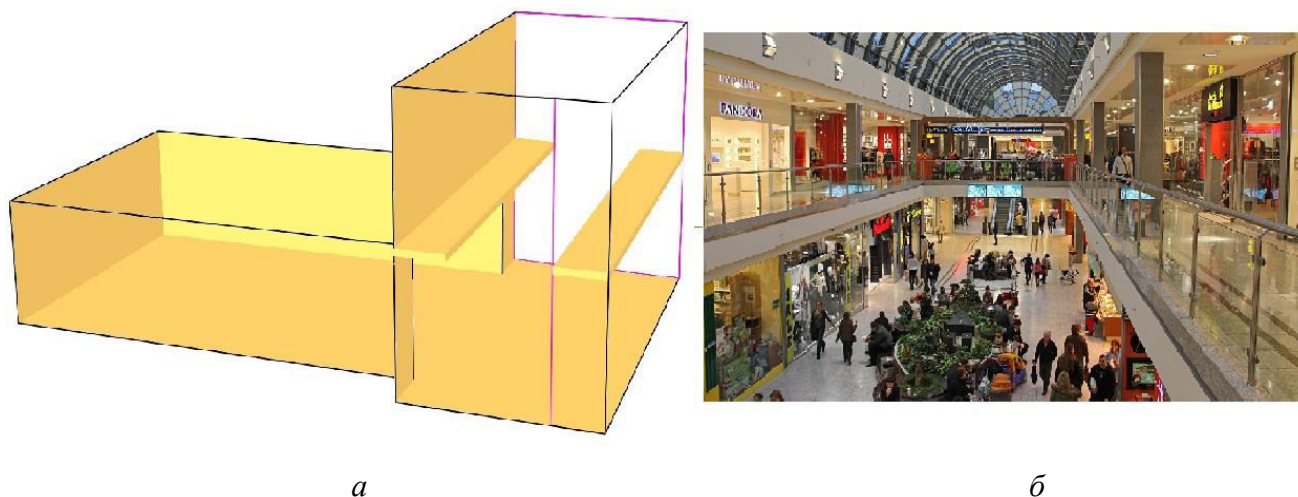


Рисунок 2.7 – Геометрическая модель (а) фрагмента здания для моделирования по полевой (дифференциальной) модели развития пожара в программном комплексе *FDS* (б) фрагмента реального многосветного помещения (атриум) в здании центра [120]

### 2.3 Обоснование критерия воспламенения материалов

Для определения ширины многосветного помещения (атриум), при которой распространение пожара из одной части в другую не происходит, нужно определиться с критериями воспламенения материалов.

В настоящий момент существует два основных критерия воспламенения материалов:

- по температуре воспламенения (температура поверхности материала при которой происходит воспламенение материала);
- по критическому тепловому потоку (значение падающего теплового потока, при котором происходит воспламенение материала).

В работах [118, 119] приведен третий критерий, описывающий процесс воспламенения материала. При определении этого критерия учитываются: темпера-

тура на поверхности материала, скорость нагрева материала и падающий тепловой поток.

Использование более совершенного третьего критерия затруднено из-за недостаточности данных по материалам. Автором диссертации было принято решение об использовании критерия воспламенения материала по критическому тепловому потоку, так как преобладающим механизмом распространения пожара будет являться лучистый тепловой поток.

Одним из предельных состояний светопрозрачных конструкций при огневых испытаниях является потеря теплоизолирующей способности вследствие достижения допустимой величины плотности теплового потока равной 3,5 кВт/м<sup>2</sup>. В Финляндии данный показатель не должен превышать 10 кВт/м<sup>2</sup> [107]. Доподлинно неизвестно, почему в нашей стране используется пороговое значение в 3,5 кВт/м<sup>2</sup>. Можно выдвинуть предположение, что значение 3,5 кВт/м<sup>2</sup> взято согласно некоему минимальному известному значению критической плотности теплового потока для материалов, которые могут находиться рядом с конструкцией.

Первопроходцем в определении критической плотности теплового потока для материалов в России является Б. В. Грушевский. Так, в работе [40] была определена критическая плотность падающего теплового потока для древесины, резины и ДСП. Результаты работы представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 Критическая плотность теплового потока для материалов от времени воздействия [40]

Материал	$q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup> , при продолжительности облучения, мин			
	3	5	15	30
Древесина (ель, влажность 12 %)	18,6	16,5	14	12,5
Резина	23,3	19,8	15	14
ДСП ( $\rho = 574$ кг/м <sup>3</sup> )	16,9	14	10,5	9,3
ДСП ( $\rho = 417$ кг/м <sup>3</sup> )	14,5	11,8	9	8

Как было отмечено в первой главе, критическая плотность теплового потока – это величина, зависящая от времени воздействия на материал. Время

воздействия падающего теплового потока зависит от времени введения сил и средств на тушение пожара [40]. Было принято, что критическая плотность теплового потока для материалов будет определяться временем воздействия в 15 минут, так как среднее время подачи первого ствола на тушение в крупных городах равно 15 минутам [122–133].

В таблице 2.6 представлены значения критической плотности теплового потока для различных материалов, имеющихся в магазинах одежды.

Таблица 2.6 – Значения критической плотности теплового потока для материалов  $q_{кр}$

Материалы	$q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Источник
<i>В интерьере магазина</i>		
Древесина (сосна, влажность 12 %)	13,9	114; 117
Древесина сосновая	21	114
Плита столярная	45	114
Фанера	40	114
Древесно-стружечная плита плотностью 417 кг/м <sup>3</sup>	8,3	117
Пенополистирол (плиты)	28	117
Слоистый пластик	15,4	117
Стеклопластик	15,3;19,4	114; 117
Бумажно-слоистый пластик	80	114
Декоративный бумажно-слоистый пластик, ГОСТ 9590–76	19,0	117
Декоративный бумажно-слоистый пластик, ТУ 400-1-18–64	24,0	117
Плита древесно-волокнистая, ГОСТ 8904–81	13,0;25,0	114; 117
Плита древесно-стружечная, ГОСТ 10632–77	12,0	117
Плита древесно-стружечная с отделкой «Полиплен», ГОСТ 21-29-94–81	12,0	117
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева, ГОСТ 8904–81	12,0	117
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева, ТУ 400-1-199–80	16,0	117
Дорожка прутковая чистошерстяная, ТУ 17-Таджикская ССР-463–84	9,0	117
Покрытие ковровое, прошивное, ОСТ 17-50–83, арт. 5867	22,0	117
Покрытие ковровое для пола рулонное «Ворсолон», ТУ 21-29-12–72	5,0	117

Окончание таблицы 2.6

Материалы	$q_{кр}$ , кВт/м <sup>2</sup>	Источник
Покрывание ковровое иглопробивное «Мистра-1», ТУ 17-Эстонская ССР-266–80	6,0	117
Покрывание ковровое иглопробивное «Мистра-1», ТУ 17-Эстонская ССР-266–80	6,0	117
Покрывание ковровое иглопробивное «Мистра-2», ТУ 17-Эстонская ССР-266–80	5,0	117
Покрывание ковровое иглопробивное «Авистра»	12,0	117
Покрывание ковровое иглопробивное «Вестра», ТУ 17-Эстонская ССР-551–86	5,0	117
Покрывание ковровое типа А, ТУ 21-29–35, арт. 10505	4,0	114; 117
Бумага (книги журналы)	15	114
<i>В продукции магазина</i>		
Хлопок-волокно	7,5	117
Ткань хлопковая, навал	75	114
Хлопок и капрон	7,5	114
Ткань шерстяная	60	114
Резина	14,8	117
Каучук натуральный	45	114
Каучук синтетический	35	114
Картон серый	10,8;15	114; 117
Винилис кожа обивочная пониженной горючести, ТУ 17-21-488–84	30,0	117
Винилис кожа, ТУ 17-21-473–84	32,0	117
Кожа искусственная «Теза», ТУ 17-21-488–84	17,9	117
Кожа искусственная «ВИК-ТР», ТУ 17-21-256–78	20,0	117
Кожа искусственная «ВИК-Т» на ткани 4ЛХ, ТУ 17-21-328–80	20,0	117

Как видно из таблицы 2.6, ближайшим значением к 3,5 кВт/м<sup>2</sup> является 4,0 кВт/м<sup>2</sup>, и оно относится к ковровому покрыванию. Ковровое покрывание располагается на полу, т. е. параллельно направлению распространения лучистого потока, поэтому вероятность зажигания от лучистого теплового потока наименьшая, в от-

личие от материалов, располагающихся перпендикулярно направлению распространения.

Анализ данных таблицы 2.6 позволяет сделать вывод о том, что наиболее приемлемым значением критической плотности теплового потока для помещений торговли одеждой является значение в  $7,5 \text{ кВт/м}^2$  для материалов на основе хлопка и капрона. Это утверждение основано на том обстоятельстве, что эти материалы наиболее часто встречаются в помещении торговли одеждой и имеют минимальное значение критической плотности теплового потока для материалов, встречаемых в помещениях торговли одеждой.

## **2.4 Обоснования критерия разрушения светопрозрачного заполнения в виде закаленного стекла**

Помещения, выходящие в многосветное помещение (атриум), отделяются от общего объема с помощью остекленных перегородок из закаленного стекла, что уже было отмечено в первой главе. Для более полного моделирования развития пожара через многосветное помещения (атриум) нужно определиться с критериями разрушения закаленного стекла в светопрозрачной конструкции.

Единой модели, описывающей разрушение стекла в конструкции со светопрозрачным заполнением, нет [70–73, 134–142]. Поэтому автором диссертации за модель разрушения конструкции со светопрозрачным заполнением было выбрано достижение критической температуры на поверхности стекла. Критической температурой на поверхности закаленного стекла принято значение  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  [136].

Способность стекла пропускать, поглощать и отражать лучистый тепловой поток будет рассмотрена более подробно в четвертой главе.

## **2.5 Обоснование модели воздействия от двух независимых источников лучистого теплового потока**

Выше было отмечено, что на распространение пожара через многосветное помещение (атриум) будет влиять два независимых источника лучистого теплового потока. Лучистый тепловой поток будет исходить как от помещения, в котором произошёл пожар, так и от горящего объекта островковой торговли. На данный момент времени не существует математической модели, описывающей результирующий лучистый тепловой поток от совместного действия двух источников на один и тот же предмет при расположении этих источников последовательно друг за другом, поэтому для дальнейших расчетов результирующий лучистый тепловой поток будет рассчитываться по формуле (2.8):

$$q_{\text{общ}} = q_1 + q_2, \quad (2.8)$$

где  $q_1$  – лучистый тепловой поток из помещения магазина, где возник пожар, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_2$  – лучистый тепловой поток от пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум), Вт/м<sup>2</sup>.

Формулой 2.8 описывается максимальный тепловой поток от двух вышеуказанных источников.

## **2.6 Алгоритм по выбору необходимой ширины многосветного помещения (атриум)**

На основе данных, изложенных выше, и работ [50, 71, 72, 143] был разработан алгоритм, позволяющий оценить ширину многосветного помещения (атриум) с точки зрения не распространения пожара по зданию посредством лучистого теплового потока (рисунки 2.8, 2.9).



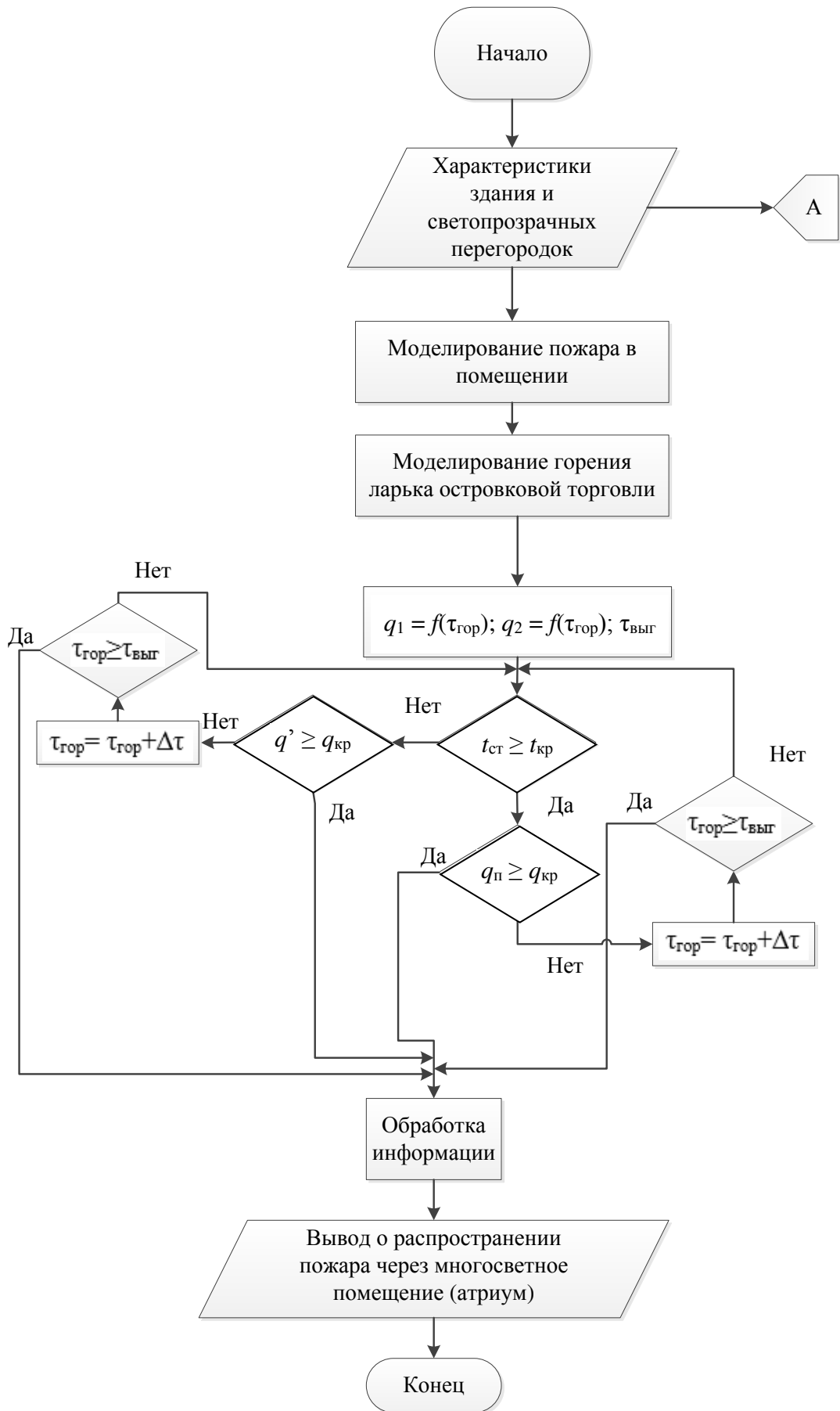


Рисунок 2.8 – Алгоритм оценки возможности распространения пожара через многосветное помещение (атриум) с учетом поглощенного и пропущенного теплового потока через стекло

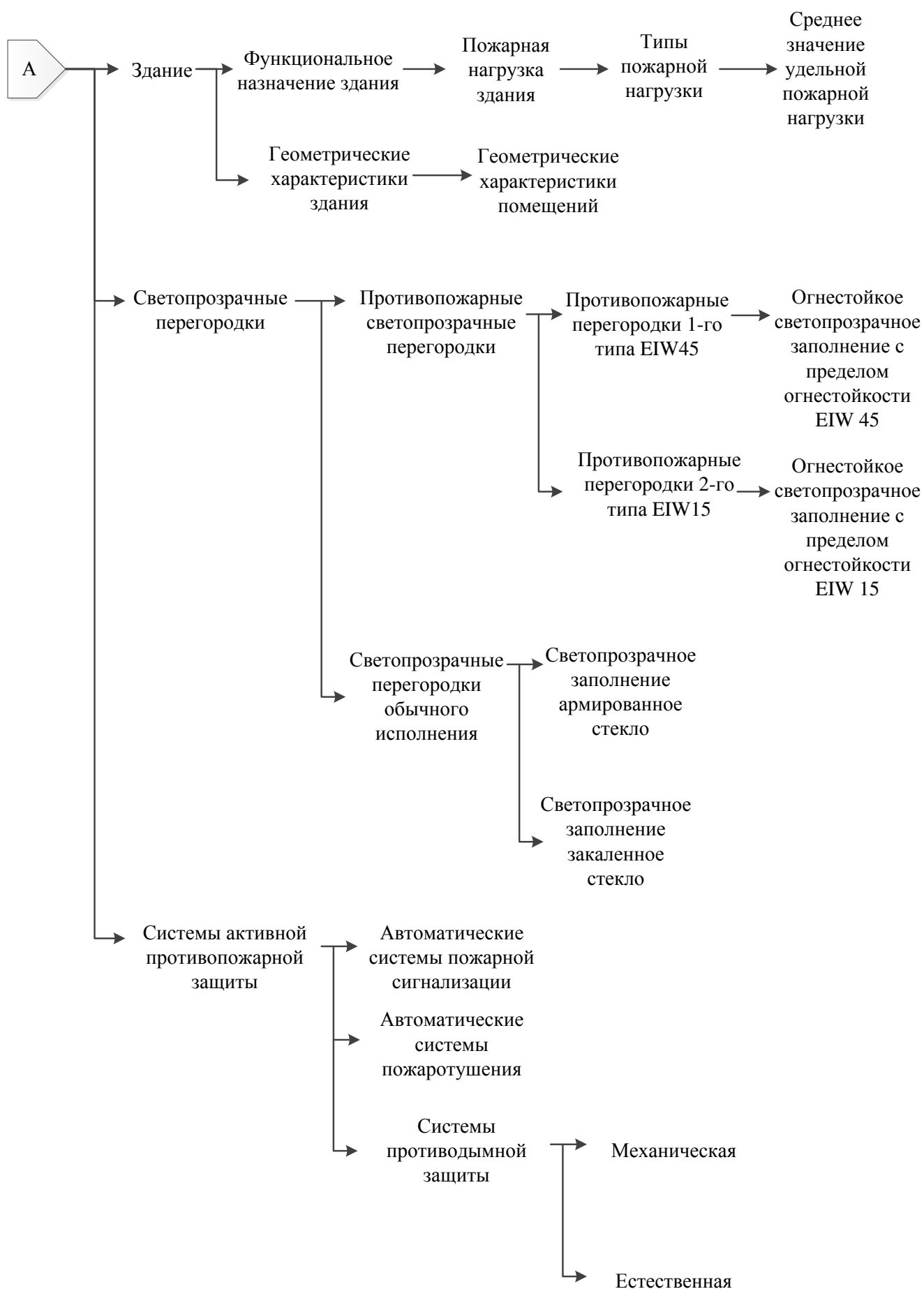


Рисунок 2.9 – Характеристики здания и светопрозрачных перегородок, задаваемых в алгоритме

На рисунке 2.8 в алгоритме используются условные обозначения:  $\tau_{\text{выг}}$  – время выгорания пожарной нагрузки в помещении, с;  $\Delta t$  – временной шаг расчета, с;  $\tau_{\text{гор}}$  – текущий момент времени, при котором происходит горение пожарной нагрузки, с;  $q_{\text{кр}}$  – критический плотность тепловой поток для материалов, кВт/м<sup>2</sup>;  $t_{\text{ст}}$  – температура на поверхности светопрозрачного заполнения, °С;  $t_{\text{кр}}$  – критическая температура на поверхности для светопрозрачного заполнения, °С;  $q'$  – падающий тепловой поток на поверхность материала, находящийся за светопрозрачным заполнением, кВт/м<sup>2</sup>;  $q_{\text{п}}$  – падающий тепловой поток на поверхность материала, кВт/м<sup>2</sup>;  $q_1$  – лучистый тепловой поток из помещения магазина, где возник пожар кВт/м<sup>2</sup>;  $q_2$  – лучистый тепловой поток от горячей островковой торговли кВт/м<sup>2</sup>.

## 2.7 Результаты моделирования пожара в помещении магазина одежды

Моделирование производилось без учета действия активных систем противопожарной защиты, т. е. без автоматических установок пожаротушения и дымоудаления. В ходе проведенного моделирования в *FDS* было установлено, что падающий тепловой поток при ширине многосветного помещения (атриум) от 6 до 10 м от магазина лежит в диапазоне 2,9–1,0 кВт/м<sup>2</sup> (рисунок 2.10).

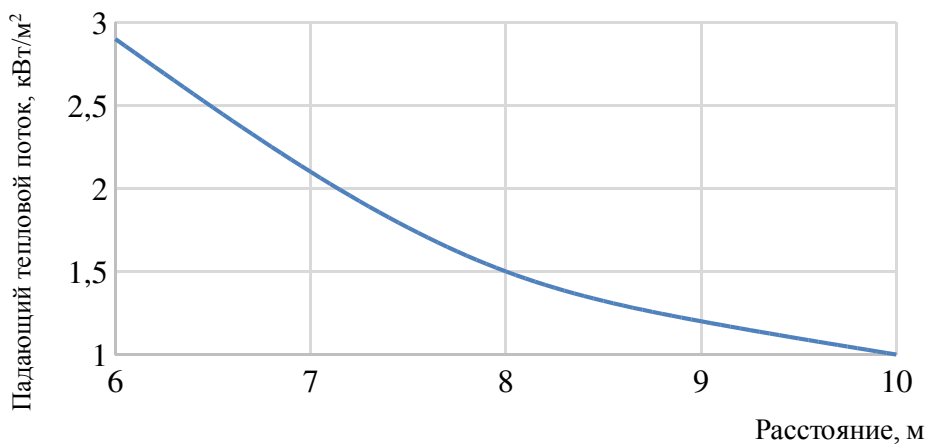


Рисунок 2.10 – Зависимость падающего теплового потока из помещения магазина от ширины многосветного помещения (атриум)

Для обработки данных полученных при моделировании во *FDS* была разработана программа по обработке данных, полученных при моделировании пожара по полевой модели, и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016619249.

Как видно из рисунка 2.10, при пожаре в помещении магазина выполняется условие нераспространения пожара на противоположную сторону многосветного помещения (атриум), так как величина падающего теплового потока не превышает критической плотности теплового потока для помещений торговли одеждой равного  $7,5 \text{ кВт/м}^2$ , которое было обосновано выше.

## 2.8 Выводы по второй главе

1. На основе полученных результатов исследований о распространении пожара по зданиям с многосветными помещениями (атриумы) был разработан алгоритм, позволяющий оценить достаточность ширины многосветного помещения (атриум), для предотвращения распространения пожара за счет лучистого теплообмена на противоположную сторону многосветного помещения (атриум).

2. На основе полученных данных установлено, что наиболее приемлемым значением критической плотности теплового потока для помещений торговли одеждой является показатель  $7,5 \text{ кВт/м}^2$ .

3. Основываясь на значениях удельной пожарной нагрузки и характере состава пожарной нагрузки для помещений торговли одеждой, определены значения падающего теплового потока при пожаре в указанном помещении в зависимости от ширины многосветного помещения (атриум) 6–10 м.

### ГЛАВА 3

## УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА ОТ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В МНОГОСВЕТНОМ ПОМЕЩЕНИИ (АТРИУМ)

### 3.1 Характеристика пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум)

Как показывают результаты пожарно-технических обследований зданий в многосветных помещениях (атриумы) в условиях эксплуатации размещаются на короткое время – новогодние елки, рекламные баннеры, островковая торговля, а на длительное время – предметы интерьера. Появление пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум), создает условия для возможности распространения пожара из одной части здания в другую и влияет на СОПБ.

Как было доказано ранее [50, 143], пожарная нагрузка способствует распространению пожара по зданию только при превышении определенных величин.

Для нахождения условий, способствующих распространению пожара через многосветное помещение (атриум) при наличии пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум), было произведено обследование более 20 торговых и многофункциональных центров в городе Москве и Московской области на предмет определения наиболее характерной пожарной нагрузки.

На основании результатов обследования была разработана классификация пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум) (рисунок 3.1) и был сделан следующий вывод: пожарная нагрузка, находящаяся в островковой торговле может с большей долей вероятности привести к распространению пожара через многосветное помещение (атриум).

Данный вывод был сделан на основе следующих результатов исследований:

– горючая нагрузка в зоне островковой торговли выше, чем в рекламных баннерах, украшениях к празднику;

– нахождение островковой торговли в атриуме по времени значительно дольше, чем у рекламных баннеров или украшениях к празднику.

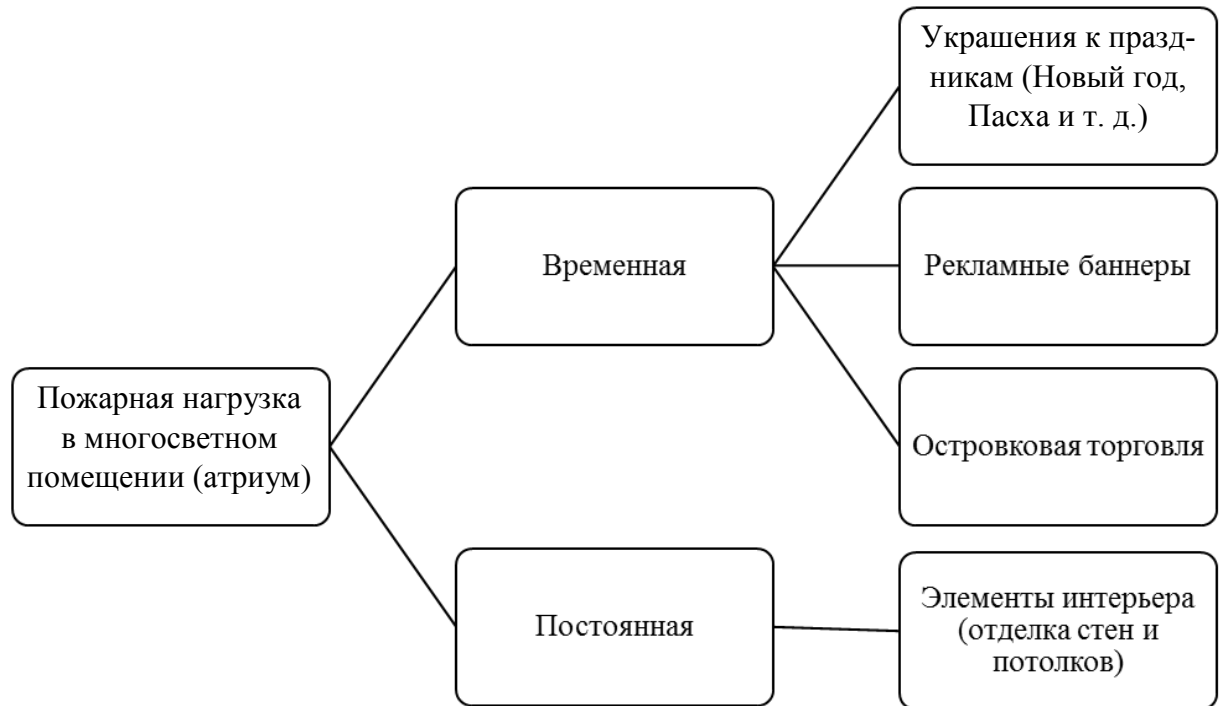


Рисунок 3.1 – Классификация пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум)

Было также выявлено, что конструкции ларьков, киосков и других элементов островковой торговли возможно классифицировать по содержанию пожарной нагрузки в конструкции объекта островковой торговли (рисунок 3.2).

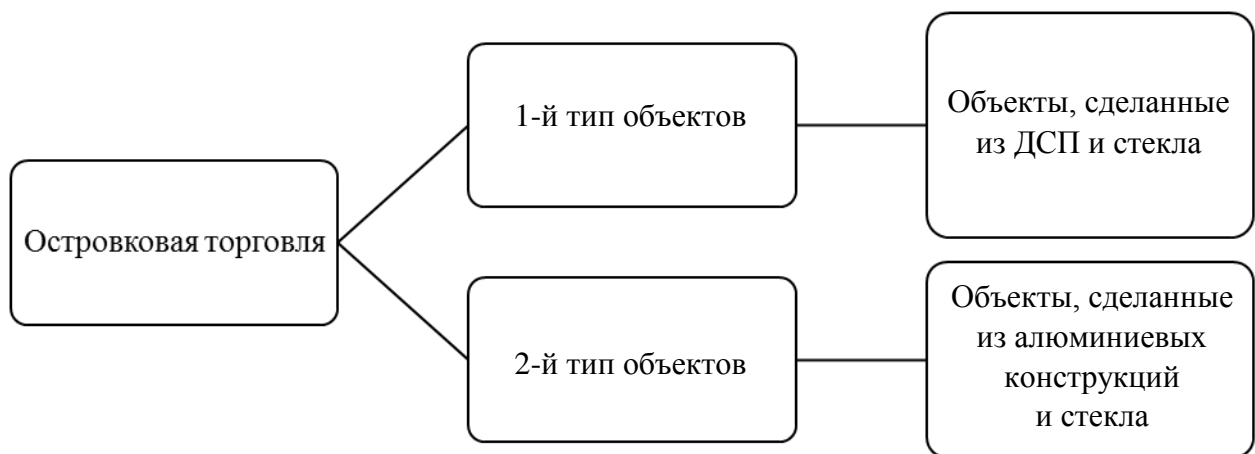


Рисунок 3.2 – Классификация островковой торговли по содержанию горючих материалов в конструкции самого объекта

Наиболее часто встречалось два типа конструкции островковой торговли.

К *первому типу* относятся объекты, конструкции которых состоят из горючих материалов, таких как ДСП, а также из стекла.

Ко *второму типу* относятся объекты конструкции, которых состоят из негорючих материалов (алюминиевых конструкций и стекла).

На диаграмме показано распределение конструкции объектов для островковой торговли в обследованных центрах г. Москвы и Московской области (рисунок 3.3). Всего было обследовано более 600 объектов островковой торговли.



Рисунок 3.3 – Диаграмма распределения конструкций объектов для островковой торговли (итоговое наблюдение в центрах)

По мнению автора, наиболее опасным с точки зрения распространения пожара через многосветное помещение (атриум) является островковая торговля в объектах, изготовленных из ДСП и стекла, именно поэтому в дальнейшем речь пойдет об этом варианте островковой торговли.

При обследовании было выявлено, что пожарную нагрузку островковой торговли можно классифицировать по виду продаваемой продукции. Наиболее часто встречаемая продукция в островковой торговле (рисунок 3.4):

- ювелирные украшения (рисунок 3.5);
- чехлы для сотовых телефонов (рисунок 3.6);
- часы (рисунок 3.7);
- кошельки, обложки, сумки, чехлы (рисунок 3.8).

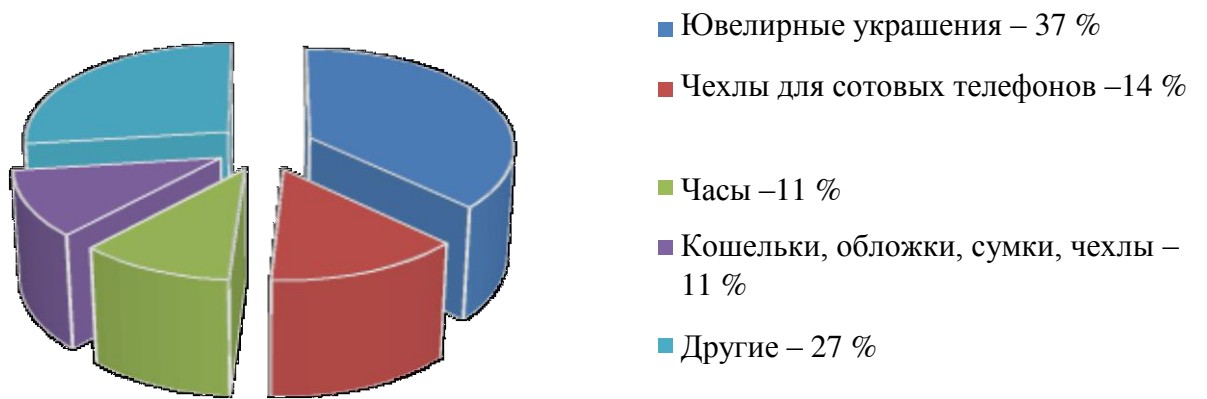


Рисунок 3.4 – Распределения вида реализуемой продукции в островковой торговле



Рисунок 3.5 – Островковая торговля ювелирными украшениями



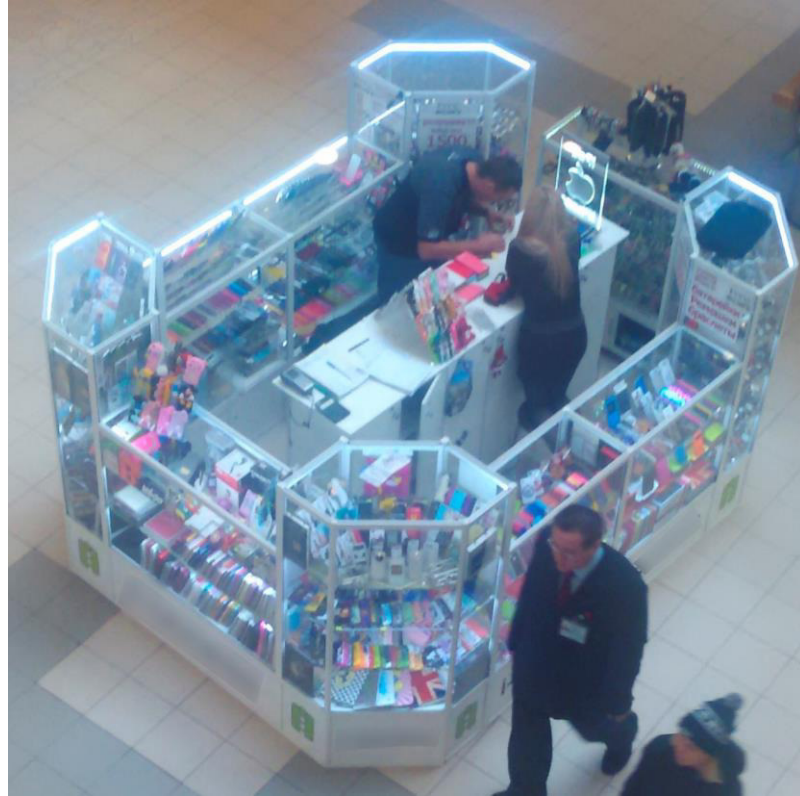


Рисунок 3.6— Островковая торговля чехлами для сотовых телефонов



Рисунок 3.7— Островковая торговля часами



Рисунок 3.8 – Островковая торговля кошельками, обложками, сумками и чехлами

В ходе обследования пожарной нагрузки островковой торговли производились замеры размеров (длины, ширины и высоты объекта), собиралась информация по горючей нагрузке товара, также производились замеры элементов самого объекта (ширина и длина столешницы, высота полок внутри объекта и т.д.).

Для подсчета пожарной нагрузки учитывалась площадь объекта островковой торговли. Было установлено, что в 80 % случаев замеров, площадь объекта лежала в диапазоне от 8,8 до 14,8 м<sup>2</sup>.

В ходе расчетов было установлено, что пожарная нагрузка, содержащаяся в товаре, занимает лишь 17–25 % от общей пожарной нагрузки.

В первом приближении значение удельной пожарной нагрузки в островковой торговле аппроксимируется усеченным нормальным законом в размере 594,7±94,7 МДж/м<sup>2</sup>.

### 3.2 Теоретические основы распространения пожара по многосветному помещению (атриум)

Преобладающее влияние на распространение пожара через многосветное помещение (атриум) будет оказывать тепловое излучение, при этом теплопроводность и конвекция на распространение пожара будут влиять незначительно из-за направления воздействия и ими можно пренебречь [29].

Одним из основных законов теплового излучения между произвольно расположенными телами является закон Стефана – Больцмана [34]. Для расчетов противопожарных расстояний он записывается в виде формулы (3.1):

$$q_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{пр}} \sigma_0 T_{\text{пл}}^4 \varphi_{1-2}, \quad (3.1)$$

где  $q_{\text{п}}$  – падающий тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенная степень черноты системы;  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup> · К<sup>4</sup>) – постоянная Стефана – Больцмана;  $T_{\text{пл}}$  – температура пламени, К;  $\varphi_{1-2}$  – угловой коэффициент облученности.

На данный момент времени использование формулы (3.1) затруднено из-за того, что в правой части уравнения есть два параметра, данные по которым отсутствуют или не до конца изучены – это угловой коэффициент облученности и температура пламени.

В данное время для расчетов падающего теплового потока при горении древесины и изделий из древесины берут температуру пламени 1300 К [42, 43].

Применение данного значения температуры пламени для конструкций, изготовленных из ДСП не корректно, так как ДСП изготавливается из вяжущих смол и стружек древесины, оказывающие влияние на этот показатель.

Поэтому в дальнейшем будет оперировать понятием интегральной интенсивности излучения пламени, в которую входит значение температуры пламени. Интегральная интенсивность излучения пламени находится по формуле (3.2):

$$q_{\text{и}} = \varepsilon_{\text{пл}} \sigma_0 T_{\text{пл}}^4, \quad (3.2)$$

где  $\varepsilon_{\text{пл}}$  – степень черноты пламени.

Коэффициент облученности зависит от трех параметров: высоты пламени, ширины пламени и расстояния от пламени до облучаемого тела.

По сложившейся практике для твердых горючих материалов ширину пламени определяют по формуле (3.3) [144]:

$$b = 2V_{л}t_{св}, \quad (3.3)$$

где  $b$  – ширина пламени, м;  $V_{л}$  – скорость распространения пламени  $t_{св}$  – время свободного горения, с.

Для твердых горючих материалов (ДСП), примененных в конструкциях объектов островковой торговли, в справочниках не представлены данные по определению высоты пламени. В связи с этим возникает вопрос в определении верных параметров пламени при горении объектов островковой торговли.

### **3.3 Экспериментальное определение параметров пламени, при горении объектов островковой торговли**

Для определения выше названных параметров была проведена серия натуральных испытаний, в результате которых были получены данные по высоте пламени и интегральной интенсивности излучения пламени.

#### **3.3.1 Выбор исходных данных для проведения натурального эксперимента**

Подготовительным этапом к проведению натурального эксперимента был выбор модели конфигурации объекта из ДСП. В ходе анализа была выбрана модель объекта островковой торговли, наиболее часто встречаемая в зданиях (рисунок 3.9).

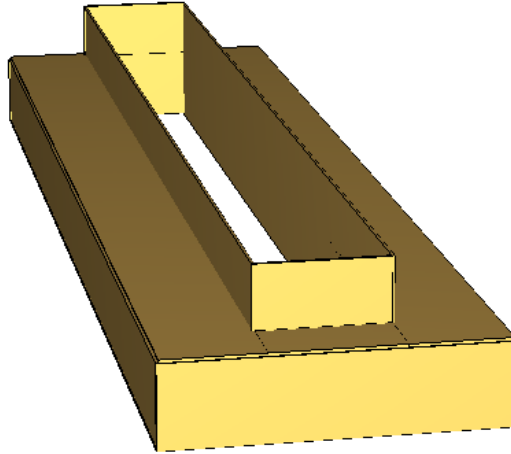


Рисунок 3.9 – 3D-модель объекта островковой торговли (типичная конфигурация)

Геометрические параметры модели объекта выбраны на основе обследования пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум). Главным критерием выбора являлась частота использования, размеры представлены на рисунке 3.10.

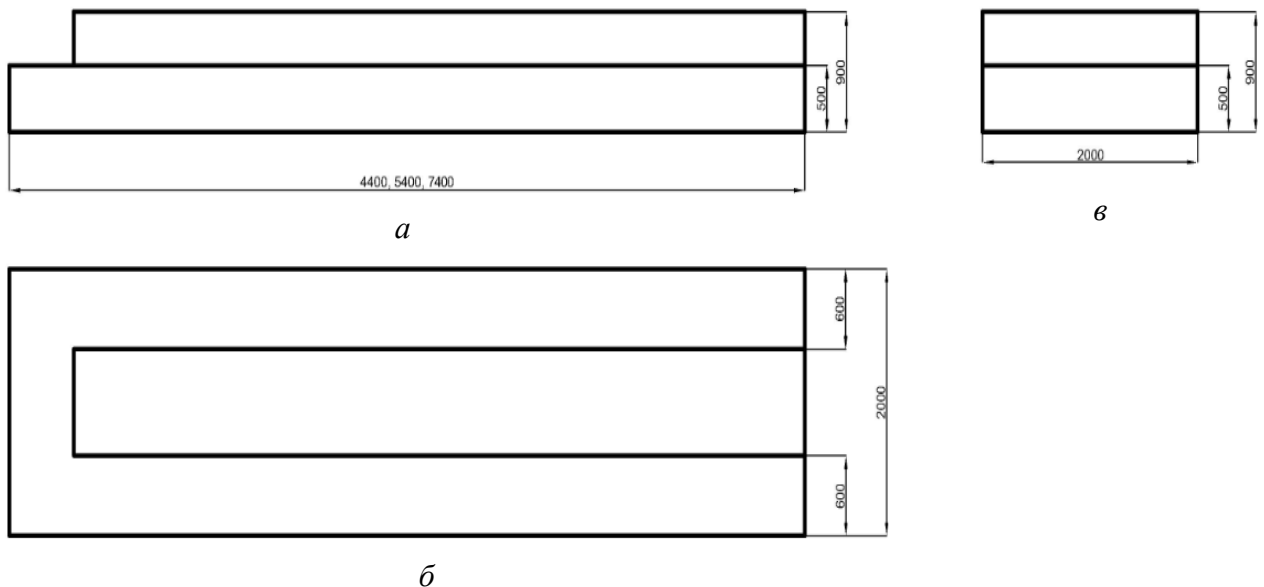


Рисунок 3.10 – Геометрические параметры модели объекта островковой торговли

*a* – фронтальный вид; *б* – вид сверху; *в* – вид сбоку

В модели было принято решение отказаться от применения стекла в объекте из-за того, что стекло не будет существенно влиять на высоту пламени.

Пожарная нагрузка, находящаяся в товаре, имитировалась брусками ДСП.

### 3.3.2 Методика проведения эксперимента

Схема эксперимента представлена на рисунке 3.11.

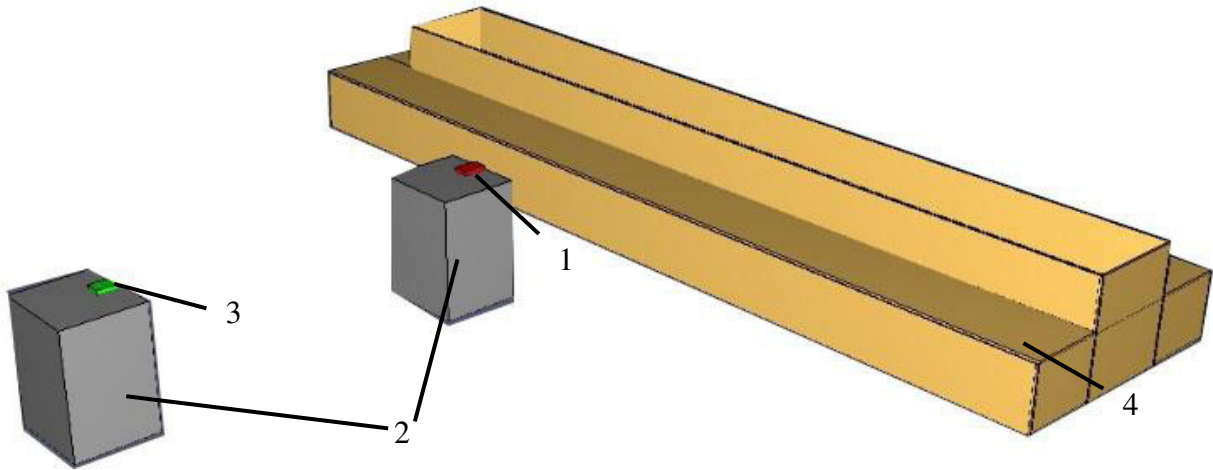


Рисунок 3.11 – Схема эксперимента по определению высоты пламени объекта островковой торговли: 1 – приемник теплового потока ТП-2003 типа Гордона; 2 – штатив; 3 – экшн-камера SJCAM M10 Cube Mini; 4 – объект островковой торговли

Приемник теплового потока ТП-2003 типа Гордона (далее – приемник теплового потока) устанавливался на высоте 0,95 м на расстоянии 2,5 м от объекта островковой торговли. Приемник теплового потока устанавливался посередине объекта островковой торговли. Экшн-камера SJCAM M10 Cube Mini устанавливалась на высоте 0,95 м и на расстоянии в 5 м от приемника теплового потока. Экшн-камера SJCAM M10 Cube Mini с приемником теплового потока устанавливалась на одной линии, во время эксперимента экшн-камера SJCAM M10 Cube Mini находилась в зафиксированном положении.

При эксперименте применялся приемник теплового потока (рисунок 3.12), причем диапазон измеряемых плотностей теплового потока находится в диапазоне от 1 до 100 кВт/м<sup>2</sup>, чувствительность приемника – 93,5 (мкВ·м<sup>2</sup>)/кВт, погрешность приемника составляет ±4,8%.



Запись эксперимента осуществлялась на экшн-камеру SJCAM M10 Cube Mini (рисунок 3.14), при этом формат записи – 720p, частота кадров при съемке видео – 60 кадров/с.



Рисунок 3.14 – Экшн-камера SJCAM M10 Cube Mini

Запись видео и данных с приемника теплового потока осуществлялась с привязкой к астрономическому времени. Время между экшн-камерой SJCAM M10 Cube Mini и компьютером, на котором происходила запись данных с приемника теплового потока было синхронизировано.

Перед началом каждого эксперимента для определения геометрических параметров пламени в плоскости объекта островковой торговли устанавливалась металлическая сетка. Высота сетки – 3 м, ширина – 8 м, размеры ячейки сетки составляли  $0,1 \times 0,1$  м.

Эксперимент проводился днем, в безветренную погоду, относительная влажность воздуха в ходе проведения эксперимента изменялась в диапазоне от 30 до 60 %, температура воздуха изменялась от 18 до 25 °С.



### 3.3.3 Интегральная интенсивность излучения пламени

Первым этапом обработки экспериментальных данных было нахождение интегральной интенсивности излучения пламени из формулы (3.4) [42, 43, 47]:

$$q_{\text{п}} = q_{\text{и}} \varphi_{1-2}. \quad (3.4)$$

Поделив левую и правую часть на угловой коэффициент облученности получаем формулу (3.5) для вычисления интегральной интенсивности излучения пламени:

$$q_{\text{и}} = \frac{q_{\text{п}}}{\varphi_{1-2}}. \quad (3.5)$$

Величина падающего теплового потока была получена с помощью приемника теплового потока. Показания с приемника теплового потока записывались на компьютер с привязкой к астрономическому времени.

Алгоритм вычисления углового коэффициента облученности:

1. Извлечение из видео кадра с пламенем.
2. Вычисление геометрических параметров пламени (максимальной высоты пламени и максимальной ширины пламени) и расположения приемника теплового потока с помощью применения программы AutoCAD 2016 с наложением масштабной сетки.
3. Определение контура пламени с помощью программы Adobe Photoshop CC.
4. Загрузка величины контура пламени в программу COMSOL Multiphysics 5.2 или Wolfram Mathematica 10.4.1, и введение геометрических параметров пламени и расположения приемника теплового потока.

Вычисление углового коэффициента облученности пламени производилось при помощи современных программ COMSOL Multiphysics 5.2 и Wolfram Mathematica 10.4.1.

Была разработана программа по расчету углового коэффициента облученности фактического факела пламени и получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661290.

Для расчета использовались две независимые программы, что позволило подтвердить правильность полученных результатов. Дополнительно проводилось сравнение результатов на тестовых задачах с известным аналитическим решением.

Расчет углового коэффициента облученности непосредственно связан с интегрированием, т. е. угловой коэффициент облученности зависит только от геометрии пламени и расположения приемника теплового потока. Рассчитать угловой коэффициент облученности для случая, когда поверхность излучения и поверхность приема параллельны, можно по формуле (3.6) [131] (графическая интерпретация данных представлена на рисунке 3.15):

$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{\pi(y_{2b} - y_{2a})(x_{2b} - x_{2a})} \int_{y_{1a}}^{y_{1b}} \int_{x_{1a}}^{x_{1b}} \int_{y_{2a}}^{y_{2b}} \int_{x_{2a}}^{x_{2b}} \frac{z_0^2}{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + z_0^2)} dx_2 dy_2 dx_1 dy_1 \quad (3.6)$$

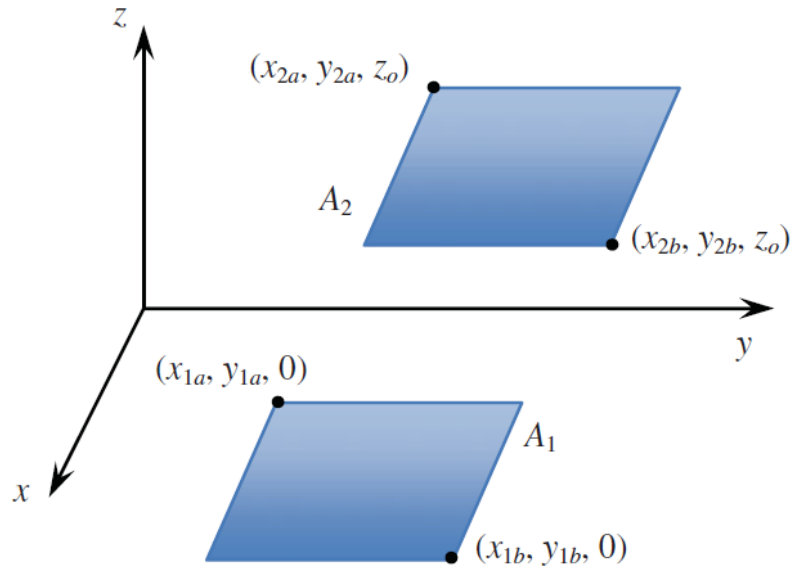


Рисунок 3.15 – Графическое представление данных для расчета углового коэффициента облученности [145]

В общем случае рассчитать угловой коэффициент облученности можно по формуле (3.7) [146] (графическая интерпретация данных представлена на рисунке 3.16):

$$\varphi_{i-j} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos(\theta_i) \cos(\theta_j)}{\pi R^2} dA_i dA_j. \quad (3.7)$$

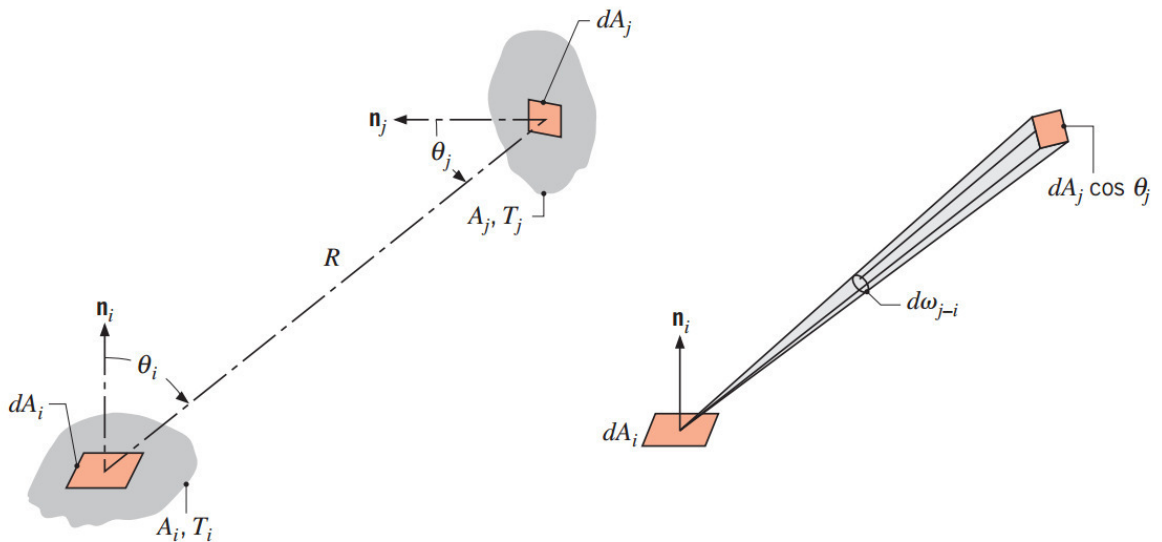


Рисунок 3.16 – Графическое представление данных для расчета углового коэффициента облученности [146]

Следует отметить, что фактическая поверхность пламени является сложной геометрической фигурой, т. е. пределы интегрирования задаются функциями (рисунок 3.17).



Рисунок 3.17 – Фрагмент пламени, используемого для расчета коэффициента облученности

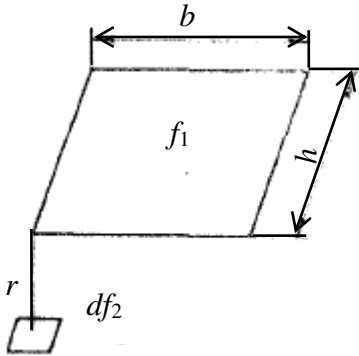
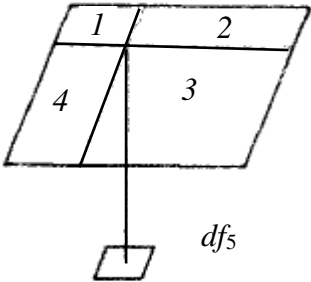
Наиболее простым решением в данном случае является умножение подынтегральной функции на некоторую весовую функцию, которая в зоне пламени равна 1, а за его пределами – 0. При этом границы можно задать размытыми, т. е. в области границ весовая функция может меняться плавно от 0 до 1. Такой подход наиболее адекватен в данной задаче с точки зрения численного интегрирования, при этом реально границы пламени несколько размыты.

Предложенный подход соответствует требованиям к входным данным и в тоже время упрощает численное интегрирование поверхности с произвольными краями, в том числе и разрывами границ.

Работа алгоритма была проверена на тестовых задачах с известным решением.

Сравнение работы алгоритмов в программах COMSOL Multiphysics 5.2 и Wolfram Mathematica 10.4.1 было произведено на примере двух параллельных прямоугольных поверхностей, аналитическое решение которого представлено в работе [29]. В таблице 3.1 представлены схемы и уравнения для расчета углового коэффициента облученности прямоугольных поверхностей.

Таблица 3.1 – Схемы и уравнения для расчета углового коэффициента облученности прямоугольных поверхностей [29]

Схема	Угловой коэффициент облученности
	$\varphi_{1-2} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{b}{\sqrt{r^2 + b^2}} \operatorname{arctg} \frac{h}{\sqrt{r^2 + b^2}} + \frac{h}{\sqrt{r^2 + h^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{r^2 + h^2}} \right)$
	$\varphi_{(1;2;3;4)-5} = \varphi_{1-5} + \varphi_{2-5} + \varphi_{3-5} + \varphi_{4-5}$

Тестовые расчеты были проведены со следующими значениями:  $b = 100$  мм,  $h = 50$  мм,  $r = 25$  мм, датчик  $2 \times 2$  мм, облучаемая поверхность располагалась напротив геометрического центра излучающей поверхности.

Некоторые результаты представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты решений: аналитического и в программах COMSOL Multiphysics 5.2 и Wolfram Mathematica 10.4.1

Аналитическое решения по уравнениям [18]	COMSOL Multiphysics 5.2	Wolfram Mathematica 10.4.1
0,22078	0,22077	0,22072

Результаты практически аналогичны, адекватность численного интегрирования подтверждается.

Основной задачей, как было определено ранее, является задача получения весовой функции, которая затем используется при интегрировании. На рисунках 3.18, 3.19 представлены скриншоты программ COMSOL Multiphysics 5.2, Wolfram Mathematica 10.4.1 на которых продемонстрировано задание весовой функции по изображению, показанному на рисунке 3.17. Точкой начала координат по умолчанию считается левый нижний край контура пламени.

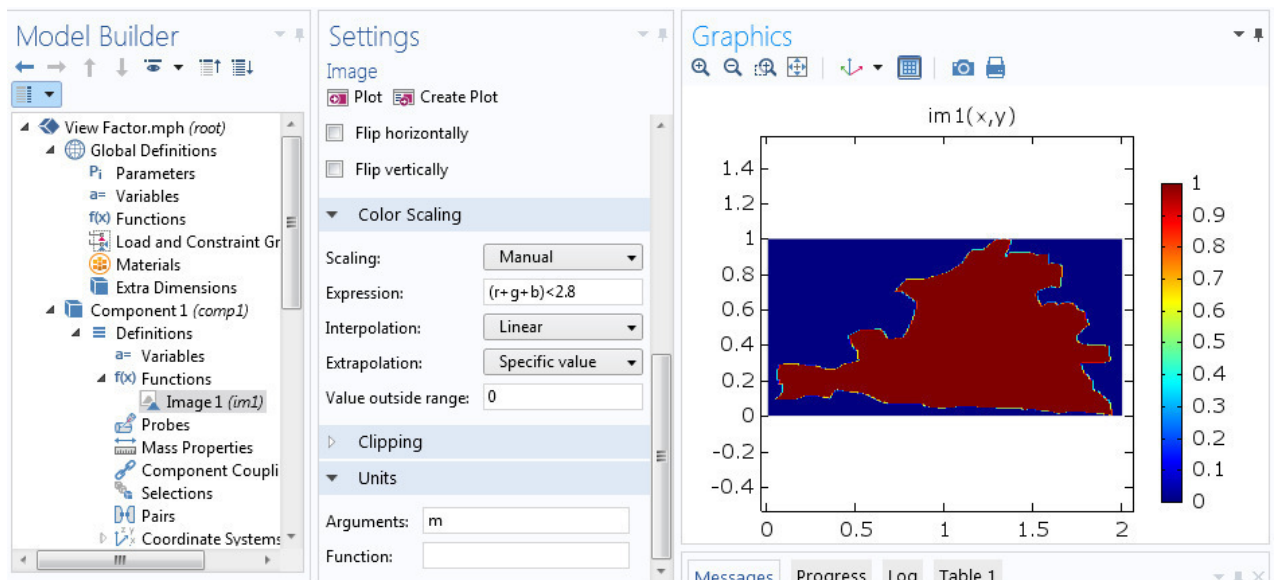


Рисунок 3.18 – Задание весовой функции в COMSOL Multiphysics 5.2

```

img = Import["C:\\Dropbox\\! COMSOL\\Задачи на заказ\\Методика расчета View Factor\\21_ne_masshtabirovan.jpg"]
i = Binarize[img, 0.9]
f = ListInterpolation[Transpose[ImageData[i]], {{x11, x12}, {y12, y11}}, InterpolationOrder -> 0];
Plot3D[-1 (f[x, y] - 1), {x, x11, x12}, {y, y11, y12}, PlotPoints -> 100, ImageSize -> Large, AxesLabel -> Automatic]
DensityPlot[f[x, y], {x, x11, x12}, {y, y11, y12}, PlotPoints -> 100, ImageSize -> Large]

$$\frac{1}{\pi (y_{22} - y_{21}) (x_{22} - x_{21})} \text{Quiet@NIntegrate}\left[ \frac{z_0^2}{((x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_0)^2)^2}, \{x_1, x_{11}, x_{12}\}, \{y_1, y_{11}, y_{12}\}, \{x_2, x_{21}, x_{22}\}, \{y_2, y_{21}, y_{22}\} \right]$$


```



Рисунок 3.19 – Задание весовой функции в Wolfram Mathematica 10.4.1

Расчеты были проведены со следующими значениями: ширина пламени – 2 м, высота пламени – 1 м, расстояние между приемником теплового потока и пламенем 5 м, смещение центра приемника теплового потока по осям  $x$  и  $y$  составляла 0,25 м. Результаты представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты вычисления углового коэффициента облученности в программах COMSOL Multiphysics 5.2 и Wolfram Mathematica 10.4.1

COMSOL Multiphysics 5.2	Wolfram Mathematica 10.4.1
0,011801	0,011628

Различия в значениях полученных результатов объясняется различными алгоритмами аппроксимации расчётной сетки.

Для удобства расчета в COMSOL Multiphysics 5.2 углового коэффициента облученности было разработано приложение. На рисунке 3.20 представлен интерфейс этого приложения.

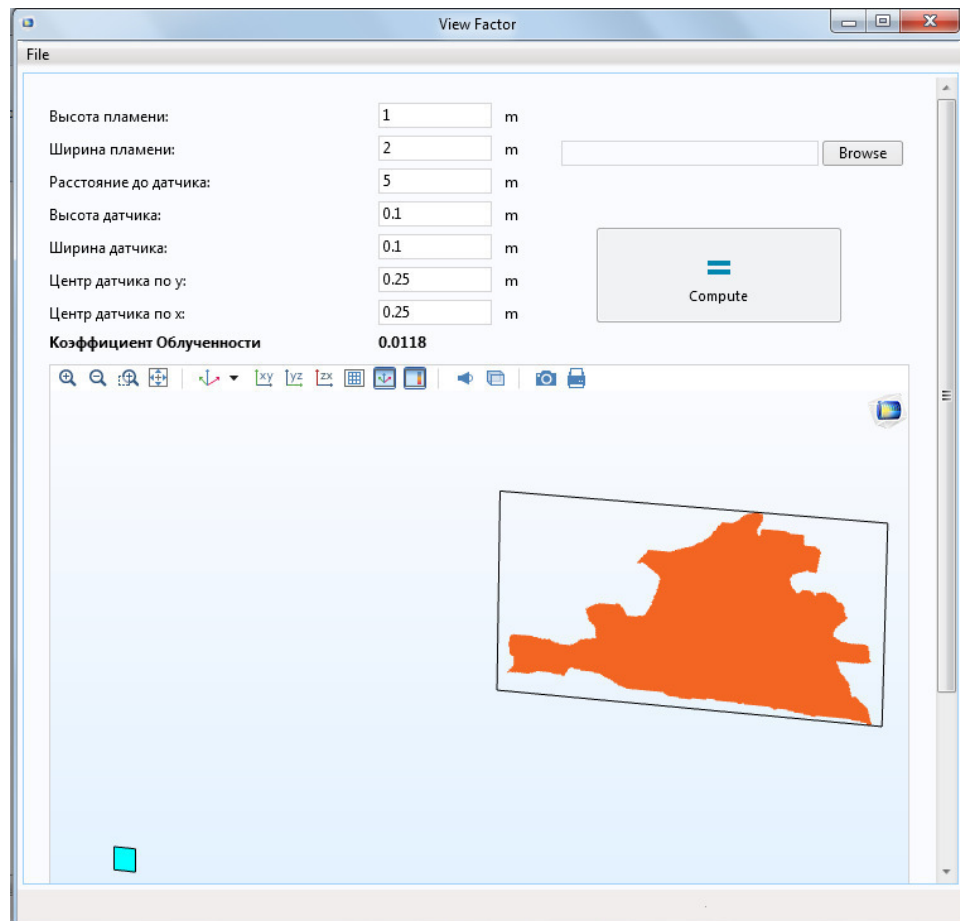


Рисунок 3.20 – Приложение по расчету углового коэффициента облученности фактического факела пламени

При вычислениях интегральной интенсивности излучения пламени использовались значения углового коэффициента облученности, рассчитанные по одному кадру в программах COMSOL Multiphysics 5.2 и Wolfram Mathematica 10.4.1 при разнице между ними меньше 10 %. Результаты вычисления интегральной интенсивности излучения пламени при горении объекта островковой торговли представлены на рисунке 3.21.

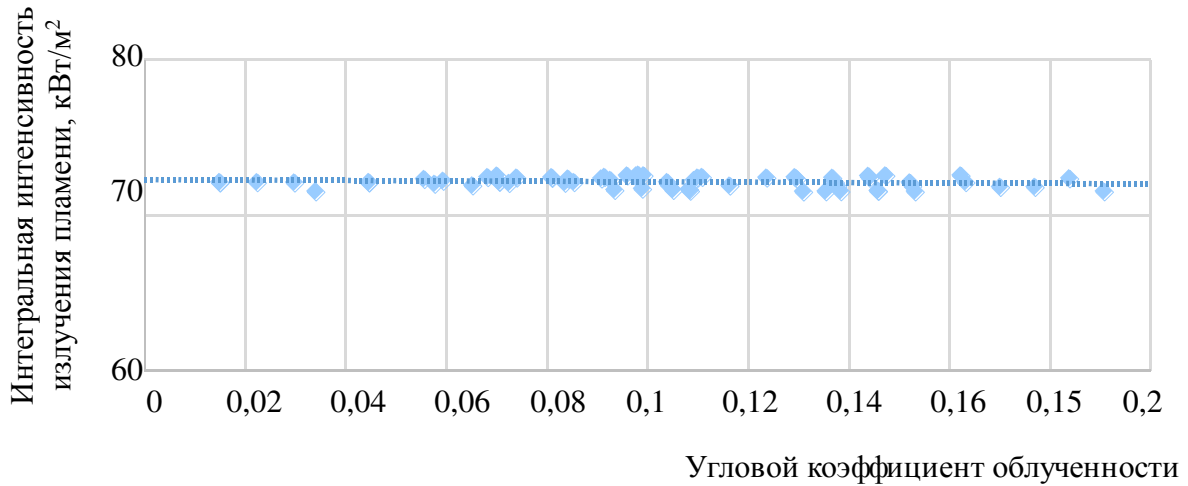


Рисунок 3.21 – Зависимость интегральной интенсивности излучения пламени при горении объекта островковой торговли от углового коэффициента облученности:

- ◆ Экспериментальные данные
- ..... Линейная аппроксимация экспериментальных данных

Значением интегральной интенсивности излучения пламени при горении объекта островковой торговли является величина  $72,2 \pm 8,4$  кВт/м<sup>2</sup>.

### 3.3.4 Геометрические характеристики пламени

В ходе обработки экспериментальных видеоматериалов было сделано предположение, что плоскость пламени возможно принимать за прямоугольную форму для расчета падающего теплового потока от объекта островковой торговли (рисунок 3.22).



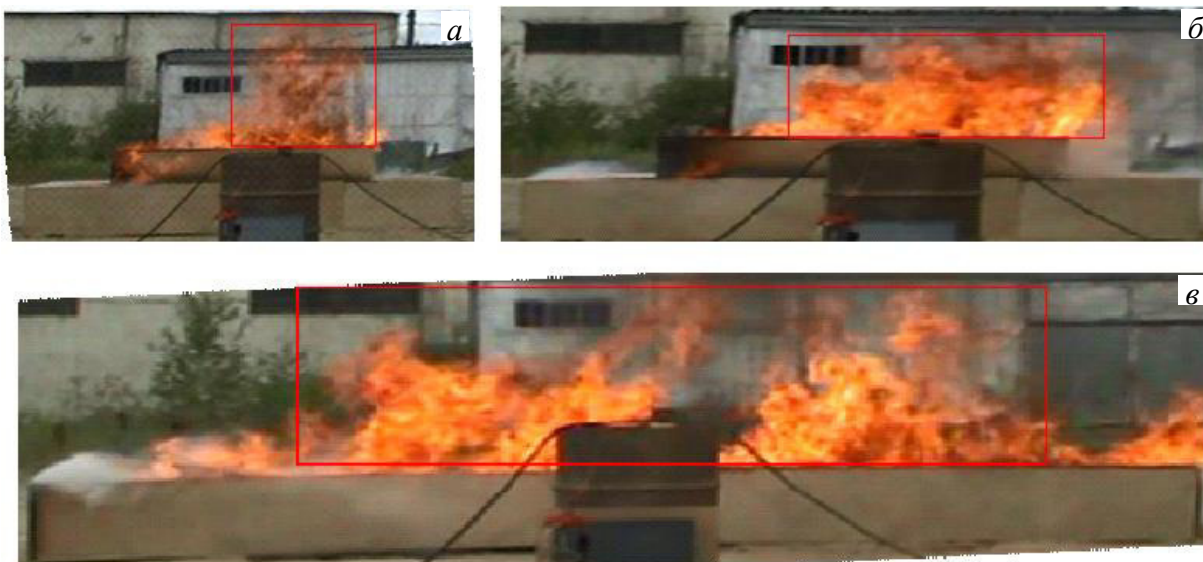


Рисунок 3.22 – Примеры прямоугольной формы пламени

при горении объекта островковой торговли:

*a* – длина сжигаемого объекта 4,4 м; *б* – длина сжигаемого объекта 5,4 м;

*в* – длина сжигаемого объекта 7,4 м

Для того чтобы подтвердить выдвинутое предположение, был произведен расчет углового коэффициента облученности фактического факела пламени и факела пламени приведенной к прямоугольной форме. Для этого были произведены действия в следующей последовательности:

1. Извлечение из видео кадра с пламенем.
2. Вычисление геометрических параметров пламени (максимальной высоты пламени и максимальной ширины пламени) и расположения приемника теплового потока с помощью применения программы AutoCAD 2016 с наложением масштабной сетки.
3. Вычисление приведенной высоты пламени проводилось с помощью применения программы AutoCAD 2016 следующей последовательностью действий:
  - вычисление площади пламени;
  - нахождение максимальной ширины пламени;
  - деление площади пламени на максимальную ширину пламени.
4. Определение контура пламени с помощью программы Adobe Photoshop CC.

5. Загрузка величины контура пламени в программу COMSOL Multiphysics 5.2 или Wolfram Mathematica 10.4.1, с заданными геометрическими параметрами пламени и расположением приемника теплового потока.

6. Вычисление углового коэффициента облученности через приведенную высоту пламени по формулам [18].

В таблице 3.4 представлены некоторые результаты вычисления углового коэффициента облученности фактического факела пламени и факела пламени, приведенного к прямоугольной форме.

Таблица 3.4 – Результаты вычисления углового коэффициента облученности фактического факела пламени и факела пламени, приведенного к прямоугольной форме

Угловой коэффициент облученности фактического факела пламени	Угловой коэффициент облученности факела пламени, приведенного к прямоугольной форме	Относительная погрешность, %
0,04448	0,04450	0,045
0,10911	0,10899	0,111
0,14565	0,14563	0,014
0,07232	0,07236	0,055
0,15196	0,15195	0,007

Как видно из таблицы 3.4, в инженерных расчетах можно использовать приведенную высоту пламени для расчета углового коэффициента облученности.

В ходе обработки экспериментальных данных был сделан вывод, что ширина пламени никогда не превышает наибольшего из линейных размеров объекта островковой торговли.

Для того чтобы получить эмпирическую зависимость для вычисления приведенной высоты пламени, было принято решение поделить приведенную высоту пламени на ширину пламени, перейдя в безразмерный вид. Эту безразмерную величину можно назвать *безразмерной высотой* ( $h'$ ). На рисунке 3.23 представлена

зависимость, с помощью которой можно определить безразмерную высоту пламени.

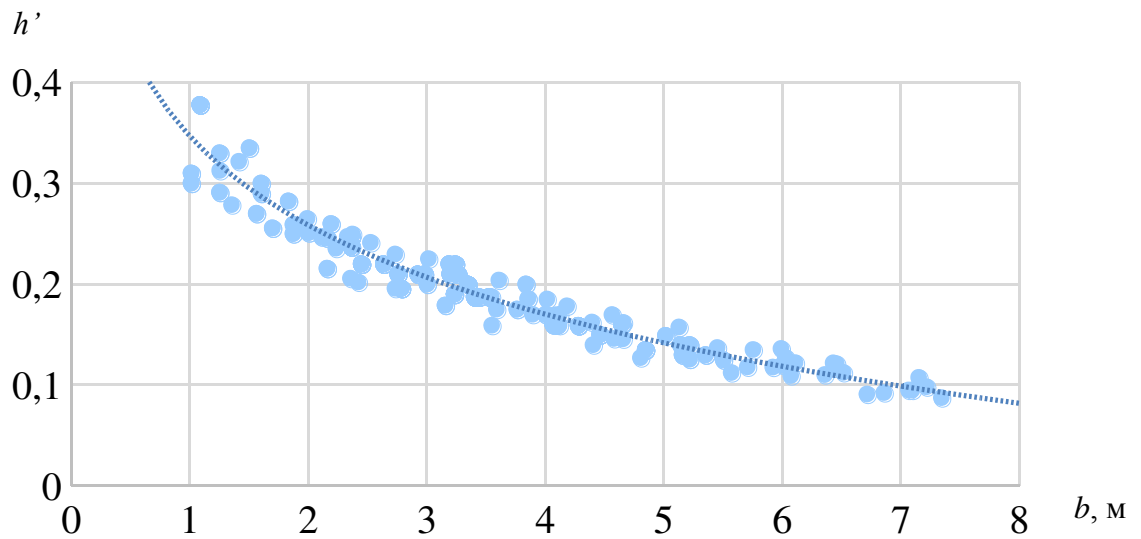


Рисунок 3.23 – Зависимость безразмерной высоты от ширины пламени

Эмпирическая зависимость высоты пламени от ширины можно описать формулой (3.8):

$$h = (0,347 - 0,127 \ln(b))b. \quad (3.8)$$

Формулу (3.8) возможно применить только в диапазоне ширины пламени от 1 до 7,4 м.

По данным, полученным после обработки экспериментов (интегральной интенсивности излучения пламени и геометрических показателей пламени), была построена номограмма для определения лучистого теплового потока от расстояния (рисунок 3.24).

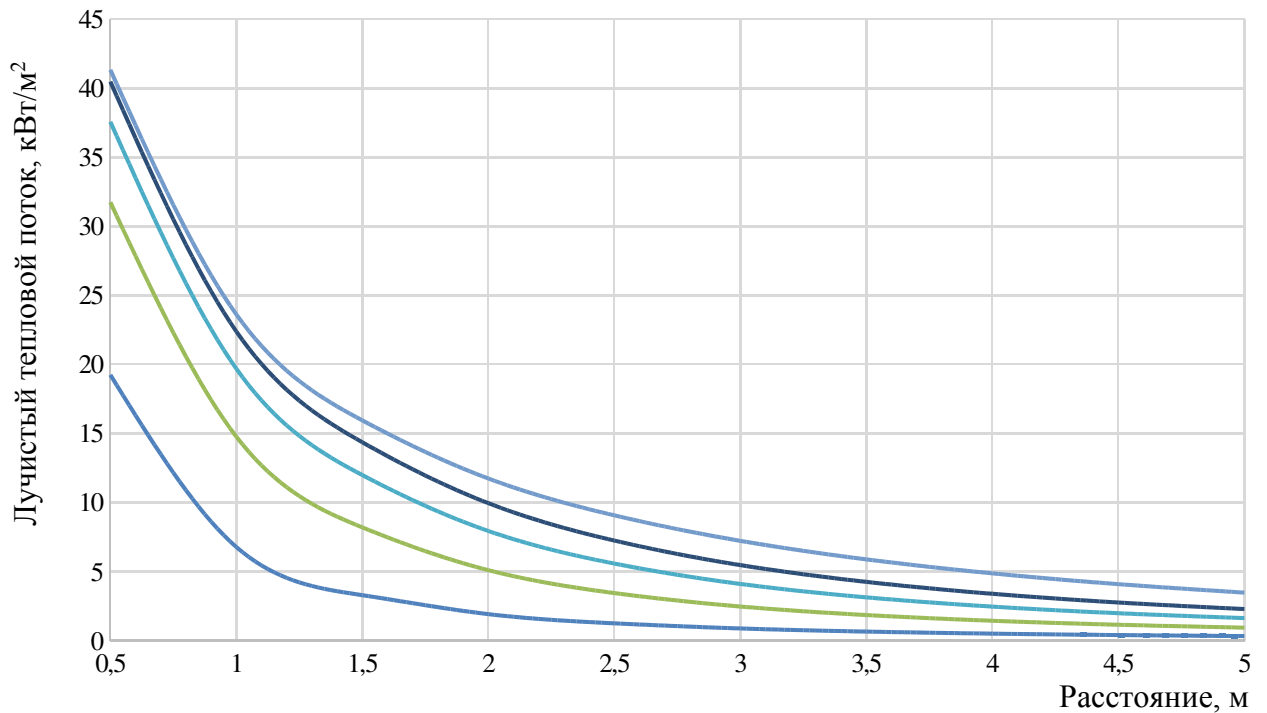


Рисунок 3.24 – Номограмма для определения лучистого теплового потока от пламени объекта островковой торговли:

- $h/b = 0,347$
- $h/b = 0,259$
- $h/b = 0,207$
- $h/b = 0,171$
- $h/b = 0,100$

### 3.4 Результаты моделирования горения объекта островковой торговли

Для того чтобы обосновать ширину многосветного помещения (атриум), удовлетворяющую условию нераспространения пожара по тепловому потоку от островковой торговли, находящейся в многосветном помещении (атриум), был произведен расчет падающего теплового потока от горящего объекта островковой торговли. На рисунке 3.25 представлены результаты расчета при длине объекта 7,4 м и ширине 2,4 м.

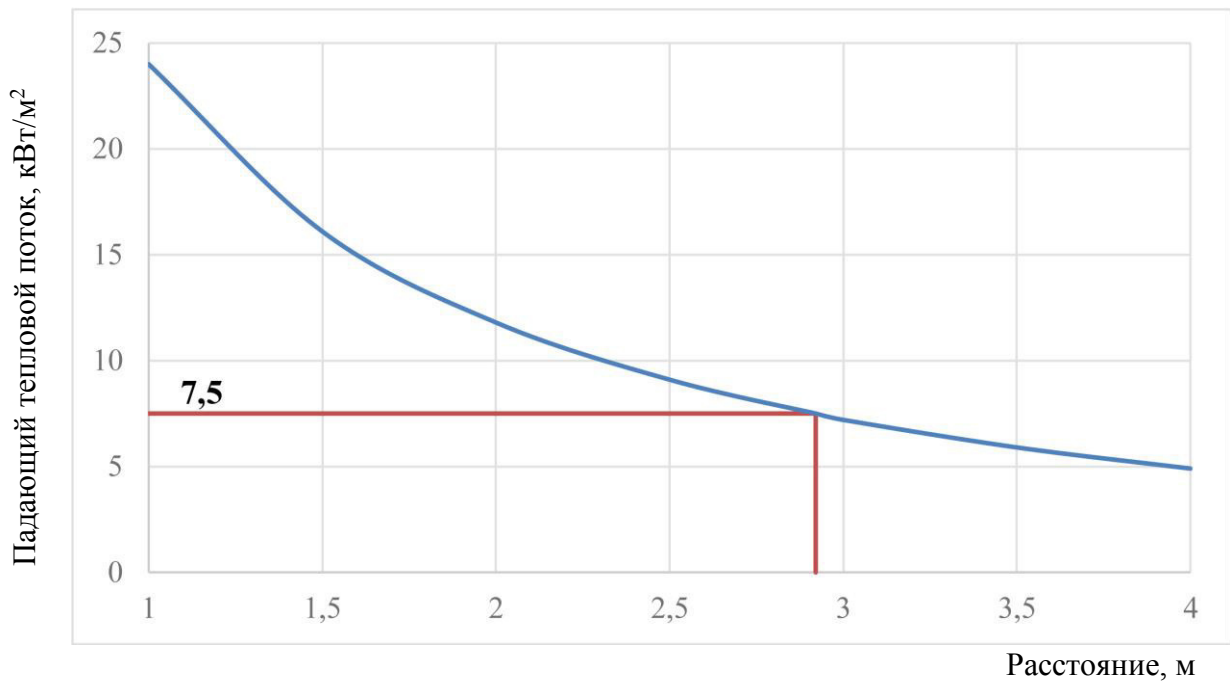


Рисунок 3.25 – Зависимость падающего теплового потока от расстояния

При критическом тепловом потоке  $7,5 \text{ кВт/м}^2$  для помещений торговли (минимальное значение критического теплового потока для материалов одежды) не произойдет распространение пожара за счет теплового потока на расстоянии  $2,9 \text{ м}$  от горящего объекта островковой торговли (рисунок 3.25).

Минимальный размер многосветного помещения (атриум) с размещением пожарной нагрузки в виде островковой торговли, удовлетворяющий условию нераспространения пожара по тепловому потоку, составляет не менее  $8,2 \text{ м}$  (при ширине объекта островковой торговли до  $2,4 \text{ м}$ ).

### **3.5 Результаты моделирования совместного действия лучистого теплового потока от пожара в магазине одежды и горения объекта островковой торговли**

С учетом лучистого теплового потока, действующего из помещения магазина и объекта островковой торговли, но без учета светопрозрачных перегородок

из закаленного стекла минимальный размер многосветного помещения (атриум) с размещением пожарной нагрузки в виде островковой торговли, удовлетворяющий условию нераспространения пожара за счет теплового потока составляет не менее 8,9 м (рисунок 3.26).

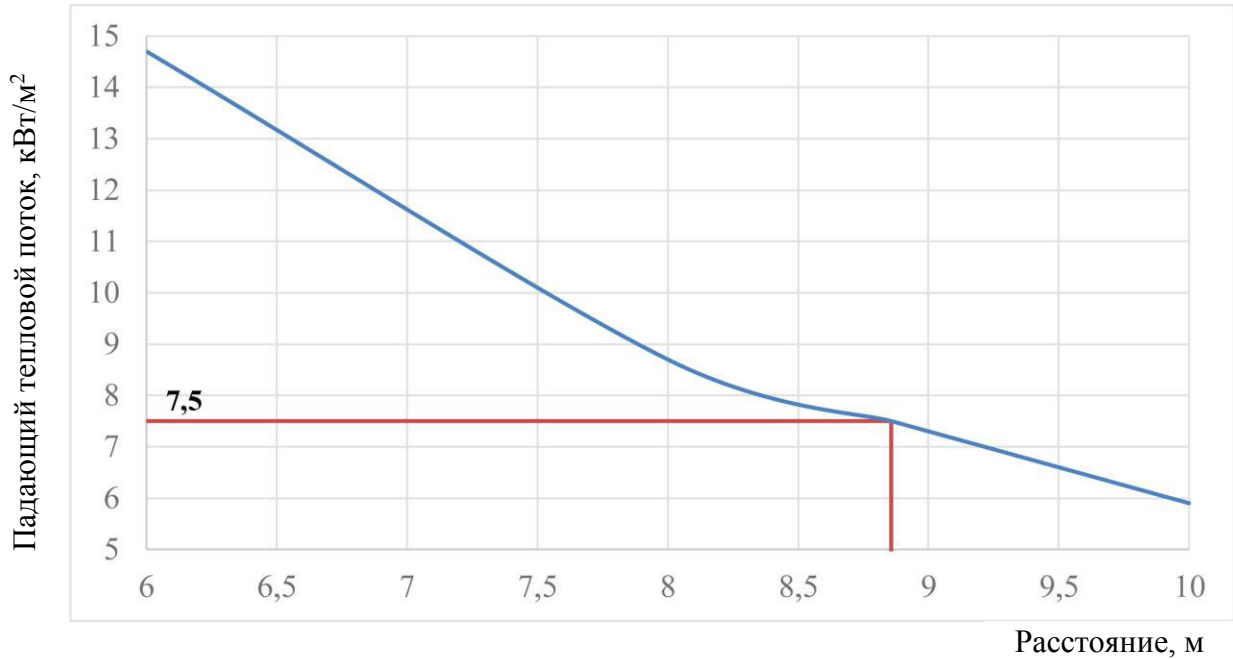


Рисунок 3.26 – Зависимость падающего теплового потока от ширины многосветного помещения (атриум)

### 3.6 Выводы по третьей главе

1. На основе натуральных наблюдений была выбрана модель объекта островковой торговли для проведения натуральных испытаний с целью получения значения интегральной интенсивности излучения пламени и зависимости высоты пламени от ширины пламени. В ходе проведения натуральных испытаний было получено значение интегральной интенсивности излучения пламени равно  $72,2 \pm 8,4$  кВт/м<sup>2</sup>, и зависимость высоты пламени от ширины пламени, которая описывается формулой (3.8).

2. Исходные данные, полученные в ходе эксперимента, использовались для моделирования процесса горения объекта островковой торговли. В процессе моделирования были получены данные по ширине многосветного помещения (атриум), препятствующего распространению пожара по тепловому потоку при воздействии лучистого теплового потока только от пламени объекта островковой торговли. Ширина многосветного помещения (атриум) составила не менее 8,2 м.

3. С использованием описанной во второй главе модели было произведено моделирование при совместном действии лучистого теплового потока от пожара в магазине с одеждой и горения объекта островковой торговли. Расчеты показали, что ширина многосветного помещения (атриум), препятствующая распространению пожара по тепловому потоку, составила не менее 8,9 м.

## ГЛАВА 4

### **ВЛИЯНИЕ ОСТЕКЛЕННОЙ ПЕРЕГОРОДКИ ИЗ ЗАКАЛЕННОГО СТЕКЛА НА УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА ЧЕРЕЗ МНОГОСВЕТНОЕ ПОМЕЩЕНИЕ (АТРИУМ)**

Стекло обладает специфическими физико-химическими свойствами. Одним из таких свойств стекла является способность частично пропускать, поглощать и отражать излучение. Известно, что стекло имеет свойства селективного пропускания спектра излучения [74, 75].

Закаленное стекло, используемое в остекленных перегородках, хорошо пропускает спектр излучения длиной до 2000 нм, резкое снижение пропускания спектра наблюдается в диапазоне 2000–3000 нм [74, 75].

Расчет прогрева светопрозрачной конструкции в виде перегородки через спектр излучения длин волн является проблематичным, поэтому было выдвинуто предположение об определении доли поглощенного, пропущенного и отраженного теплового потока через падающий тепловой поток.

#### **4.1 Теоретические основы влияния, падающего теплового потока на закаленное стекло**

Падающий тепловой поток на стекло частично отражается, частично поглощается и частично пропускается [47] (рисунок 4.1).



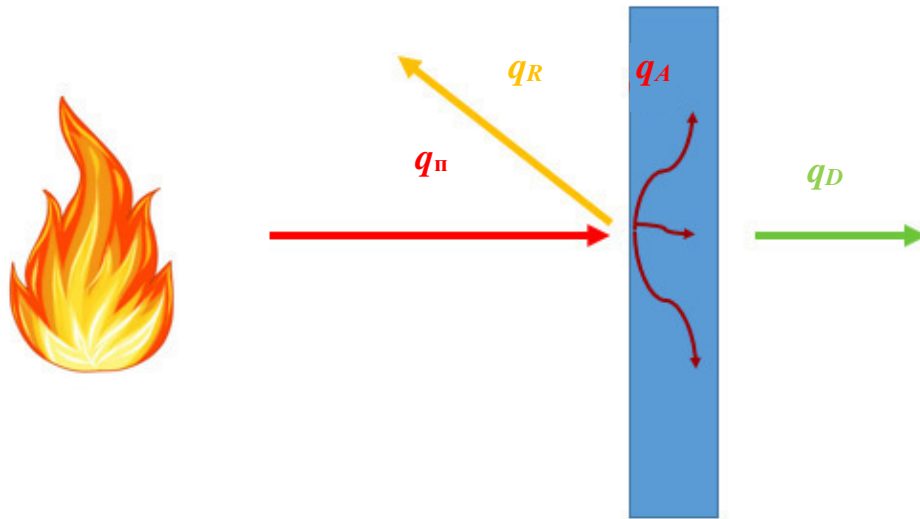


Рисунок 4.1 – Схема взаимодействия, падающего теплового потока со стеклом

Если указанные тепловые потоки отнести к падающему тепловому потоку, то уравнение сохранения энергии записывается формулой (4.1):

$$q_n = q_R + q_A + q_D, \quad (4.1)$$

где  $q_n$  – падающий тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_R$  – отраженный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_A$  – поглощенный тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_D$  – пропущенный сквозь тело тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>.

Чтобы определить, какая доля падающего теплового потока отражается, поглощается или проходит сквозь стекло, запишем формулу (4.1) в безразмерном виде. Для этого каждый член формулы поделим на падающий тепловой поток [47]:

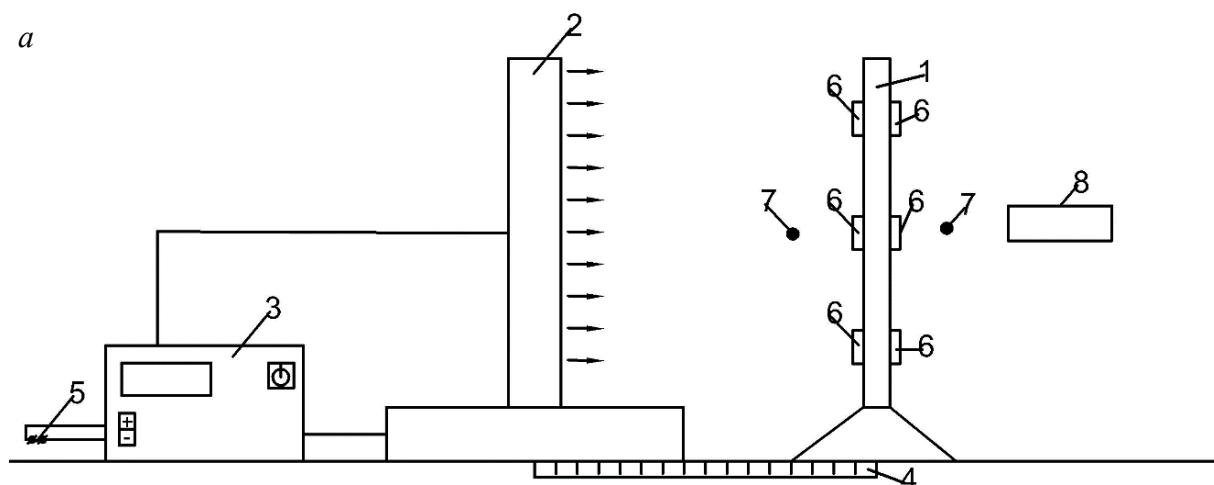
$$1 = R + A + D, \quad (4.2)$$

где  $R$  – коэффициент отражающей способности тела;  $A$  – коэффициент поглощающей способности тела;  $D$  – коэффициент пропускающей способности тела.

## 4.2 Экспериментальное определение коэффициентов

Для определения коэффициентов отражательной, поглощательной и пропускающей способности стекла была проведена серия экспериментов.

Были разработаны экспериментальные стенды для определения выше-названных коэффициентов. Схема разработанных стендов представлена на рисунке 4.2.



б

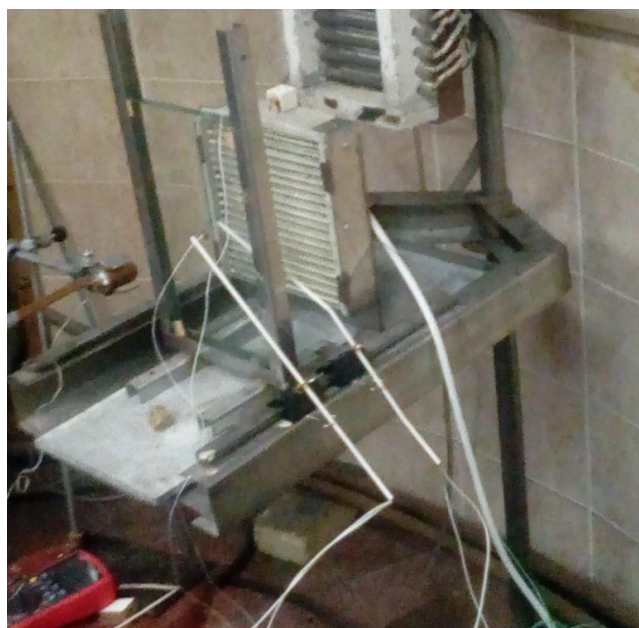


Рисунок 4.2 – Стенд для определения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей закаленного стекла:

*а* – схема стенда: 1 – образец стекла; 2 – радиационная панель; 3 – блок управления; 4 – линейка для определения расстояния от панели до образца; 5 – источник питания электроэнергией;  
*б* – лепестковые термопары; 7 – корольковые термопары; 8 – приемник теплового потока;  
*б* – вид одного из экспериментальных стендов

Схема закрепления термопар на листе закаленного стекла представлена на рисунке 4.3. Термопары крепились на термостойкие герметики.

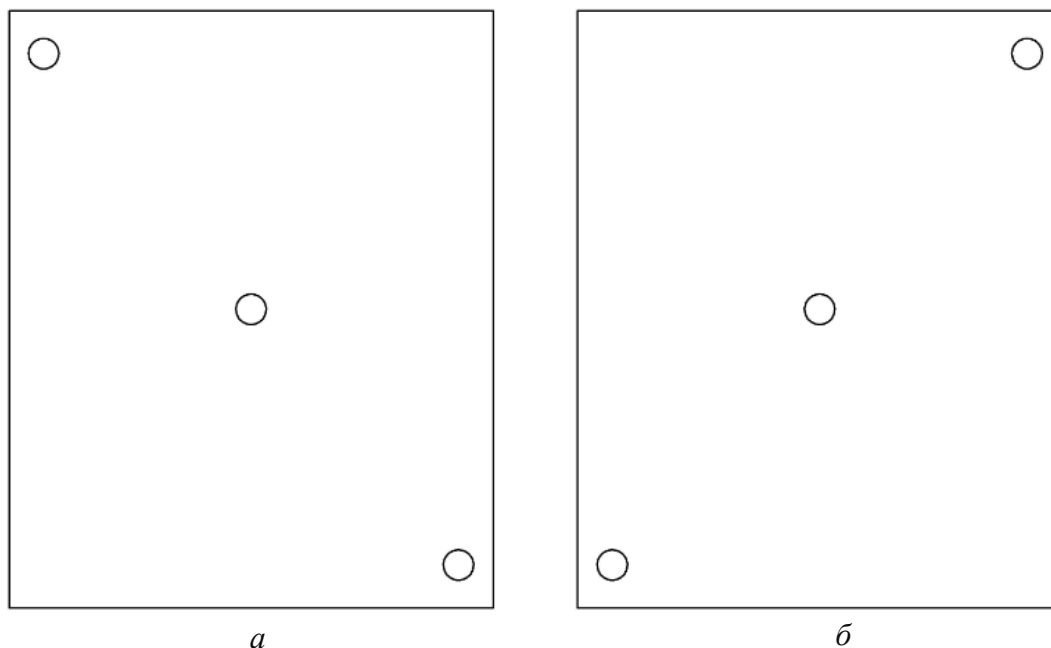


Рисунок 4.3 – Схема закрепления термопар на листе закаленного стекла:  
*a* – облучаемая сторона; *б* – необлучаемая сторона

Данные с приемника теплового потока записывались на компьютер с помощью мультиметра UNI-T UT60A (рисунок 4.4). Диапазон измерения напряжения составляет от 0,1 до 1000 В. Погрешность мультиметра при измерении напряжения составляет 1 %. Подключение к компьютеру осуществлялось через кабель-переходник с RS-232 на USB.



Рисунок 4.4 – Мультиметр UNI-T UT60A

Не во всех случаях было возможно напрямую подключить мультиметр к компьютеру для записи данных, поэтому был разработан передатчик для мультиметра (рисунок 4.5) и приемник для компьютера (рисунок 4.6).

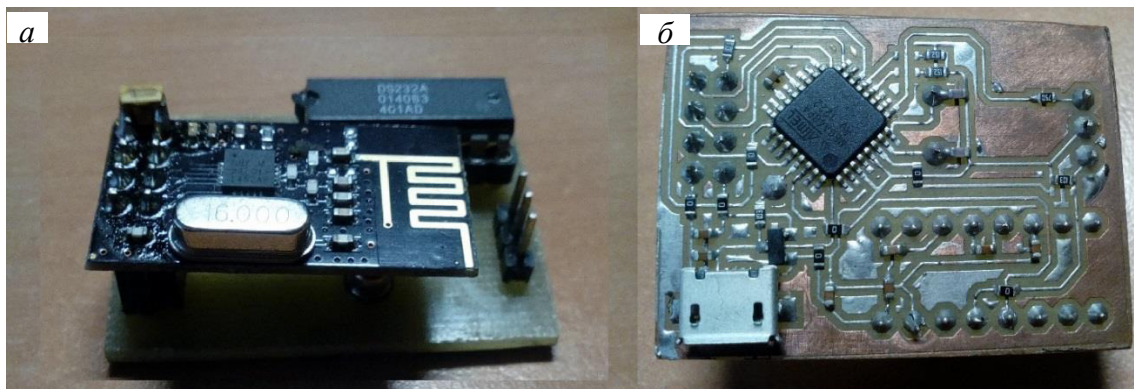


Рисунок 4.5 – Передатчик, подключаемый к мультиметру UNI-T UT60A:

*a* – вид сверху; *б* – вид снизу

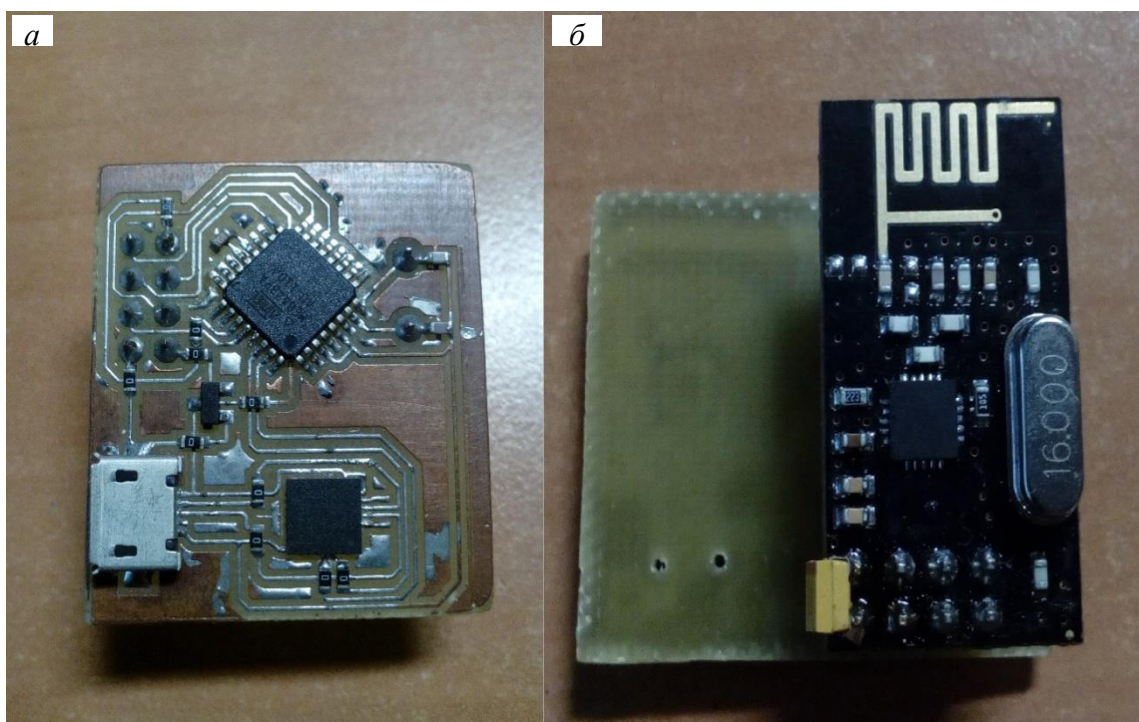


Рисунок 4.6 – Приемник, подключаемый к компьютеру:

*a* – вид снизу; *б* – вид сверху

Информация между мультиметром и приемником передавались посредством радиоканала: частота канала – 2,4 ГГц. Схема подключения представлена на рисунке 4.7.

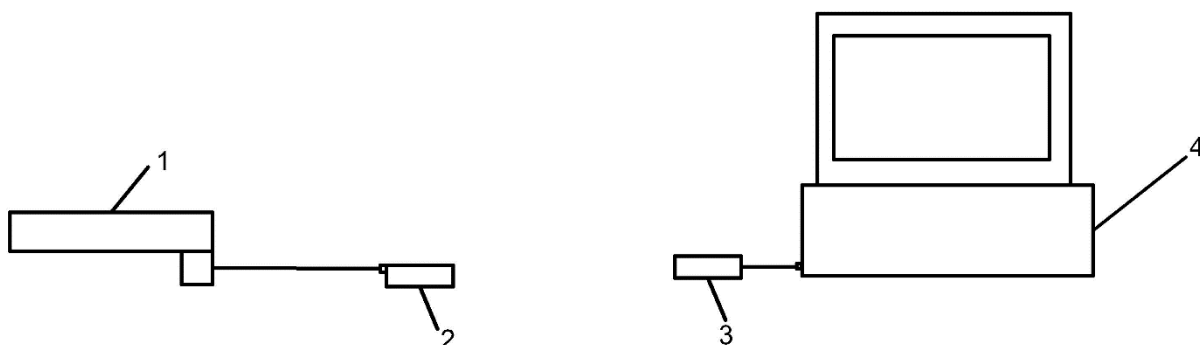


Рисунок 4.7 – Схема подключения мультиметра UNI-T UT60A по радиоканалу к компьютеру:

1 – мультиметр UNI-T UT60A; 2 – передатчик; 3 – приемник; 4 – компьютер

Запись данных на компьютер с термопар осуществлялась с помощью термометра многоканального ТМ 5131 произведенного компанией «Элемер» (рисунок 4.8). Диапазон измерения температуры от  $-50$  до  $+2500$  °С. Погрешность прибора составляет 0,25 %. Подключение к компьютеру осуществлялось через кабель-переходник с RS-232 на USB.



Рисунок 4.8 – Термометр многоканальный ТМ 5131 [147]

Измерение температуры поверхности стекла производилось с помощью лепестковых термопар «хромель – алюмель» (рисунок 4.9). Диапазон измерения температур термопары составлял от  $-40$  до  $600$  °С.



Рисунок 4.9 – Лепестковые термопары типа «хромель – алюмель»

Температура среды измерялась с помощью корольковых термопар типа «хромель – алюмель» (рисунок 4.10). Диапазон измерения температур термопары в данном случае составлял от  $-40$  до  $1000$  °С.



Рисунок 4.10 – Корольковые термопары типа «хромель – алюмель»

### 4.2.1 Методика проведения эксперимента

Методика проведения эксперимента:

1. Приемник теплового потока устанавливался перед каждым экспериментом на некотором фиксированном расстоянии от излучающей панели для регистрации теплового потока от излучающей панели.

2. После того как значение теплового потока от панели стабилизируется, приемник теплового потока извлекался, и на его место устанавливался лист закаленного стекла с прикрепленными лепестковыми термопарами, а корольковые термопары устанавливались на расстоянии 1–2 см от образца для фиксации данных.

3. Приемник теплового потока устанавливался на фиксированном расстоянии от необлучаемой поверхности стекла для фиксации прошедшего теплового потока.

4. Лист закаленного стекла подвергался воздействию теплового потока продолжительностью 45–65 минут. Фиксация температуры осуществлялась каждую секунду.

### 4.2.2 Алгоритм обработки экспериментальных данных

Полученные в ходе эксперимента данные обрабатывались в следующей последовательности:

1. Падающий тепловой поток находился по формуле (4.3):

$$q_{\text{п}} = q \varepsilon_{\text{ст}}, \quad (4.3)$$

где  $q$  – тепловой поток, регистрируемый приемником теплового потока, Вт/м<sup>2</sup>;  $\varepsilon_{\text{ст}}$  – степень черноты стекла.

2. Отраженный тепловой поток вычислялся по формуле (4.4) [47, 49]:

$$q_R = \alpha_1 (t_1 - t_2), \quad (4.4)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи на обогреваемой стороне, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $t_1$  – температура воздуха с обогреваемой стороны, К;  $t_2$  – температура стекла с обогреваемой стороны, К.

3. Поглощенный тепловой поток вычислялся по формуле (4.5) [47, 49]:

$$q_A = \frac{\lambda}{\delta} (t_2 - t_3), \quad (4.5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности стекла, Вт/(м·К);  $\delta$  – толщина стекла, м;  $t_2$  – температура стекла с обогреваемой стороны, К;  $t_3$  – температура стекла с необогреваемой стороны, К.

4. Пропущенный тепловой поток вычислялся по формуле (4.6) [47, 49]:

$$q_D = \alpha_2 (t_3 - t_4), \quad (4.6)$$

где  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>К);  $t_3$  – температура стекла с необогреваемой стороны, К;  $t_4$  – температура воздуха с необогреваемой стороны, К.

5. Коэффициенты отражающей, поглощающей и пропускающей способностей стекла брались с учетом значений отраженного, поглощенного и пропущенного тепловых потоков в один промежуток времени.

Значения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей тела находились по следующим формулам (4.7), (4.8) и (4.9):

$$R = \frac{q_R}{q_n}, \quad (4.7)$$

$$A = \frac{q_A}{q_n}, \quad (4.8)$$

$$D = \frac{q_D}{q_n}. \quad (4.9)$$

6. Средние значения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей тела получены для каждого значения падающего теплового потока с допущением, что значения коэффициентов подчиняются закону нормального распределения, а критерием для определения погрешностей было выбрано правило трех сигм [148–151].



### 4.2.3 Результаты обработки экспериментальных данных

На рисунках 4.11, 4.12 и 4.13 изображены графики изменения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей стекла в зависимости от падающего теплового потока для закаленных стекол толщиной 6, 8 и 10 мм.

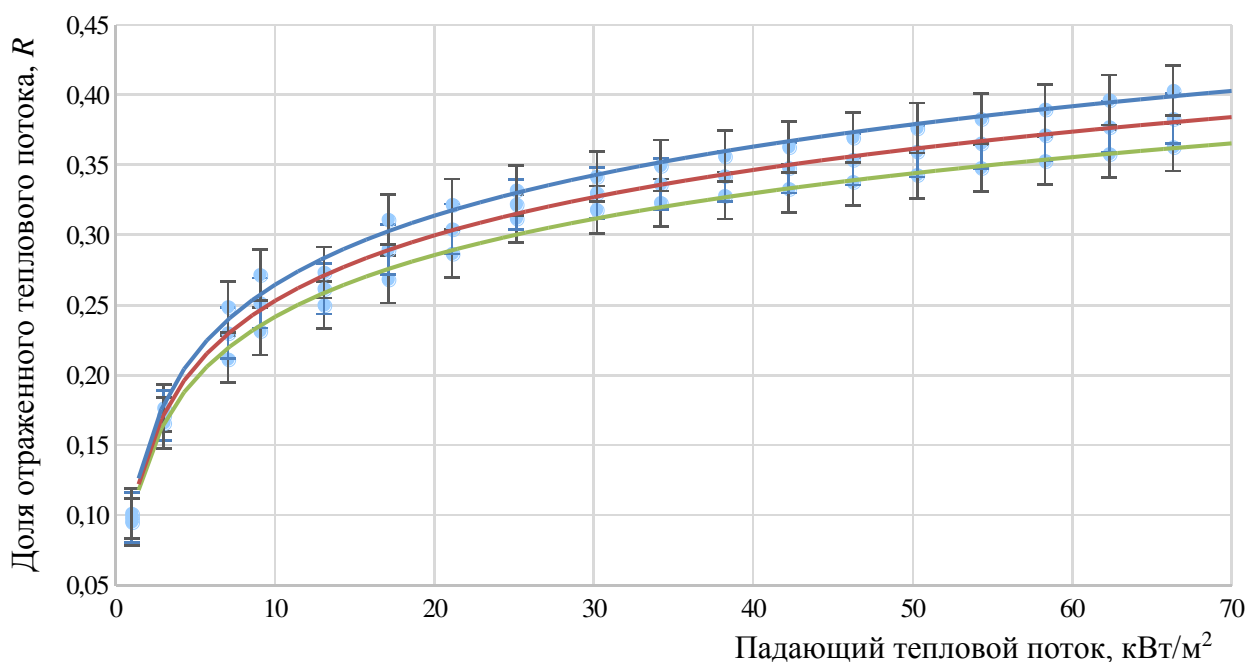


Рисунок 4.11 – Зависимость коэффициента отражающей способности закаленного стекла ( $R$ ) от падающего теплового потока:

- — экспериментальные данные для закаленного стекла 6 мм;
- — экспериментальные данные для закаленного стекла 8 мм;
- — экспериментальные данные для закаленного стекла 10 мм

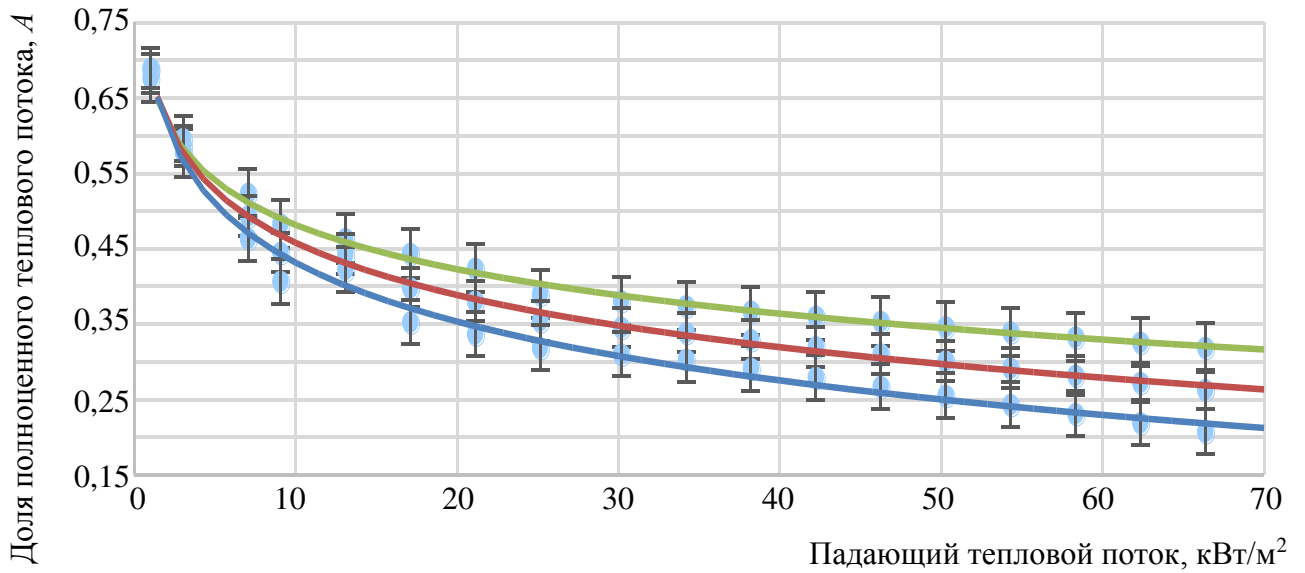


Рисунок 4.12– Зависимость коэффициента поглощающей способности закаленного стекла ( $A$ ) от падающего теплового потока:

- — экспериментальные данные для закаленного стекла 6 мм;
- — экспериментальные данные для закаленного стекла 8 мм;
- — экспериментальные данные для закаленного стекла 10 мм

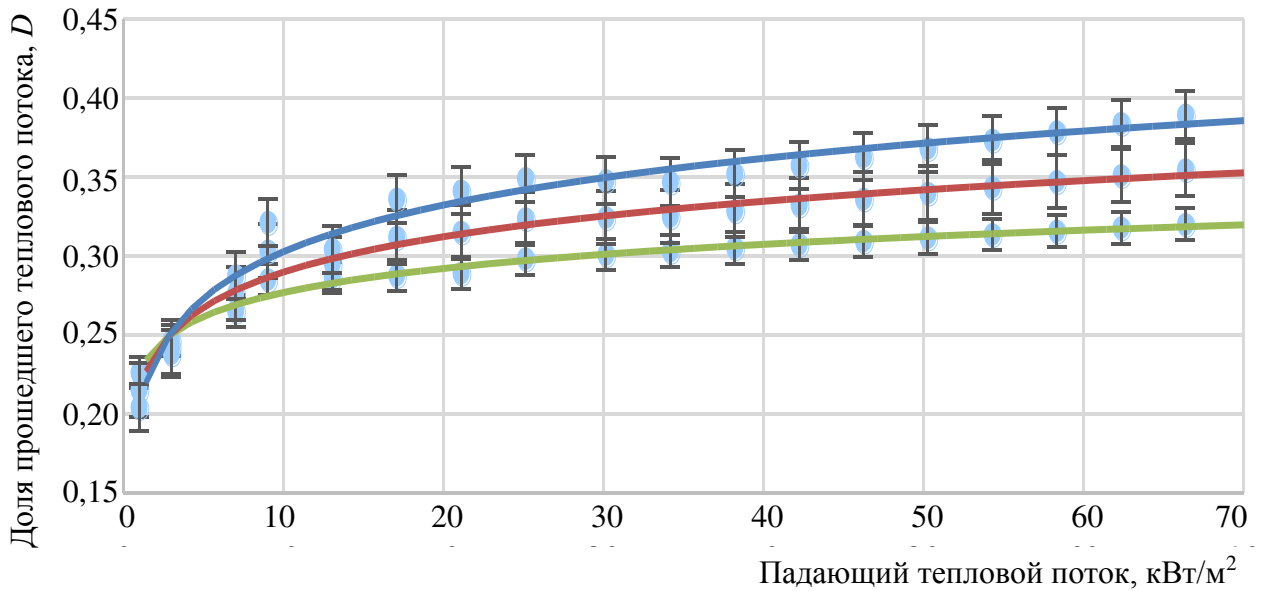


Рисунок 4.13 – Зависимость коэффициента пропускающей способности закаленного стекла ( $D$ ) от падающего теплового потока:

- — экспериментальные данные для закаленного стекла 6 мм;
- — экспериментальные данные для закаленного стекла 8 мм;
- — экспериментальные данные для закаленного стекла 10 мм

Как видно из графиков, представленных на рисунках 4.11, 4.12 и 4.13, значения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей стекла зависят от его толщины и падающего теплового потока. Коэффициенты отражающей, поглощающей и пропускающей способностей стекла можно представить в виде функций, зависящих от двух переменных: от толщины стекла и падающего теплового потока, которые представлены в формулах (4.10), (4.11) и (4.12):

$$R = f(d, q_{\text{п}}), \quad (4.10)$$

$$A = f(d, q_{\text{п}}), \quad (4.11)$$

$$D = f(d, q_{\text{п}}), \quad (4.12)$$

где  $d$  – толщина стекла, мм.

Полученные экспериментальные данные были обработаны с помощью программного комплекса, состоящего из двух программ MicrosoftExcel и Attestat, получены эмпирические зависимости коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей стекла от падающего теплового потока при толщине стекла 6, 8 и 10 мм.

При толщине закаленного стекла  $d = 6$  мм получены следующие зависимости коэффициентов:

$$R = 0,0711 \ln(q_{\text{п}}) + 0,1009; \quad (4.13)$$

$$A = 0,6911 - 0,1130 \ln(q_{\text{п}}); \quad (4.14)$$

$$D = 0,0427(q_{\text{п}}) + 0,2042. \quad (4.15)$$

Достоверность полученных аппроксимированных зависимостей составляет 0,9934, 0,9867 и 0,9694, соответственно.

При толщине закаленного стекла  $d = 8$  мм получены зависимости коэффициентов:

$$R = 0,0673 \ln(q_{\text{п}}) + 0,0980; \quad (4.16)$$

$$A = 0,6880 - 0,1000 \ln(q_{\text{п}}); \quad (4.17)$$

$$D = 0,0324(q_{\text{п}}) + 0,2151. \quad (4.18)$$

Достоверность полученных аппроксимированных зависимостей составляет 0,998, 0,9951 и 0,9789, соответственно.

При толщине закаленного стекла  $d = 10$  мм получены следующие зависимости коэффициентов:

$$R = 0,0636 \ln(q_{\text{п}}) + 0,0952; \quad (4.19)$$

$$A = 0,6771 - 0,0850 \ln(q_{\text{п}}); \quad (4.20)$$

$$D = 0,0221(q_{\text{п}}) + 0,2259. \quad (4.21)$$

Достоверность полученных аппроксимированных зависимостей составляет 0,9942, 0,9962 и 0,9839, соответственно.

Зависимости получены в интервале падающего теплового потока от 1,0 до 66,4 кВт/м<sup>2</sup>.

В работах [152, 153] представлены значения коэффициентов поглощающей и пропускающей способностей стекла (0,45 и 0,33 соответственно), в этих работах данные коэффициенты представлены как константы, не учитывающие такие факторы, как толщина стекла и падающий тепловой поток.

### **4.3 Математическая модель прогрева закаленного стекла с учетом поглощенного теплового потока**

Температура конструкции при стационарном тепловом потоке в граничных условиях второго рода определяется по формуле (4.22) [43, 154]

$$T(x, \tau) = T_0 + \frac{2q_{\text{п}}}{\lambda} \sqrt{a\tau} \cdot \text{ierfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right), \quad (4.22)$$

где  $T(x, \tau)$  – температура конструкции, °С;  $x$  – координата по оси  $x$ , м;  $\tau$  – время прогрева, с;  $q_{\text{п}}$  – падающий тепловой поток Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности

сти материала, Вт/(м·К);  $a$  – коэффициент температуропроводности материала, м<sup>2</sup>/с;  $ierfc$  – функция ошибок.

На пожаре все процессы протекают не стационарно, в связи с этим была выведена формула (4.23) для расчета температуры на поверхности конструкции при нестационарном тепловом потоке [30, 140]:

$$T(0, \tau) = T_0 + \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{a}{\lambda}} \sqrt{q_{\text{п}}(\tau) \int_0^{\tau} q_{\text{п}}(\tau) d\tau}, \quad (4.23)$$

где  $q_{\text{п}}(\tau)$  – функция падающего теплового потока от времени.

Формулы (4.22) и (4.23) обладают существенным недостатком: они не предназначены для расчета светопрозрачных конструкций, так как эти уравнения не учитывают поглощательную способность стекла ( $A$ ).

Предложена формула (4.24) для расчета прогрева светопрозрачных конструкций при граничных условиях второго рода при нестационарном режиме:

$$T(0, \tau) = T_0 + \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{a}{\lambda}} \sqrt{q_{\text{пог}}(\tau) \int_0^{\tau} q_{\text{пог}}(\tau) d\tau}, \quad (4.24)$$

где  $q_{\text{пог}}(\tau)$  – функция поглощенного теплового потока от времени, Вт/м<sup>2</sup>.

Функция поглощенного теплового потока рассчитывается по формуле (4.25)

$$q_{\text{пог}}(\tau) = q_{\text{п}}(\tau) A(q_{\text{п}}). \quad (4.25)$$

Достоверность полученных зависимостей коэффициентов поглощательной способности стекла, полученных данных в ходе эксперимента и изображенных на рисунках 4.11, 4.12 и 4.13 была проверена на двух тестовых задачах. Обе тестовые задачи сводились к определению разницы между температурой стекла, полученной экспериментально, и температурами стекла, рассчитанными без учета поглощенного теплового потока. После проведенных экспериментов была определена разница между температурой стекла, полученной экспериментально, и температурами стекла, рассчитанными с учетом поглощенного падающего теплового потока.

В первой тестовой задаче использовался стационарный падающий тепловой поток со значениями в диапазоне от 1,0 до 66,4 кВт/м<sup>2</sup>, температура стекла

рассчитывалась без учета поглощенного падающего теплового потока по формуле (4.22), а с учетом поглощенного падающего теплового потока – по формуле (4.26):

$$T(x, \tau) = T_0 + A \frac{2q_n}{\lambda} \sqrt{a\tau} \cdot \text{ierfc} \left( \frac{x}{2\sqrt{a\tau}} \right). \quad (4.26)$$

Во второй тестовой задаче использовался нестационарный лучистый тепловой поток. Для нестационарного теплового потока было выбрано два варианта изменения теплового потока во времени для подтверждения полученных результатов (рисунки 4.14; 4.15).

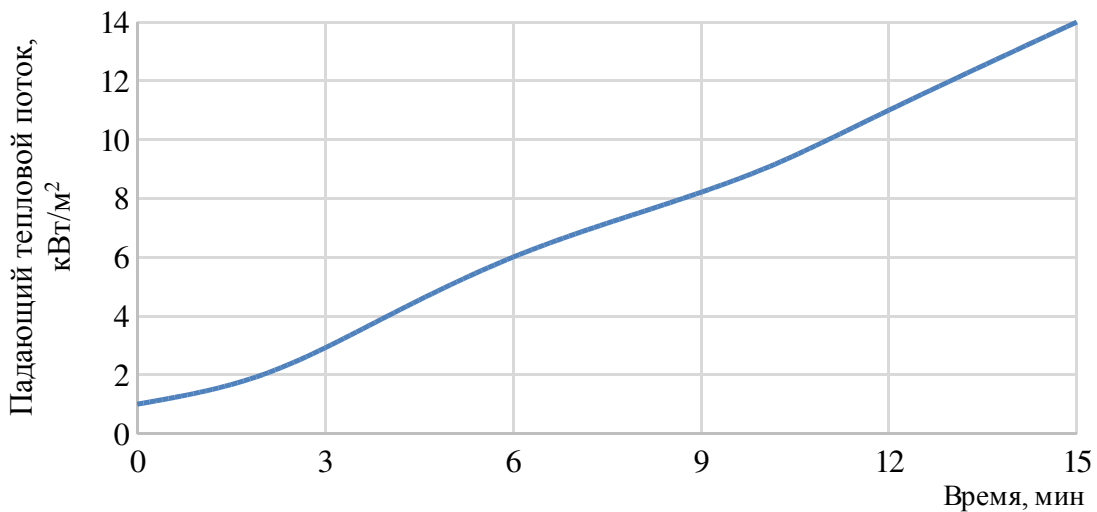


Рисунок 4.14 – Зависимость падающего теплового потока от времени при медленном нагреве образцов

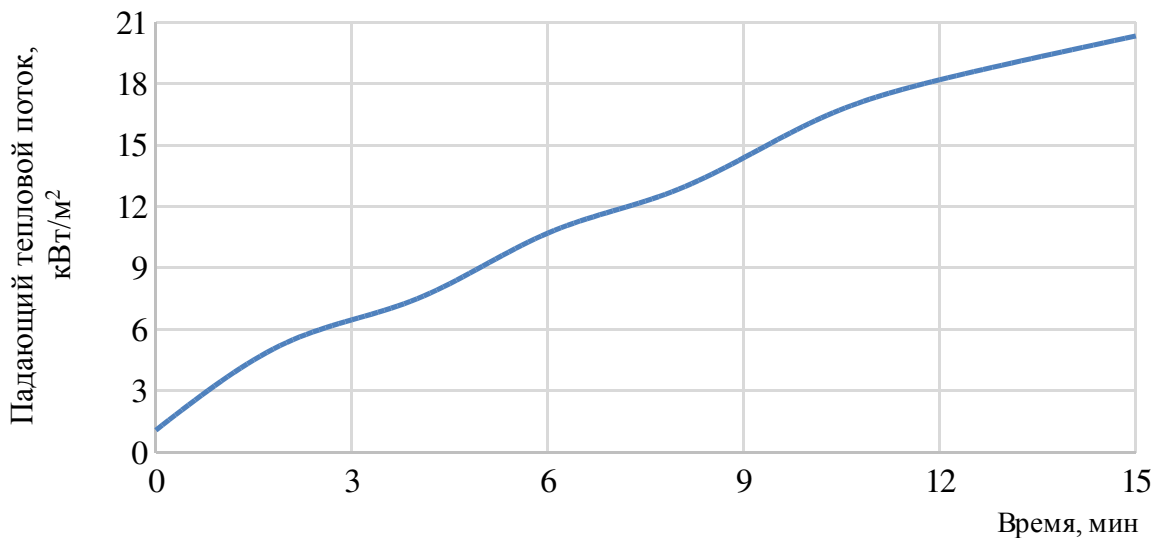


Рисунок 4.15 – Зависимость падающего теплового потока от времени при быстром нагреве образцов

Температура стекла рассчитывалась без учета поглощенного падающего теплового потока по уравнению (4.23), с учетом этого показателя – по уравнению (4.24).

Среднее значение относительного отклонения по первой тестовой задаче между экспериментально полученной температурой и температурой, рассчитанной без учета поглощенного теплового потока, составила более 100 %, а значение расхождения между экспериментально полученной температурой и температурой, рассчитанной с учетом поглощенного падающего теплового потока, составила 10–12 %.

Среднее значение относительного отклонения по второй тестовой задаче между экспериментально полученной температурой и температурой, рассчитанной без учета поглощенного теплового потока, составило более 150 %, а значение относительного отклонения между экспериментально полученной температурой и температурой, рассчитанной с учетом поглощенного теплового потока, составило 15–20 %. На рисунках 4.16 и 4.17 представлены сравнения некоторых результатов расчетов температуры закаленного стекла 6 мм с учетом поглощенного теплового потока и температуры стекла, полученной в ходе эксперимента.

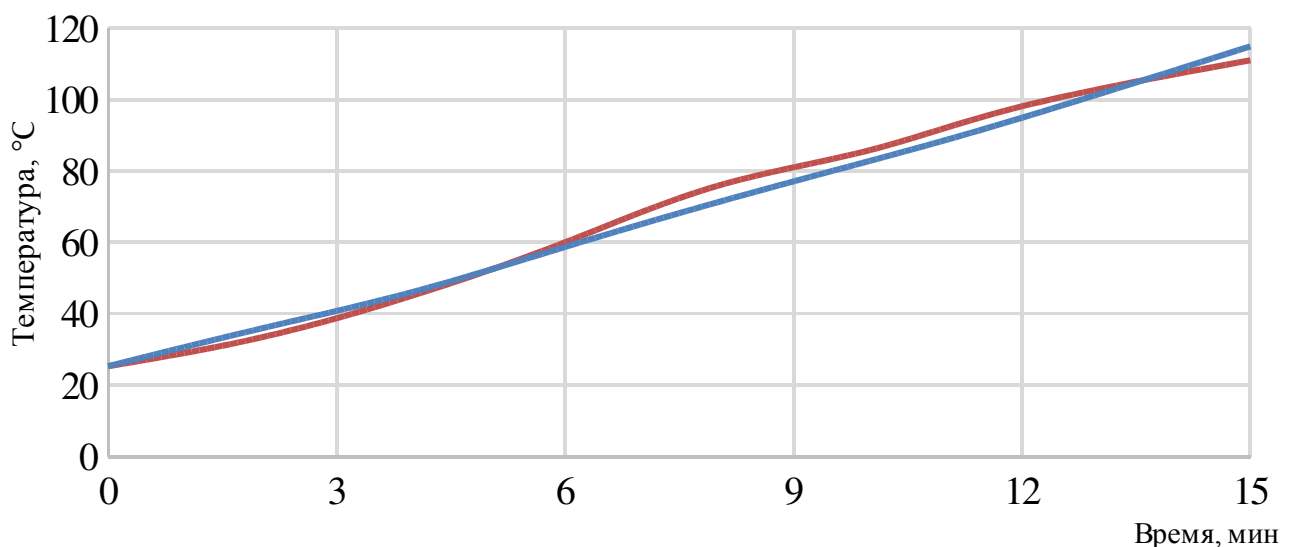


Рисунок 4.16 – Зависимость температуры образца стекла от времени при медленном нагреве:

— — расчетная; — — экспериментальная

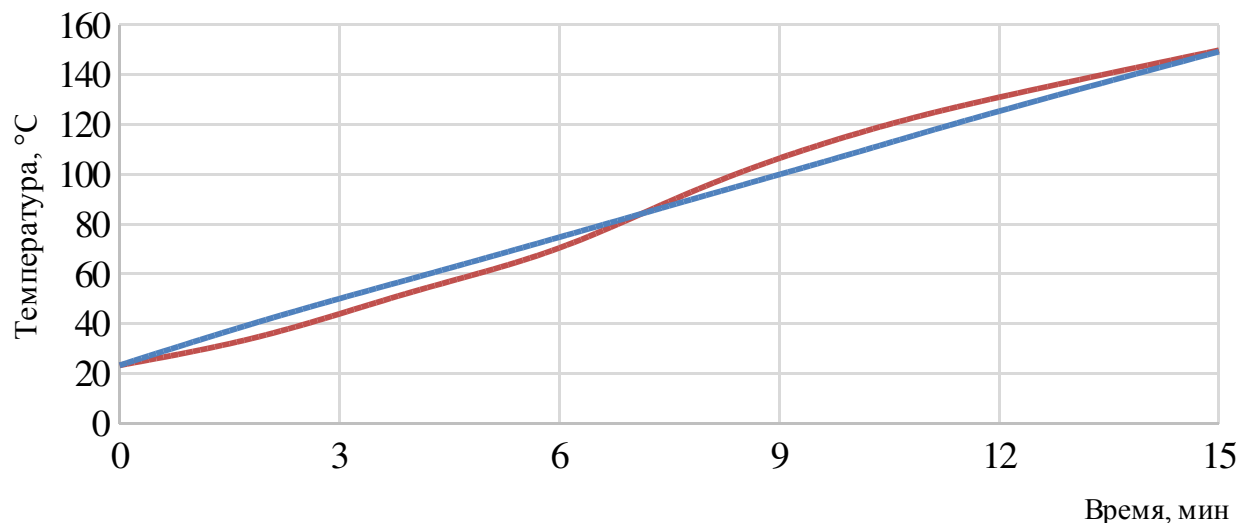


Рисунок 4.17 – Зависимость температуры образца стекла от времени при быстром нагреве:

— расчетная; — экспериментальная

#### **4.4 Определение ширины многосветного помещения (атриум) с учетом светопрозрачной перегородки со светопрозрачным заполнением из закаленного стекла**

Проведены расчеты по определению ширины многосветного помещения при наличии остекленных (толщина закаленного стекла 6, 8, 10 мм) перегородок с учетом поглощения теплового потока.

При 15 минутном воздействии лучистого теплового потока [122–133] видно из графиков нагрева (рисунки 4.18, 4.19, 4.20), что температура на стекле не достигает критического значения 350 °C – разрушение закаленного стекла не произойдет. Поэтому можно считать, что до подачи первых водяных стволов первыми подразделениями пожарной охраны на тушение пожара светопрозрачное заполнение в виде закаленного стекла будет сохранять свою целостность и препятствовать распространению пожара за счет теплового потока.



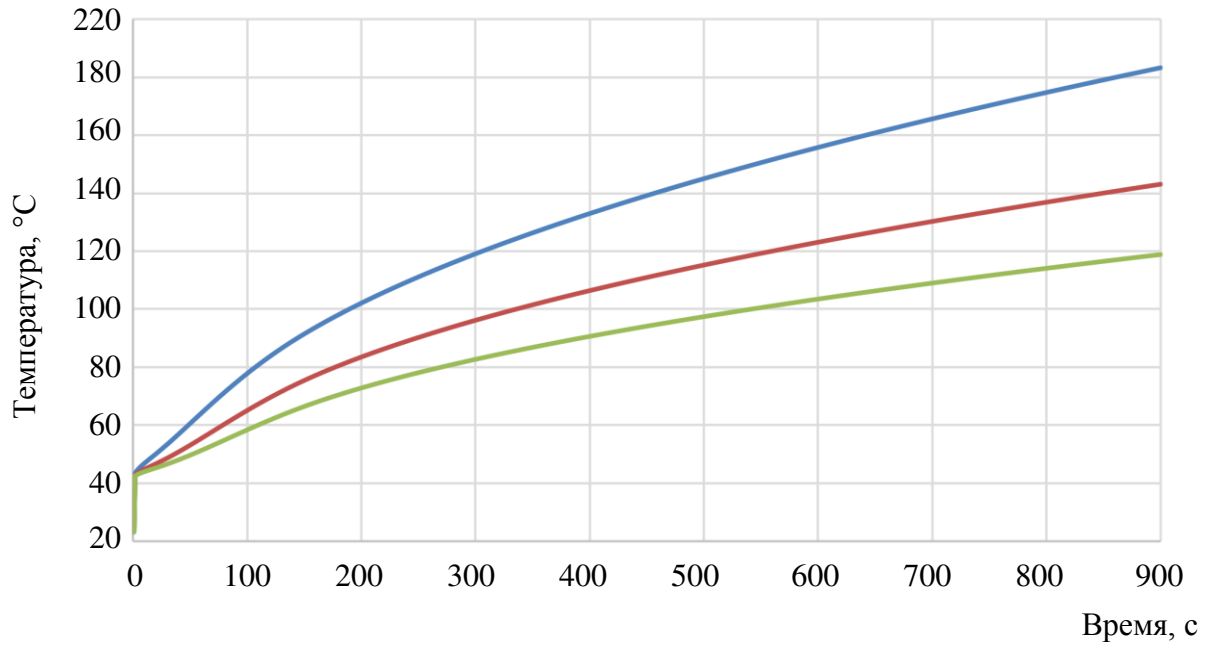


Рисунок 4.18 – Зависимость температуры нагрева стекла от времени воздействия, падающего теплового потока при толщине закаленного стекла 6 мм

— 6 м; — 8 м; — 10 м

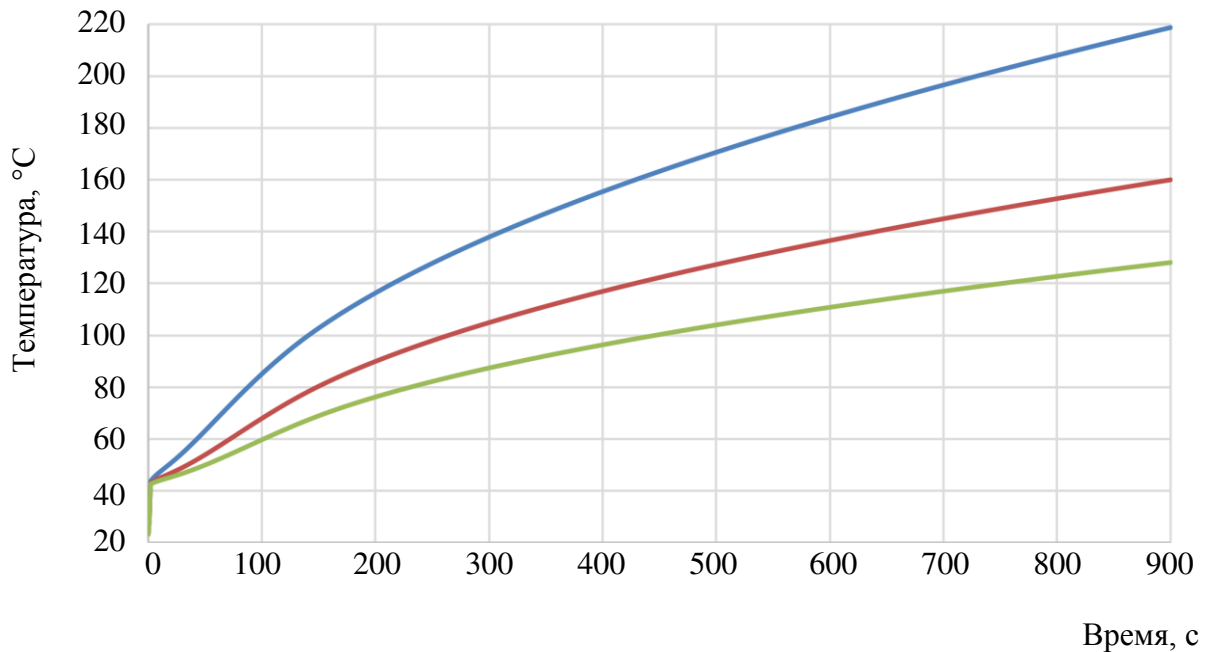


Рисунок 4.19 – Зависимость температуры нагрева стекла от времени воздействия, падающего теплового потока при толщине закаленного стекла 8 мм:

— 6 м; — 8 м; — 10 м

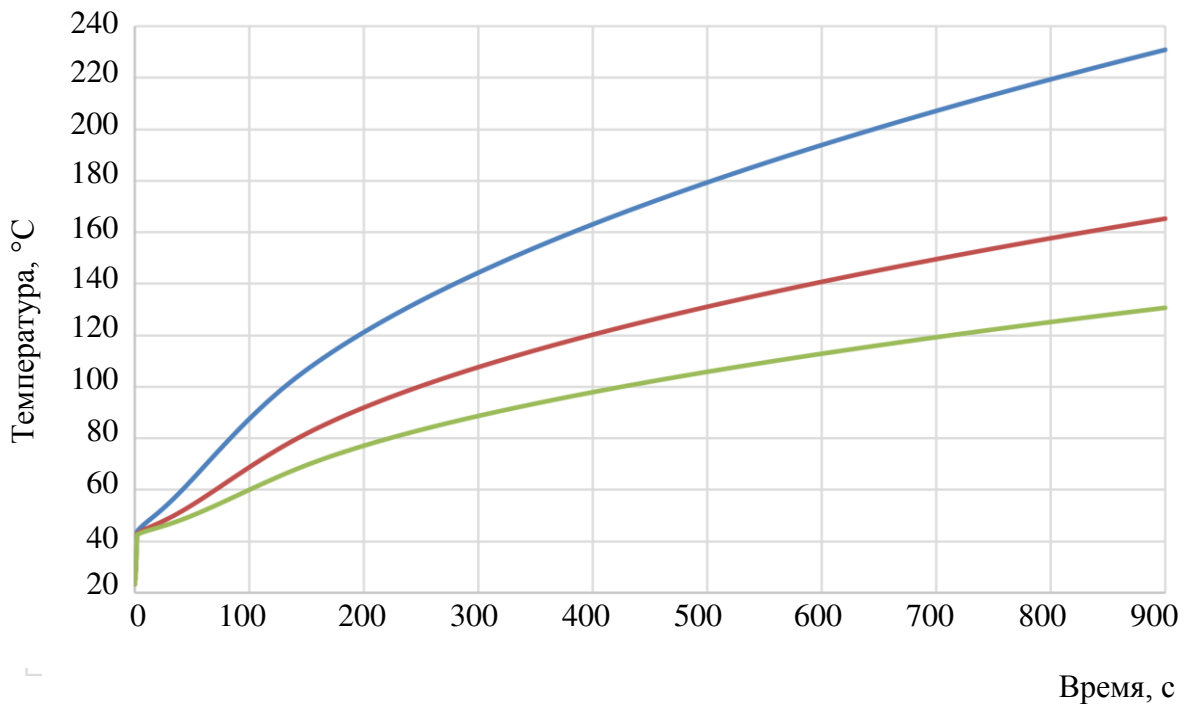


Рисунок 4.20 – Зависимость температуры нагрева стекла от времени воздействия, падающего теплового потока при толщине закаленного стекла 10 мм:

— 6 м; — 8 м; — 10 м

Обследования существующих зданий центров показали, что между светопрозрачным заполнением перегородки и горючей нагрузкой в магазине есть небольшая зона, свободная от пожарной нагрузки. В 80 % случаях значение свободной зоны от пожарной нагрузки лежит выше значения 20 см.

На рисунке 4.21 представлены значения падающего теплового потока на расстоянии 20 см от светопрозрачной перегородки с учетом прошедшего теплового потока через закаленное стекло 6, 8, 10 мм при ширине многосветного помещения (атриум) 6–10 м и расположении объекта островковой торговли по середине многосветного помещения (атриум).

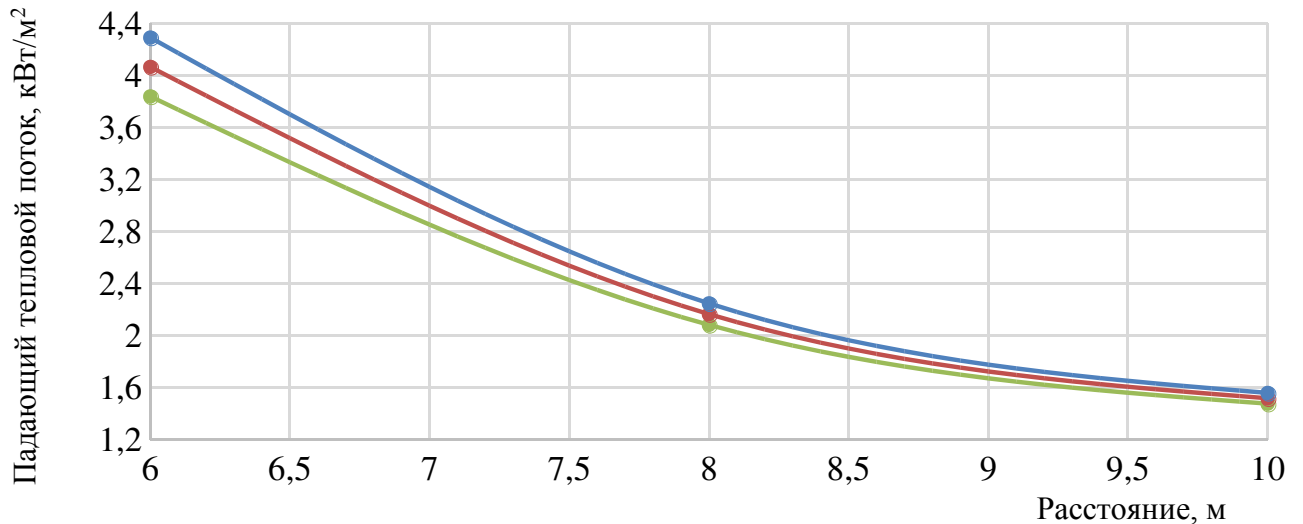


Рисунок 4.21 – Максимальный тепловой поток с учетом прошедшего теплового потока при ширине объекта островковой торговли 2,4 м и длине 7,4 м:

—●— 6 мм; —●— 8 мм; —●— 10 мм

Как видно из расчетов, при ширине многосветного помещения (атриум) не менее 6,4 м и островковой торговли шириной 2,4 м и длиной 7,4 м плотность теплового потока за остекленной перегородкой на расстоянии 20 см не достигнет критического значения в 7,5 кВт/м². На основании этого можно считать, что распространение пожара посредством теплового потока от одновременного воздействия тепловых потоков от магазина и островковой торговли не произойдет.

Как говорилось выше, тепловой поток, проходящий через закаленное стекло, частично отражается, поглощается и проходит через стекло, за счет этого эффекта происходит уменьшение величины теплового потока, идущего на нагрев стекла.

#### 4.5 Выводы по четвертой главе

1. Стекло обладает свойством селективного пропускания спектра излучения и может также отражать, поглощать и пропускать лучистый тепловой поток. Эти свойства влияют на распространение пожара через закаленное стекло светопрозрачной перегородки.

Были проведены маломасштабные эксперименты по определению коэффициентов пропускающей, поглощающей и отражающей способностям закаленного стекла толщиной 6, 8 и 10 мм, по результатам которых были получены значения этих коэффициентов и сделаны выводы, что коэффициенты зависят от толщины стекла и величины падающего теплового потока.

2. На основе полученных данных о поглощающей, отражающей и пропускающей способностях стекла был произведен ряд расчетов, подтверждающих, что светопрозрачное заполнение перегородки в виде закаленного стекла толщиной 6, 8 и 10 мм не разрушатся в течение 15 минут, т. е. до прибытия первых пожарных подразделений, соответственно, воспламенение материалов, находящихся за этой перегородкой, в течение указанного времени не произойдет.

3. Ширина многосветного помещения (атриум), препятствующая распространению пожара, должна составлять не менее 6,4 м при следующих условиях:

– при одновременном горении торгового помещения, примыкающего к многосветному помещению (атриум), и объекта островковой торговли;

– при наличии между объектом островковой торговли и магазином с пожарной нагрузкой на противоположной стороне многосветного помещения (атриум) перегородки со светопрозрачным заполнением в виде закаленного стекла толщиной 6, 8 и 10 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ торгово-развлекательных центров, в ходе которого было выявлено, что наиболее часто встречаемым объемно-планировочным решением в торгово-развлекательных центрах является многосветное помещение (атриум) с центральным расположением на всю длину и высоту здания и с продольным расположением помещений (в основном магазинов) на галереях.

2. На основе натуральных наблюдений разработана классификация пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум). Выявлено, что наиболее часто встречаемой пожарной нагрузкой в многосветном помещении (атриум) являются объекты островковой торговли с различной продукцией. В свою очередь, объекты островковой торговли можно классифицировать по содержанию пожарной нагрузки в конструкции объекта. Часто встречаемыми являются объекты, изготовленные из ДСП и стекла. Основной продукцией объектов островковой торговли являются следующие изделия: часы, ювелирные украшения, чехлы для сотовых телефонов и кожгалантерея, представленная кошельками, обложками, сумками. Определено значение удельной пожарной нагрузки объекта островковой торговли, которое равно  $594,7 \pm 94,7$  МДж/м<sup>2</sup>.

3. На основе результатов проведенных экспериментов получены: эмпирическая зависимость высоты пламени от ширины при горении объектов островковой торговли; значение интегральной интенсивности излучения пламени при горении объектов островковой торговли. Полученные данные позволяют рассчитать падающий тепловой поток от пламени горящего объекта островковой торговли, с помощью чего установить безопасное расстояние от объекта островковой торговли.

4. Стекло обладает специфическими физико-химическими свойствами. Одним из таких свойств стекла является способность частично пропускать, поглощать и отражать излучение. В связи с этим были произведены серии экспериментов для определения данных свойств для закаленного стекла, так как закаленное стекло наиболее часто используется в остекленных перегородках торгово-

развлекательных центров. На основе результатов экспериментов получены эмпирические зависимости коэффициентов пропускающей, поглощающей и отражающей способности закаленного стекла от падающего теплового потока.

5. Проведенный анализ объемно-планировочных решений торгово-развлекательных центров, а также пожарной нагрузки, находящихся в помещениях торговли и в многосветных помещениях (атриумы), позволил разработать алгоритм для оценки возможности распространения пожара через многосветное помещение (атриум). На основании данного алгоритма было обосновано требование к ширине многосветного помещения (атриум), ограничивающие распространение пожара через него при наличии пожарной нагрузки в виде островковой торговли.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. [Электронный ресурс]: свод правил (утв. приказом МЧС России от 21.11.2012 № 693) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 05.06.2015).
2. СТ СЭВ 3676–83. Здания жилые и общественные. Основные положения проектирования // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).
3. Пронин, Д. Г. Научно-техническое обоснование размеров пожарных отсеков в зданиях и сооружениях: монография [Текст] / Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко – М.: Пожнаука, 2014. – 104 с.
4. Серков, Б. Б. О выборе противопожарных преград в торговоразвлекательных комплексах [Электронный ресурс] / Б. Б. Серков, Т. Ф. Фирсова, В. И. Поляков // Технология техносферной безопасности. – 2014 – № 4 (44). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-4/10-04-12.ttb.pdf> (Дата обращения 02.02.2015).
5. Дженкинс, Д. Анализ инвестиционного рынка в России за 2016 год от Jones Lang LaSalle Company, Russia & CIS [Текст] / Д. Дженкинс // Citymagazine. – 2016. – С. 115–118.
6. Бизнес возможности: видео новости. Существует ли проблема трудоустройства [Электронный ресурс] // Телеканал NTD TV [сайт]. Режим доступа: <http://ntdtv.ru/biznes-vozmozhnosti/sushchestvuet-li-problema-trudoustroistva> (Дата обращения 13.06.2017).
7. Отдых с детьми в ОАЭ. Парк развлечений Ferrari World в ОАЭ [Электронный ресурс] // Путешествуем по России и за ее пределами (блог туриста)

[сайт]. Режим доступа: <http://russoturista.ru/turizm-i-puteshestviya/otdyxоae/comment-page-1/> (Дата обращения 13.06.2017).

8. Культура: новости. Казанцам покажут 8 смешных и мудрых короткометражек [Электронный ресурс] // ТемаКазань – каталог полезной информации [сайт]. Режим доступа: <http://www.temakazan.ru/news/culture/item/30006/> (Дата обращения 13.06.2017).

9. Культура: новости. В торговом центре Краснодара презентовали выставку в рамках PhotoVisa [Электронный ресурс] // Кубань 24 [сайт]. Режим доступа: <http://kuban24.tv/item/v-torgovom-tsentre-krasnodara-prezentovali-vyistavku-v-ramkah-photovisa> (Дата обращения 13.06.2017).

10. Каталог магазинов [Электронный ресурс] // Европа Липецк [сайт]. Режим доступа: <http://eshopsinfo.ru/hojqijj/img215008.jpg> (Дата обращения 13.06.2017).

11. Объекты: торговый центр «Зиг-Заг» [Электронный ресурс] // LTD Realty – Commercial property agency [сайт]. Режим доступа: <http://ltdrealty.ru/obekty/torgovyy-tsentr-zig-zag/> (Дата обращения 13.06.2017).

12. Список секций. Фитнес-клуб Alex Fitness [Электронный ресурс] // Карта спорта [сайт]. Режим доступа: [http://kartasporta.ru/catalogue/sport/fitnes\\_klub\\_alex\\_fitness\\_v\\_trts\\_mariel/](http://kartasporta.ru/catalogue/sport/fitnes_klub_alex_fitness_v_trts_mariel/) (Дата обращения 13.06.2017).

13. Услуги ТРЦ «Аэропарк». Химчистка «Лисичка» [Электронный ресурс] // ТРЦ «Аэропарк» [сайт]. Режим доступа: <http://trc-aeropark.ru/service/himchistka-ekochistka> (Дата обращения 13.06.2017).

14. Офис продаж «Банка горящих туров» в ТРЦ «Солнечный» [Электронный ресурс] // Банк горящих туров [сайт]. Режим доступа: <http://turizm-nsk.ru/where2buy/office/22> (Дата обращения 13.06.2017).

15. Сервис: автоломбард МСК [Электронный ресурс] // Автоломбард МСК [сайт]. Режим доступа: <http://avtolombardmck.ru/service/> (Дата обращения 13.06.2017).



16. Стукалова, И. Б. Торговые центры в РФ: сущность, динамика развития, оценка эффективности [Текст] / И. Б. Стукалова, О. С. Токмачева // Российское предпринимательство. – 2015. – № 11. – С. 1637–1648.
17. Пузач, С. В. Особенности пожарной опасности многофункциональных центров с атриумами (часть 1) [Электронный ресурс] / С. В. Пузач, С. А. Колодяжный // Технология техносферной безопасности. – 2015 – № 6 (64). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-6/32-06-15.ttb.pdf> (Дата обращения 19.01.2017).
18. Шихалев, Д. В. Информационно-аналитическая поддержка управления эвакуацией при пожаре в торговых центрах [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Шихалев Денис Владимирович. – М., 2015. – 175 с.
19. Саксон, Р. Атриумные здания [Текст] / Р. Саксон – М.: Стройиздат, 1987. – 138 с.
20. МГСН 4.04–94. Многофункциональные здания и комплексы. Бесплатная библиотека документов: московские государственные строительные нормы [Электронный ресурс] // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).
21. НПБ 96–2004 (Республика Беларусь). Здания с атриумами (пассажами). Противопожарные требования. [Электронный ресурс] // Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь [сайт]. Режим доступа: [http://mchs.gov.by/\\_modules/\\_cfiles/files/NPB\\_96-2004.pdf](http://mchs.gov.by/_modules/_cfiles/files/NPB_96-2004.pdf) (Дата обращения 17.02.2015).
22. Обобщение и анализ результатов работы нормативно-технического совета департамента надзорной деятельности МЧС России [Электронный ресурс]. // Главное управление МЧС России по Краснодарскому краю [сайт]. Режим доступа: <http://23.mchs.gov.ru/document/1005026> (Дата обращения 17.06.2014).
23. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. [Электронный ресурс] // National Fire Protection Association [сайт].

Режим доступа: <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/document-information-pages?mode=code&code=92b> (Дата обращения 17.07.2015).

24. СП 118.13330.2012 *Общественные здания и сооружения*. Актуализированная редакция СНиП 31-06–2009 (утв. Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 № 635/10): (в ред. от 07.08.2014) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).

25. Department of Health. Fire code: Fire Safety in the NHS. Health Technical Memorandum 05-03. Part M: Guidance on the fire safety of atria in healthcare buildings. [Электронный ресурс]// London, The Stationery Office – 2007. Режим доступа: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/148478/HTM\\_05-03\\_Part\\_M.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/148478/HTM_05-03_Part_M.pdf) (Дата обращения 17.07.2014).

26. РМД 31-03–2008. Рекомендации по проектированию зданий гостиничных предприятий, moteley и кемпингов в Санкт-Петербурге // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).

27. International Building Code 2003 [Электронный ресурс] // International Code Consortium [сайт]. Режим доступа: <https://archive.org/details/gov.law.icc.ibc.2003> (Дата обращения 13.07.2017).

28. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: (в ред. от 10 июля 2012 г.) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2013. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).

29. Грушевский, Б. В. *Пожарная профилактика в строительстве* [Текст] / Б.В. Грушевский, А.И. Яковлев, И.Н. Кривошеев, Е.Т. Шурин, Н.Г. Климушин – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 454 с.

30. СТ СЭВ 383–76. *Пожарная безопасность в строительстве*. Термины и определения // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М.,

2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).

31. Пронина, А. В. Обоснование размеров пожарных отсеков [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Пронин Денис Геннадиевич. – М., 2011. – 21 с.

32. СП 160.1325800.2014. Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС России от 07.08.2014 № 440/пр): (в ред. от 01.09.2014) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 05.06.2015).

33. Bastings D. Fire Safety in Atrium Buildings. Building Research Association of New Zealand (Judgeford), BRANZ Study Report, 1988, no. 15, p. 49.

34. Quintiere, J. G. Fundamentals of Fire Phenomena / J.G. Quintiere. John Wiley & Sons Ltd., The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2006. 439 p.

35. Ramachandran, G. The Economics of Fire Protection / G. Ramachandran. UK, London, E&FN Spon, 1998. 230 p.

36. Hasofer, A. M. Risk analysis in building fire safety engineering / A. M. Hasofer, V. R. Beck, I. D. Bennetts. Routledge, 2006. 189 p.

37. Федоринов, А. В. Исследование и обоснование выдора противопожарной защиты общественных зданий с большими внутренними объемами (Атриумами) [Текст]: дис. .... канд. техн. наук: 05.26.03 / Федоринов Андрей Васильевич. – М., 2002. – 193 с.

38. Харченко, С. П. Противопожарная защита многофункциональных зданий в условиях горной местности и сложного рельефа [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Харченко Сергей Павлович. – М., 2010. – 24 с.

39. Костерин, И. В. Оценка вероятности эвакуации людей при пожарах из зданий с многосветными пространствами [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Костерин Игорь Владимирович. – М., 2012. – 24 с.

40. Грушевский, Б. В. Исследование параметров, влияющих на величину противопожарных разрывов между зданиями и сооружениями промышленных объектов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.520 / Грушевский Борис Васильевич. – М., 1969. – 220 с.

41. СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 182) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).

42. Молчадский, И. С. Пожар в помещении [Текст] / И.С. Молчадский. – М.: ВНИИПО, 2005. – 456 с.

43. Астапенко, В. М. Термогазодинамика пожаров в помещениях [Текст] / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.

44. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 27.06.2015).

45. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов [Текст] – М.: ВНИИПО, 2012. – 242 с.

46. Романенко, П. Н. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / П. Н. Романенко, Ю. А. Кошмаров, М. П. Башкирцев – М.: ВИПТШ, 1977. – 415 с.

47. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена [Текст] / С. С. Кутателадзе – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

48. Кошмаров, Ю. А. Теплотехника: учебник для вузов [Текст] / Ю. А. Кошмаров. – М.: Академкнига, 2006. – 501 с.

49. Шорин, С. Н. Теплопередача [Текст] / С. Н. Шорин. – М.: Высшая школа, 1964. – 490 с.

50. Hao Cheng Modeling of fire spread in buildings and modeling of fire spread from the fire building to adjacent buildings / Hao Cheng. Canada, 2010. – 285 p.
51. Morgan, J. Hurley SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [Электронный ресурс] / Morgan J. Hurley, Daniel T. Gottuk, John R. Hall Jr., Kazunori Harada, Erica D. Kuligowski, Milosh Puchovsky, Jose´ L. Torero, John M. Watts Jr. Christopher J. Wiecek. New York: Springer-Verlag. 2016. 3493 p.
52. СП 1.13130.2009. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 171): (в ред. от 09.12.2010) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 19.01.2015).
53. Емельянова, О. А. Прозрачная защита от огня [Электронный ресурс] / О. А. Емельянова, Е. А. Черемхина, А. Г. Чесноков. Режим доступа: [http://glassinfo.ru/articles/2008\\_01\\_prozrachnaja\\_zashita\\_ot\\_ogna.pdf](http://glassinfo.ru/articles/2008_01_prozrachnaja_zashita_ot_ogna.pdf) (Дата обращения 19.01.2015).
54. Классификация огнестойких стекол [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.brandglass.ru/fire\\_r\\_glass\\_classification.html](http://www.brandglass.ru/fire_r_glass_classification.html) (Дата обращения 03.07.2015).
55. Огнестойкое стекло [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.makonstroy.ru/catalog/category/1143/collection/1167/> (Дата обращения 29.03.2015).
56. Fire protection [Электронный ресурс] // Glass in building, 2011, no. 9, pp. 14–15. Режим доступа: <http://www.pilkington.com/resources/gib9final.pdf> (Дата обращения 05.06.2015).
57. Огнестойкое стекло Pilkington Pyrostop™ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.steklonom.ru/fire-glass.php?id=67> (Дата обращения 29.02.2015).
58. Обзор огнестойких стекол производителей из Европы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.oknaportal.ru/articles /obzor-oghniestoikikh-stiekol-proizvoditelieliei-izievropy> (Дата обращения 03.05.2015).

59. Pilkington Pyroshield™. Армированное огнестойкое стекло Pilkington [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pilkington.com/europe/russia/russian/products/bp/bybenefit/fireprotection/pyroshield/default.htm> (Дата обращения 03.07.2015).
60. Огнезащитное стекло Promat [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.stroy-master.com/31pro2.html> (Дата обращения 02.03.2015).
61. Brandschutzver glasungen, verglaste Türen [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.promat.de/bbs/default.aspx?Pagenname=Brandschutz ver glasungen&CL=DE-de> (Дата обращения 23.02.2015).
62. Противопожарное стекло [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.pro-glassprom.ru/fire\\_glass](http://www.pro-glassprom.ru/fire_glass) (Дата обращения 02.03.2015).
63. SCHOTT AG [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://madeingermany.de/ru/russia/2012/profile/show/id/1036/title/SCHOTT+Austria+GmbH/> (Дата обращения 19.02.2015).
64. Пожаростойкое стекло в России: иллюзии и решения [Электронный ресурс] // Светопрозрачные конструкции. – 2007. – № 3(53). Режим доступа: <http://www.mio.ru/archiv-2007/svetoprozrachnie-konstruktsii-2007-3.html> (Дата обращения 22.04.2015).
65. Борулько, В. И. Стекло и защита от огня [Электронный ресурс] / В.И. Борулько // Окна. Двери. Витражи. – 2005. – № 3. Режим доступа: [http://www.bau.ua/artic/m\\_669](http://www.bau.ua/artic/m_669) (Дата обращения 03.05.2015).
66. Matériaux innovants [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.saint-gobain.ru/fr/activites/materiaux-innovants> (Дата обращения 19.01.2015).
67. Fire resistant glass market analysis, by product, by application and segment forecasts to 2024 [Электронный ресурс] // Qingdao Migo Glass Co., Ltd. [сайт] Режим доступа: <http://ru.migoglass.net/news/fire-resistant-glass-market-analysis-by-produ-2397520.html> (Дата обращения 18.07.2017).

68. Противопожарное стекло Glas Troesch [Электронный ресурс] // Ирбитский завод светопрозрачных конструкций [сайт]. Режим доступа: [http://pком66.ru/protivopozharnoe\\_steklo.htm](http://pком66.ru/protivopozharnoe_steklo.htm) (Дата обращения 19.01.2015).

69. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования [Электронный ресурс]: свод правил (утв. Приказом МЧС России от 25.03.2009 № 175): (в ред. от 01.06.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 05.06.2015).

70. Казиев, М. М. Влияние водяного орошения на огнестойкость светопрозрачных строительных конструкций [Электронный ресурс] / М. М. Казиев, Е. В. Зубкова // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2014. – № 1. – С. 28–33. – Режим доступа: <http://id.grad-info.com/> (Дата обращения 05.06.2015).

71. Зубкова, Е. В. Влияние водяного орошения на пожароустойчивость огнестойкого светопрозрачного заполнения строительных конструкций [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Зубкова Елена Владимировна. – М., 2015. – 183 с.

72. Зубкова, Е. В. Научные аспекты пожароустойчивости светопрозрачной конструкции с помощью водяного орошения [Текст] / М. М. Казиев, Е. В. Зубкова // Материалы 18-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности». Секция 3. – М.: МГСУ, 2015 – С. 471–474.

73. Казиев, М. М. Эффективность водяного орошения для защиты листового и закаленного стекла [Электронный ресурс] / М. М. Казиев, Е. В. Зубкова, В. И. Безбородов // Технология техносферной безопасности. – 2014 – № 6 (58) – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2014-6/2014-6.html> (Дата обращения 02.02.2015).

74. Стекла, поглощающие инфракрасную часть спектра (теплопоглощающие стекла) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://okna.ua/library/art-stekla\\_pogloschuschie\\_infrakrasnuu](https://okna.ua/library/art-stekla_pogloschuschie_infrakrasnuu) (Дата обращения 06.04.2015).

75. Кисляк, Ю. М. Безопасность боевых расчетов в кабинах-салонах пожарных автомобилей при воздействии типового излучения [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Кисляк Юрий Михайлович. – М., 1985. – 215 с.

76. Кошмаров, Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Учебное пособие [Текст] / Ю. А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 126 с.

77. Stirland, C. Sprinklers and the building regulations: the case for tradeoffs / C. Stirland. Report T/RS/1189/22/81/C, Teesside Laboratory, British Steel Technical, Middlesbrough, 1981.

78. Пузач, С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности [Текст] / С. В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.

79. Hansell, G. O. Design approaches for smoke control in atrium buildings / G. O. Hansell, H. P. Morgan. Building Research Establishment. Garston, UK, 1994. 57 p.

80. Chow, W. K. Simulation of atrium smoke filling process by the zone model first [Электронный ресурс] / W. K. Chow, E. Cui. Fire Safety Science, 1988, vol. 3, pp. 471–480. Режим доступа: [http://www.iafss.org/publications/aofst/3/471/view/aofst\\_3-471.pdf](http://www.iafss.org/publications/aofst/3/471/view/aofst_3-471.pdf) (Дата обращения 19.07.2015).

81. Абашкин, А. А. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» [Текст] / А. А. Абашкин, А. В. Карпов, Д. В. Ушаков, М. В. Фомин, А. Н. Гилетич, П. М. Комков, Д. А. Самошин – М.: ВНИИПО, 2014. – 226 с.

82. Zalok, E. Fire loads in commercial premises / E. Zalok, G.H. Hadjisophocleous, J. R. Mehaffey. Fire and materials, 2009, vol. 33, pp. 63–78.



83. Бартелеми, Б. Огнестойкость строительных конструкций [Текст] / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа; пер. с франц. М. В. Предтеченского; под ред. В.В. Жукова – М.: Стройиздат, 1985. – 216 с.
84. Предотвращение распространения пожара. Пособие к СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений» [Электронный ресурс] // Гарант:информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России.
85. Fire load and fire exposure [Электронный ресурс]. Fire Safety Science, 1983, vol. 6, pp. 24–34. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0379711283900437> (Дата обращения 14.07.2015).
86. Zalok, E. Assessment of fuel load survey methodologies and its impact on fire load data [Электронный ресурс] / E. Zalok, J.Eduful. Fire Safety Science, 2013, vol. 62, pp. 299–310. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711213001318> (Дата обращения 19.07.2015).
87. ТР-5044 Пожарная нагрузка. Обзор зарубежных источников [Текст] / Пер. с англ.: Е. А. Борноволокна, Н. А. Патрушева, В. А. Слепушкин; год ред. В.Ю. Грачева. – М.: СИТИС, 2009. – 83 с.
88. Razdolsky, Leo Structural fire loads: theory and principles / Leo Razdolsky. McGraw-Hill Education, 2012. 448 p.
89. Нгуен, Т. Х. Методика расчета необходимого времени эвакуации людей при пожаре в машинных залах ГЭС Вьетнама в условиях работы системы дымоудаления [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Нгуен Тхань Хай. – М., 2010. – 24 с.
90. Пузач, С. В. Особенности пожарной опасности многофункциональных центров с атриумами (часть 2) [Электронный ресурс] / С. В. Пузач, С. А. Колодяжный // Технология техносферной безопасности. – 2016. – № 1 (65). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/18-01-16.ttb.pdf> (Дата обращения 19.01.2017).
91. Нгуен Тхань Хай. Неоднородность температурного поля в газовом задымленном нагретом припотолочном слое при модельном пожаре в кинотеатре

[Текст] / Тхань Хай Нгуен, С.В. Пузач, О.С. Лебедченко // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2009. – № 2. – С. 31–32.

92. Пузач, С. В. Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в атриуме [Текст] / С. В. Пузач, Е. С. Абакумов // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80, № 2. – С. 84–89.

93. Рыжов, А. М. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: Методические рекомендации [Текст] / А.М. Рыжов, И.Р. Хасанов, А.В. Карпов, А.В. Волков, В.В. Лицкевич, А.А. Дектерев – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.

94. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. от 12.12.2011) // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2014. – Доступ из локальной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (Дата обращения 22.01.2015).

95. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 6) / K. McGrattan, B. Klein, S. Hostikka, J. Floyd. National Institute of Standards and Technology, 2013, special publication 1018. 149 p.

96. Welch, S., SOFIE: Simulation of Fires in Enclosures / S. Welch, P. Rubini. User Guide. United Kingdom: Cranfield University, 1996. – 340 p.

97. Spalding, D. B. Older and newer approaches to the numerical modelling of turbulent combustion / D. B. Spalding // 3-rd International Conference on Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines. London: IMoChE, 1996, pp. 25–37.

98. Пузач, С.В. Полевая модель расчета тепломассообмена при пожаре [Текст] / С.В. Пузач – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 84 с.

99. Пузач, С. В. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006.

100. Пузач, С. В. Определение огнестойкости строительных конструкций с учетом параметров реального пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614237 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 08.12.2006.

101. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 3: Validation / K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, H. Baum, R. Rehm. National Institute of Standards and Technology, 2007, special publication 1018-5. 86 p.

102. McGrattan, K. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 2: Verification / K. McGrattan, S. Hostikka, J. Floyd, H. Baum, R. Rehm. National Institute of Standards and Technology, special publication 1018-5, 2007. 86 p.

103. Tilley, N. Verification of the accuracy of CFD simulations in small-scale tunnel and atrium fire configurations / N. Tilley, P. Rauwoens, B. Merci. Fire Safety Journal, 2011, vol. 46, no. 4, pp. 186–193.

104. Ayala P. The use of fractional factorial design for atrium fires prediction / P. Ayala, A. Cantizano, E. F. Sánchez-Úbeda, C. Gutiérrez-Montes. Fire Technology, pp. 1–24.

105. McGrattan, K. NIST Special Publication 1018. Sixth Edition. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model / K. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. Floyd, C. Weinschenk, K. Overholt . NIST, 2013. 149 p.

106. Казённов, В. М. Методы расчета тепломассообмена при пожаре для обоснования объемно-планировочных решений зданий и сооружений [Текст]: дис. ...: канд. техн. наук: 05.26.03 / Казённов Владимир Михайлович. – М., 2003. – 162 с.

107. Пузач, С. В. Трехмерное математическое моделирование начальной стадии пожара в помещении [Текст] / С. В. Пузач // Инженерно-физический журнал. – 2000. – Т. 73, № 3. – С. 621–626.

108. Зернов, С.И. Разработка расчетных методов прогнозирования параметров пожаров в помещениях зданий с естественной вентиляцией [Текст]:

дис. ...: канд. техн. наук: 05.26.01 / Зернов Станислав Иванович. – М., 1984 – 212 с.

109. Абдурагимов, И. М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст] / И. М. Абдурагимов, В. Ю. Говоров, В. Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – С. 74–117.

110. Девисилов, В. А. Теория горения и взрыва [Текст] / В. А. Девисилов, Т. И. Дроздова, С. С. Тимофеева. – М.: Форум, 2012. – 352 с.

111. СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник [Текст]. – М.: СИТИС, 2014. – 54 с.

112. Повзик, Я. С. Пожарная тактика [Текст] / Я. С. Повзик – М.: СПЕЦТЕХНИКА, 1999. – 411 с.

113. Применение принципов пожарно-технического анализа при проектировании зданий [Текст]. – М.: СИТИС, 2014. – 449 с.

114. Терехнев, В. В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. [Текст] / В. В. Терехнев – М.: Пожкнига, 2004. – 248 с.

115. EN 1991-1-2 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://law.resource.org/pub/eu/eurocode/en.1991.1.2.2002.pdf> (Дата обращения 19.01.2015).

116. Матюшин, А. В. Исследование начальной стадии развития пожара в помещении с целью обоснования необходимого времени эвакуации людей из торговых залов универмагов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Матюшин Александр Васильевич. – М., 1982. – 289 с.

117. Шебеко, Ю. Н. Пособие по применению НПБ 105–95 «Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности» при рассмотрении проектно-сметной документации [Текст] / Ю. Н. Шебеко, И. М. Смолин, И. С. Молчадский, Н. Л. Полетаев, С. В. Зотов, В. А. Колосов, В. Л. Малкин, Е. В. Смирнов, Д. М. Гордиенко – М.: ВНИИПО, 1998. – 199 с.

118. Ning, Tian An Ignition Criterion Integrating Surface Temperature and Heating Rate for Combustible Solids / Ning Tian, Aixi Zhou. Fire and materials, 2015, vol. 39, pp. 139–152.

119. Ning, Tian Sensitivity and uncertainty analyses for ignition of fiber-reinforced polymer panels / Ning Tian, Aixi Zhou. Fire and materials, 2016, vol. 40, pp. 396–415.

120. Партнеры: украинцы меньше покупают товаров, но не экономят на развлечениях и питании [Электронный ресурс] // Retailers.ua [сайт] Режим доступа: <http://retailers.ua/news/partneryi/3683-ukraintsyi-menshe-pokupayut-tovarov-no-ne-ekonomyut-na-razvlecheniyah-i-pitanii--prezident-utg> (Дата обращения 13.07.2017).

121. Нормативные документы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://brandglass.ru/informatsiya/normativnye-dokumenty?start=2> (Дата обращения 20.08.2015).

122. Обухов, Ф. В. Пожарная безопасность [Текст] / Ф. В. Обухов. – М.: Недра, 1975. – 192 с.

123. Осипова, М. Н. Методическое пособие по оценке пожароопасных помещений методом Гретенера [Текст] / М.Н. Осипова. – М.: Такир, 1998. – 68 с.

124. Пожары и пожарная безопасность в 2006 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. Н. П. Копылова. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. – 137 с.

125. Пожары и пожарная безопасность в 2007 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. Н. П. Копылова. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2008. – 191 с.

126. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. Н. П. Копылова. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – 171 с.

127. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. Н. П. Копылова. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2010. – 135 с.

128. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2011. – 140 с.

129. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – 137 с.

130. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2013. – 137 с.

131. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. В. И. Климкина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2014. – 137 с.

132. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: статистический сборник [Текст] / Под общей редакцией А. В. Матюшина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2015. – 124 с.

133. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник [Текст] / Под общ. ред. А. В. Матюшина. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2016. – 124 с.

134. Казиев, М. М. Поведение остекления окон при пожаре [Текст] / М. М. Казиев, А. В. Дудунов. // Жилищное строительство. – 2009. – № 3. – С. 37–39.

135. Казиев, М. М. Огнестойкие светопрозрачные конструкции [Текст] / М. М. Казиев, А. В. Дудунов // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 3. – С. 53–55.

136. Кривцов, Ю. В. Методы снижения пожарной опасности светопрозрачных и комбинированных конструкций фасадов [Текст] / Ю. В. Кривцов, Р. Ш. Габдулин // Проектирование и обоснование противопожарной защиты уникальных объектов. Сборник научных статей – М.: Тисо Принт, 2009. – С. 161–171.

137. Shao, G. Thermal breakage of tempered glass facade with down-flowing water film under different heating rates / G. Shao, Q. Wang, H. Zhao, Y. Wang, J. Sun, L. He. *Fire Technology*, 2016, vol. 52, no. 2, pp. 563–580.

138. Shao, G. Maximum temperature to withstand water film for tempered glass exposed to fire / G. Shao, Q. Wang, H. Zhao, Y. Wang, H. Chen, Y. Su, J. Sun, L. He. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 57, pp. 15–23.

139. Wang, Q. Development of a dynamic model for crack propagation in glazing system under thermal loading / Q. Wang, H. Chen, Y. Wang, J. X. Wen, S. Dembele, J. Sun, L. He. *Fire Safety Journal*, 2014, vol. 63, pp. 113–124.

140. Pope, N. D. Development of a Gaussian glass breakage model within a fire field model / N. D. Pope, C. G. Bailey. *Fire safety journal*, 2007, vol. 42, no. 5, pp. 366–376.

141. Wang, Y. Fracture behavior of a four-point fixed glass curtain wall under fire conditions / Y. Wang, Q. Wang, G. Shao, H. Chen, Y. Su, J. Sun, L. He, K. M. Liew. *Fire Safety Journal*, 2014, vol. 67, pp. 24–34.

142. Wang, Y. Fracture behavior of framing coated glass curtain walls under fire conditions / Y. Wang, Q. Wang, Y. Su, J. Sun, L. He, K. M. Liew. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 75, pp. 45–58.

143. Haejun, Park Conceptual model development for holistic building fire safety performance analysis / Haejun Park, Brian J. Meacham, Nicholas A. Dembsey, Mark Goulthorpe. *Fire Technology*, 2015, vol. 51, pp. 173–193.

144. Ягодка, Е. А. Поддержка принятия управленческих решений о соответствии объекта защиты обязательным требованиям пожарной безопасности [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Ягодка Евгений Алексеевич. – М., 2014. – 250 с.

145. Magrab, E. B. *An Engineer's Guide to Mathematica®* / Edward B. Magrab. John Wiley & Sons Ltd., USA, 2014. 431 p.

146. Theodore, L. B. *Introduction to heat transfer* / Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, David P. DeWitt, Frank P. Incropera. John Wiley & Sons Inc., 2011. 1040 p.

147. Платформа для публикации материалов [Электронный ресурс] // Pandia.ru [сайт] Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/186/38956.php>  
[http://pandia.ru/text/78/186/images/image005\\_18.jpg](http://pandia.ru/text/78/186/images/image005_18.jpg) (Дата обращения 13.07.2017).
148. Сидняев, Н. И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных [Текст] / Н. И. Сидняев. – М.: Юрайт, 2011. – 399 с.
149. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский. – М.: Наука, 1971. – 576 с.
150. Гайдышев, И. Анализ и обработка данных: специальный справочник [Текст] / И. Гайдышев. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.
151. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие [Текст] / В. Е. Гмурман. – М.: Образование, 2007. – 479 с.
152. Присадков, В. И. Разработка методов выбора рациональных вариантов систем противопожарной защиты промышленных зданий. [Текст] дис... доктора техн. наук: 05.26.01 / Присадков Владимир Иванович - М.,: 1990. – 540 с.
153. Babrauskas, V. Glass breakage in fires [Текст] / V. Babrauskas. Fire Science and Technology, Inc., 2011, vol. 22.
154. Лыков, А.В. Теория теплопроводности [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.
155. Беляев, И. М. Методы нестационарной теплопроводности [Текст] / И. М. Беляев, А. А. Рядно. – М.: Высшая школа, 1978. – 328 с.



## Приложение А

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ  
«Программа по обработке данных, полученных при моделировании пожара  
по полевой модели»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2016619249**

**Программа по обработке данных, полученных при  
моделировании пожара по полевой модели**

Правообладатели: *Мироненко Роман Владимирович (RU), Кирюханцев  
Евгений Ефимович (RU)*

Авторы: *Мироненко Роман Владимирович (RU),  
Кирюханцев Евгений Ефимович (RU)*

Заявка № **2016616927**  
Дата поступления **23 июня 2016 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **16 августа 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



*Г.П. Излиев* Г.П. Излиев

## Приложение Б

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ  
«Программа по расчету углового коэффициента облученности фактического  
факела пламени»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016661290

Программа по расчету углового коэффициента облученности  
фактического факела пламени

Правообладатели: *Мироненко Роман Владимирович (RU), Кирюханцев  
Евгений Ефимович (RU)*

Авторы: *Мироненко Роман Владимирович (RU),  
Кирюханцев Евгений Ефимович (RU)*



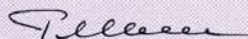
Заявка № 2016617380

Дата поступления 04 июля 2016 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 октября 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ившин

## Приложение В

### Текст программного кода для передатчика

```

$regfile = "m48pdef.dat"
$crystal = 10000000
$baud = 2400
Declare Sub W_register(byval C_bytes As Byte)
'SPI (nRF24L01) команды
Const Write_reg = &H20                                'Определить Команду Записи В
Реестр
Const Wr_tx_pload = &HА0                                'Определить Тх Полезной
Нагрузки Адрес Регистра
Const Flush_tx = &HE1                                    'Определить Флеш Тх
Зарегистрировать Команду
'SPI (nRF24L01) регистры (адреса)
Const Config_nrf = &H00                                'Config адрес регистра
Const En_aa = &H01                                    'Включить Автоматическое
Подтверждение регистрации адрес
Const En_rxaddr = &H02                                'Включено Rx адреса " адрес
регистра"
Const Rf_ch = &H05                                    'RF channel' адрес регистра
Const Rf_setup = &H06                                'RF Setup " (Настройка) адрес
регистра"
Const Status = &H07                                    'Статус " адрес регистра"
Const Rx_addr_p0 = &H0А                                'rx адрес Pipe0 " зарегистрировать
адрес"
Const Tx_addr = &H10                                    'TX address (адрес)
Dim D_bytes(17) As Byte , W As Byte
'Config оборудования

```

Config Spi = Hard , Interrupt = Off , Data Order = Msb , Master = Yes , Polarity = Low  
 , Phase = 0 , Clockrate = 4 , Noss = 1

'Программное обеспечение SPI НЕ работает с nRF24L01, используйте  
 оборудование SPI только, но эсэсовцы pin-код должен управляться нашей  
 функцией

Config Portc.5 = Output : Ce Alias Portc.5                   'CE pin is output

Config Portb.2 = Output : Ss Alias Portb.2                   'SS pin is output

Config Pinc.4 = Input : Irq Alias Pinc.4                    'IRQ pin is input

                  'IRQ pin is input

'подключение светодиодов индикации

Config Portd.5 = Output : En\_rx Alias Portd.5

Config Portb.1 = Output : Led Alias Portb.1

Spiinit

Do

Incr W

If W = 250 Then

  W = 0

End If

Set Ce

Waitms 10

Reset Ce

Reset Ss

D\_bytes(1) = Flush\_tx                                       'Flush the TX\_fifo буфера

Call W\_register(1)

D\_bytes(1) = Write\_reg + Status                           'Reset IRQ бит

D\_bytes(2) = &B00110000

Call W\_register(2)

Gosub Setup\_tx   'Настройка nrf240101 для TX

D\_bytes(1) = Wr\_tx\_pload                                 'Положи 5 байт в TX pload буфера

Led = 1

```

Set En_rx
Do
Loop Until Ischarwaiting() <> 0
Inputbin D_bytes(2) , 16
Inputbin D_bytes(2) , 14
Reset En_rx
"D_bytes(2) = &H15           'Байт 1
'D_bytes(3) = &H27           'Байт 2
'D_bytes(4) = &H3D           'Байт 3
'D_bytes(5) = &H43           'Байт 4
'D_bytes(6) = &H5E           'Байт 1
'D_bytes(7) = &H68           'Байт 5 будет увеличиваться каждый
цикл
'D_bytes(8) = &H75
'D_bytes(9) = &H87
'D_bytes(10) = &H9F
'D_bytes(11) = &HA8
'D_bytes(12) = &HB0
'D_bytes(13) = &HC0
'D_bytes(14) = &HD8
'D_bytes(15) = &HE8         'Байт 5 будет увеличиваться каждый
цикл
Call W_register(15)         'Запись 6 байт для регистраци
Waitms 2
Set Ce                       'Set CE на короткий миг, чтобы передать
буфер fifo
Waitms 1
Reset Ce
Waitms 10
Led = 0

```

```

Loop
'Sub подпрограмм
Sub W_register(byval C_bytes As Byte)           'Пишите зарегистрировать с
SPI
Reset Ss                                       'Руководство управления СС контакт,
установить СС низких до смещение, байт
Spiout D_bytes(1) , C_bytes                   'Shiftout байты данных SPI корыта,
C_bytes это количество байт, которые будут написаны
Set Ss                                         'Set СС высокого
End Sub
Setup_tx:                                     'Подготовка к TX
D_bytes(1) = Write_reg + Tx_addr              'TX адрес
D_bytes(2) = &H34
D_bytes(3) = &H43
D_bytes(4) = &H10
D_bytes(5) = &H10
D_bytes(6) = &H01
Call W_register(6)
D_bytes(1) = Write_reg + Rx_addr_p0           'RX адрес для pipe0
D_bytes(2) = &H34
D_bytes(3) = &H43
D_bytes(4) = &H10
D_bytes(5) = &H10
D_bytes(6) = &H01
Call W_register(6)
D_bytes(1) = Write_reg + En_aa                'Enable auto ACK на pipe0
D_bytes(2) = &H01
Call W_register(2)
D_bytes(1) = Write_reg + En_rxaddr           'Включить RX адрес для pipe0
D_bytes(2) = &H01

```

```
Call W_register(2)
D_bytes(1) = Write_reg + Rf_ch           'Настройка каналов
D_bytes(2) = 40                          'Частота 2440 МГц
Call W_register(2)
D_bytes(1) = Write_reg + Rf_setup        'Настройка РФ -> Выходной
мощности 0 дБм, datarate 2 Мбит / с и МШУ прибыль по
D_bytes(2) = &H0F
Call W_register(2)
D_bytes(1) = Write_reg + Config_nrf      'Настройка CONFIG -> I=0
(TX_device), PWR_UP=1, CRC 2bytes, ВКЛЮЧИТЬ CRC
D_bytes(2) = &H0E
Call W_register(2)
Return
```

## Приложение Г

### Текст программного кода для приемника

```

regfile = "m48pdef.dat"
$crystal = 10000000
$baud = 2400
'Заявить отдельные подпрограммы
Declare Sub R_register(byval Command As Byte , Byval C_bytes As Byte)
Declare Sub W_register(byval C_bytes As Byte)
'SPI (nRF24L01) команды
Const Write_reg = &H20                'Определить Команду Записи В
Реестр
Const Rd_rx_pload = &H61                'Define Rx Полезной Нагрузки
Адрес Регистра
'SPI (nRF24L01) регистры (адреса)
Const Config_nrf = &H00                'Config адрес регистра
Const En_aa = &H01                    'Включить Автоматическое
Подтверждение регистрации адрес
Const En_rxaddr = &H02                'Включено Rx адреса " адрес
регистра"
Const Rf_ch = &H05                    'RF channel' адрес регистра
Const Rf_setup = &H06                'RF Setup " (Настройка) адрес
регистра"
Const Status = &H07                  'Статус " адрес регистра"
Const Rx_addr_p0 = &H0A                'rx адрес Pipe0 " зарегистрировать
адрес"
Const Rx_pw_p0 = &H11                'rx полезной нагрузки ширина ,
Pipe0 " зарегистрировать адрес"
Const Fifo_status = &H17              'fifo - Регистр Состояния "
регистрация адреса"

```



Dim D\_bytes(6) As Byte , B\_bytes(14) As Byte

Config Spi = Hard , Interrupt = Off , Data Order = Msb , Master = Yes , Polarity = Low  
 , Phase = 0 , Clockrate = 4 , Noss = 1

'Программное обеспечение SPI НЕ работает с nRF24L01, используйте  
 оборудование SPI только, но эсэсовцы pin-код должен управляться нашей  
 функцией

Config Portc.5 = Output : Ce Alias Portc.5                   'CE pin is output

Config Portb.2 = Output : Ss Alias Portb.2                   'SS pin is output

Config Pinc.4 = Input : Irq Alias Pinc.4                    'IRQ pin is input

          'IRQ pin is input

Spiinit

Set Ce

Waitms 10

Reset Ce

Reset Ss

Print "UT60 RX"

Call R\_register(status , 1)                                   'Читать Регистр СОСТОЯНИЯ

Reset Ce   'Set CE низко, чтобы получить доступ к  
 регистрам

Gosub Setup\_rx   'Настройка nRF24L01 для RX

Waitms 2

Set Ce   'Set nRF20L01 в режиме приема

Do

If Irq = 0 Then   'Подождите, пока IRQ происходит, pin-  
 код становится низким на прерывание

Reset Ce   'Ресивер должен быть включен до чтения  
 pload

Call R\_register(rd\_rx\_pload , 14)                           'Читать 5 байт RX pload  
 регистрации

'If B\_bytes(1) = &H15 Then

```

'If B_bytes(14) = &HE8 Then
Printbin B_bytes(1) , 14
'nd If
'End If
D_bytes(1) = Write_reg + Status           'Сброс RX_DR бит состояния
D_bytes(2) = &B01000000                   'Напиши 1 до RX_DR бит для
сброса IRQ
Call W_register(2)
Set Ce                                     'Включить приемник снова
Waitms 1
End If
Loop
'Sub подпрограмм
Sub W_register(byval C_bytes As Byte)      'Пишите зарегистрировать с
SPI
Reset Ss                                  'Руководство управления СС контакт,
установить СС низких до смещение, байт
Spiout D_bytes(1) , C_bytes               'Shiftout байты данных SPI корыта,
C_bytes это количество байт, которые будут написаны
Set Ss                                     'Set СС высокого
End Sub
Sub R_register(byval Command As Byte , Byval C_bytes As Byte) As Byte
'C_bytes = Count_bytes, номер off байт для чтения
Reset Ss                                  'Ручное управление СС контакт, установить
на низком уровне до переход в/из байт
Spiout Command , 1                       'Первый shiftout в реестр, который
будет читать
Spiin B_bytes(1) , C_bytes               'Прочитал назад байты из SPI
направлять по nRF20L01
Set Ss                                     'Установить СС обратно на высоком уровне

```

End Sub

Setup\_rx:

'Подготовка к RX

D\_bytes(1) = Write\_reg + Rx\_addr\_p0 'RX адрес для pipe0

D\_bytes(2) = &H34

D\_bytes(3) = &H43

D\_bytes(4) = &H10

D\_bytes(5) = &H10

D\_bytes(6) = &H01

Call W\_register(6) 'Отправить 6 байт для SPI

D\_bytes(1) = Write\_reg + En\_aa 'Enable auto ACK на pipe0

D\_bytes(2) = &H01

Call W\_register(2)

D\_bytes(1) = Write\_reg + En\_rxaddr 'Включить RX адрес для pipe0

D\_bytes(2) = &H01

Call W\_register(2)

D\_bytes(1) = Write\_reg + Rf\_ch 'Настройка каналов

D\_bytes(2) = 40 'Частота 2440 МГц

Call W\_register(2)

D\_bytes(1) = Write\_reg + Rx\_pw\_p0 'Set RX pload ширина для pipe0

D\_bytes(2) = 14

Call W\_register(2)

D\_bytes(1) = Write\_reg + Rf\_setup 'Настройка РФ -> Выходной мощности 0 дБм, datarate 2 Мбит / с и МШУ прибыль по

D\_bytes(2) = &H0F

Call W\_register(2)

D\_bytes(1) = Write\_reg + Config\_nrf 'Настройка CONFIG -> I=1  
(RX\_device), PWR\_UP=1, CRC 2bytes, Включить CRC

D\_bytes(2) = &H0F

Call W\_register(2)

Return

**Приложение Д**  
(обязательное)

**Акты внедрения**

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«МПБ-групп»**

г. Москва, ул.8 Марта д.1 стр.12 под.2 эт 5  
г. Москва

тел (495) 785-55-01

№ 17/18 от 25 апреля 2017 года

Утверждаю  
Генеральный директор  
ООО «МПБ-групп»

Бытнова Р.В.

**АКТ**

внедрения результатов диссертационного исследования Мироненко Романа Владимировича на тему: «Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров» в проектную документацию при разработке специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности для объекта капитального строительства: Многофункционального торгового центра «Лосино-Петровский Пассаж» по адресу: Московская область, г. Лосино-Петровский, ул. Первомайская, возле котельной №3.

Комиссия в составе Морозов Е.И., Скворцов И.Н и Атилилова Т.А. подтверждает, что при разработке специальных технических условий на проект «Многофункционального торгового центра «Лосино-Петровский Пассаж» по адресу: Московская область, г. Лосино-Петровский, ул. Первомайская, возле котельной №3» использовались следующие результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Мироненко Р.В., а именно:


- алгоритм по оценке ширины многосветного помещения (атриума) с точки зрения не распространения пожара по зданию посредством лучистого теплового потока при наличии островковой торговли;
- параметры горения различных типов ларьков островковой торговли примененных в проекте с целью определения допустимых расстояний от ларьков до стеклянных перегородок арендуемых помещений.

Подписи:

Морозов Е.И.

Скворцов И.Н

Атилилова Т.А.

 <b>ПАРАЦЕЛЬС</b> КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ	109548, г. Москва, улица Гурьянова, д.9
	ИНН/КПП 7723835445/772301001 ОГРН 1127746323198
<b>лицензия МЧС России № 8-Б/00944 от 31.07.2012 г.</b>	
<b>свидетельство СРО П-150-АБ-102 от 26.06.15 г.</b>	
тел.(499) 424-03-80	

«Утверждаю»  
 Генеральный директор  
 ООО «Парацельс Групп»  
 Дорож В.Н.  
 «26» апреля 2017 г.



### АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Мироненко Романа Владимировича на тему: «Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров» в проектную документацию при разработке специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности для объекта капитального строительства «Парка развлечений» расположенного по адресу: г. Москва, Нагатинская пойма, участок №1.

Комиссия в составе Никитина А.В., Салыгана М.В., Шахова А.А. подтверждает, что при разработке специальных технических условий на проект «Парка развлечений» расположенного по адресу: г. Москва, Нагатинская пойма, участок №1, использовались следующие результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Мироненко Р.В., а именно:

- данные коэффициентов поглощательной, пропускательной и отражательной способности закаленного стекла;
- разработанный автором алгоритм, позволяющий оценить ширину многосветного помещения (атриума) с точки зрения не распространения пожара по зданию посредством лучистого теплового потока при нахождении пожарной нагрузки виде островковой торговли в многосветном (помещении).

Председатель комиссии: \_\_\_\_\_

Члены комиссии: \_\_\_\_\_



Шахов А.А.

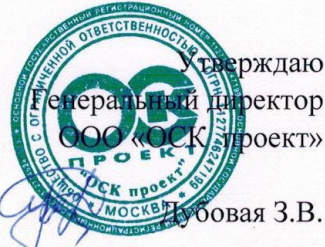
Салыган М.В.

Никитин А.В.



Факт. адрес: 127055, г. Москва, ул. 8 марта д. 1 стр 12 под 2 этаж 5, тел 8(495) 785-55-01

Исх. № 88 от 25 апреля 2017 года



Утверждаю  
Генеральный директор  
ООО «ОСК проект»  
Дубовая З.В.

### АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Мироненко Романа Владимировича на тему: «Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров» в проектную документацию при разработке специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности для объекта капитального строительства: Многофункциональный центр с автостоянками открытого и крытого типа и сопутствующей инфраструктурой, по адресу: г. Москва, в районе д. Мешково, участок №14/1.

Комиссия в составе Турмасов С. И., Ерошкин В. В., Горин Н.В. подтверждает, что при разработке проекта «Многофункциональный центр с автостоянками открытого и крытого типа и сопутствующей инфраструктурой, по адресу: г. Москва, в районе д. Мешково, участок №14/1 использовались следующие результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Мироненко Р.В.: при проектировании системы обеспечения пожарной безопасности здания, на основании алгоритма, разработанного автором диссертации запроектированы противопожарные расстояния от объектов островковой торговли до ограждающих конструкций арендаторов, выходящих в объем атриумного пространства.

Подписи членов комиссии:

Турмасов С. И.

Ерошкин В. В.

Горин Н.В.

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«МПБ-групп»**

г. Москва, ул.8 Марта д.1 стр.12 под.2 эт 5  
г. Москва

тел (495) 785-55-01

№ 17/19 от 03 мая 2017 года

Утверждаю

Генеральный директор  
ООО «МПБ-групп»

Бытнова Р.В.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования Мироненко Романа Владимировича на тему: «Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров» в проектную документацию при разработке проекта на строительство торгово-развлекательного комплекса по адресу: Московская область, г. Павловский Посад, 1-ая Пушкинская ул.

Комиссия в составе Морозов Е.И., Скворцов И.Н и Атилиова Т.А. подтверждает, что при разработке проекта на строительство торгово-развлекательного комплекса по адресу: Московская область, г. Павловский Посад, 1-ая Пушкинская ул. использовались результаты диссертационного исследования на соискание ученой степени кандидата технических наук Мироненко Р.В., касающиеся конструктивных решений, направленных на ограничение распространения пожара через многосветное помещение (атриум) при нахождении пожарной нагрузки в нем в виде островной торговли.

Подписи:

Морозов Е.И.

Скворцов И.Н

Атилиова Т.А.



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по учебной работе  
кандидат военных наук

М.В. Бедило

2017 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров Академии ГПС МЧС России, старшего лейтенанта внутренней службы Мироненко Романа Владимировича на тему: «Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово-развлекательных центров» в учебном процессе Академии ГПС МЧС России.

Комиссия в составе: начальника учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве, д.т.н., профессора Серкова Бориса Борисовича, заведующего кафедрой ПБС, доцента Шевкуненко Юрия Георгиевича, доцента кафедры ПБС Фирсовой Татьяны Федоровны, подтверждает, что результаты диссертационного исследования Мироненко Романа Владимировича внедрены в учебный процесс кафедры пожарной безопасности в строительстве при подготовке фондовых лекций по дисциплине «Пожарная безопасность в строительстве» на тему: «Противопожарные преграды» и «Экспертиза пожарной безопасности» на тему: «Противопожарная защита уникальных зданий».

**Комиссия:**

Начальник УНЦ ПБС  
д.т.н., профессор



Б.Б. Серков

Заведующий кафедрой ПБС  
доцент



Ю.Г. Шевкуненко

Доцент кафедры ПБС  
доцент



Т.Ф. Фирсова