

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
(технические науки, отрасль строительство)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва– 2017

Работа выполнена в Академии Государственной противопожарной службы
МЧС России на кафедре пожарной безопасности в строительстве

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Кирюханцев Евгений Ефимович

Официальные оппоненты: Хасанов Ирек Равильевич
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, Федеральное государственное
бюджетное учреждение «Всероссийский
ордена «Знак Почета» научно-
исследовательский институт противопожарной
обороны МЧС России», главный научный
сотрудник научно-исследовательского центра
нормативно-технических проблем пожарной
безопасности
Костерин Игорь Владимирович
кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Ивановская пожарно-
спасательная академия Государственной
противопожарной службы МЧС России»,
начальник адъюнктуры

Ведущая организация: Акционерное общество
«Научно-исследовательский центр
«Строительство»

Защита состоится «14» февраля 2018 года в «14» час. «00» мин. на заседании
диссертационного совета Д 205.002.02 при Академии Государственной проти-
вопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Б. Галуш-
кина, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России
и на сайте:

<http://academygps.ru/upload/iblock/857/857ff3361cacfb377123cbf183ae22bb.pdf>

Автореферат разослан «22» декабря 2017 года

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Сивенков Андрей Борисович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

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 по изучению проблем, касающихся обеспечения пожарной безопасности зданий центров, вопрос использования многосветных помещений (атриумы) 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 (атриум) 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. Loughheed, 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 торгово-развлекательных 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 горячей 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 были представлены 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 проблемы 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.

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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и степень ее разработанности, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, представлены методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе автором настоящей работы раскрываются особенности пожарной безопасности торгово-развлекательных центров (далее – центры) с многосветными помещениями (атриумы), отмечено наличие разнообразной пожарной нагрузки в зданиях, показаны современные направления развития конструктивных и объемно-планировочных решений центров и их влияние на пожарную опасность.

Среди множества элементов системы обеспечения пожарной безопасности в зданиях центров важным является ограничение распространения пожара в многосветных помещениях (атриумы). Приведены основные типы многосветных помещений (атриумы) в зданиях и их влияние на развитие пожара.

Ограничение распространения пожара по зданию также возможно производить с помощью объемных элементов здания или иных инженерных решений, препятствующих распространению пожара по зданию.

Обзор нормативных требований к проектированию объемных элементов здания и иных инженерных решений, препятствующих распространению пожара по зданию, показал, что устройство противопожарной зоны шириной не менее 8 м может ограничить распространение пожара по зданию. При этом противопожарной зоной может выступать не только специально запроектированные зоны, но и многосветные помещения (атриумы). В России такое решение применимо для распространенных зданий центров с центральным расположением многосветных помещений (атриумы), вытянутых на всю длину и поднимающихся на всю высоту здания, для которых характерно продольное расположение помещений (магазины) на галереях.

Но как показывает практика, в многосветных помещениях (атриумы) центров в условиях эксплуатации нередко размещают пожарную нагрузку, создавая тем самым вероятность распространения пожара из одной части здания в другую.

В научных работах, исследующих вопрос распространения пожара по зданию, было доказано, что не все величины пожарной нагрузки поддерживают распространение пожара по зданию, однако в этих работах не рассматриваются здания с многосветными помещениями (атриумы), имеющие свою специфику.

В связи с этим на данный момент времени невозможно обоснованно установить требования к размерам противопожарной зоны, а также к величине пожарной нагрузки, при которой исключалось бы распространение пожара из одной части здания в другую.

Сформулированные проблемы определили необходимость проведения полномасштабных натурных исследований.

Во второй главе анализируются факторы, влияющие на распространение пожара через многосветное помещение (атриум), к ним относятся характеристика и величина пожарной нагрузки.

В центрах пожарная нагрузка зависит от функционального назначения помещений. Натурные наблюдения в центрах и экспертиза проектной документации проектируемых центров показали, что наибольшую площадь в таких зданиях занимают магазины по продаже одежды (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение площади, арендуемой в центрах по виду деятельности

Исследования показали, что для помещений торговли характерно значенное удельной пожарной нагрузки, равное 661 МДж/м^2 , с долевым содержанием в пожарной нагрузке:

- текстиль – 86 %,
- пластик – 2 %,
- материалы на основе древесины – 12 %.

Для определения ширины многосветного помещения (атриум), при которой распространение пожара из одной части в другую не происходит, нужно определиться, какие критерии (температура, критическая плотность теплового потока) следует использовать для анализа воспламенения материалов.

Автором настоящего исследования принято решение об использовании критерия воспламенения материала по критическому тепловому потоку, так как преобладающим механизмом распространения пожара является лучистый тепловой поток.

На основе анализа научных работ разработан алгоритм (рисунок 2), с помощью которого можно найти необходимую ширину многосветного помещения (атриум) при нахождении в нем пожарной нагрузки, учитывая выполнения условия по нераспространению пожара по тепловому потоку. Данное условие можно выразить с помощью формулы (1):

$$q_{\text{п}} \leq q_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где $q_{\text{п}}$ – падающий тепловой поток, Вт/м^2 ; $q_{\text{кр}}$ – критическая плотность теплового потока для материала, Вт/м^2 .

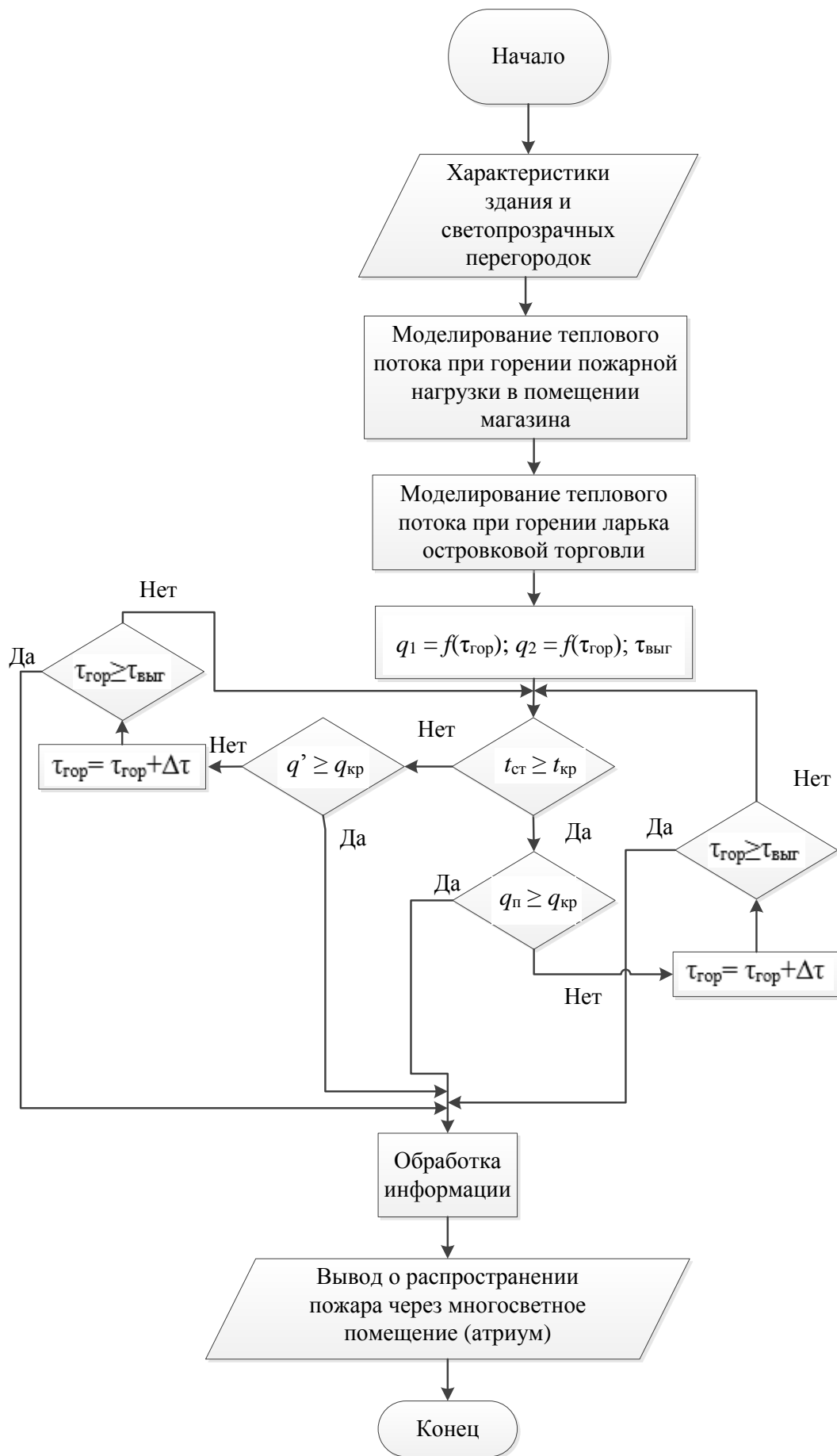


Рисунок 2 – Алгоритм оценки возможности распространения пожара через многосветное помещение (атриум) с учетом поглощенного и пропущенного теплового потока через стекло

На рисунке 2 в алгоритме используются следующие условные обозначения: $\tau_{\text{выг}}$ – время выгорания пожарной нагрузки в помещении, с; Δt – временной шаг расчета, с; $\tau_{\text{гор}}$ – текущий момент времени, при котором происходит горение пожарной нагрузки, с; $q_{\text{кр}}$ – критическая плотность теплового потока для материалов, кВт/м²; $t_{\text{ст}}$ – 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/м²; $q_{\text{п}}$ – падающий тепловой поток на поверхность материала, кВт/м²; q_1 – лучистый тепловой поток из помещения магазина, где возник пожар, кВт/м²; q_2 – лучистый тепловой поток от горячей островковой торговли, кВт/м².

Данные по интегральной интенсивности излучения пламени и температуры пламени для магазинов одежды в научных работах не изучались. Поэтому для определения падающего теплового потока от магазинов по продаже одежды в работе было проведено моделирование пожара в программном комплексе FDS (Fire Dynamic Simulator) на фрагменте двухуровневого многосветного помещения (атриум) (рисунок 3).

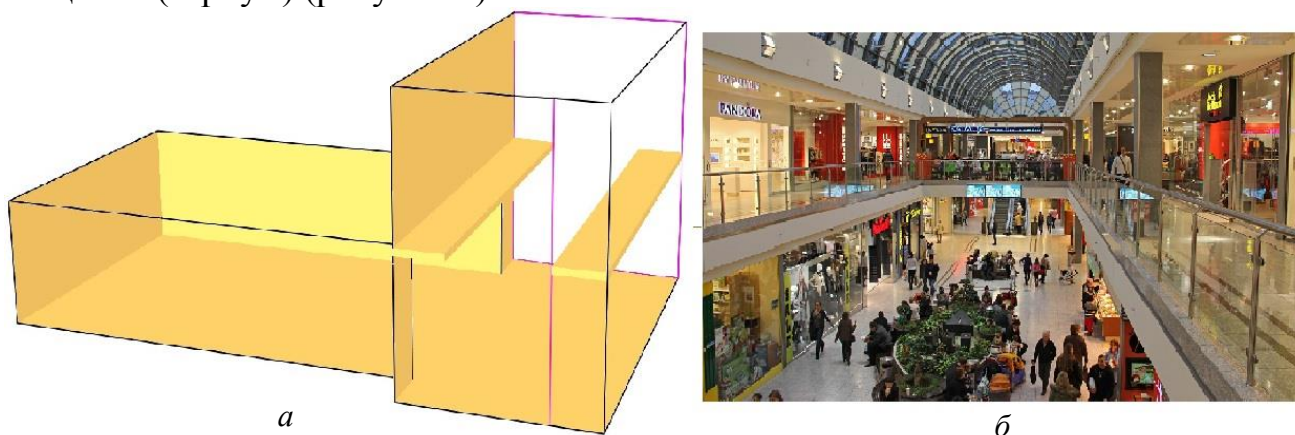


Рисунок 3 – Геометрическая модель (а) фрагмента здания для моделирования по полевой (дифференциальной) модели развития пожара в программном комплексе FDS (б) фрагмента реального многосветного помещения (атриум) в здании центра

В ходе проведенного моделирования пожара была получена зависимость падающего теплового потока из помещения магазина от ширины многосветного помещения (атриума) (рисунок 4).

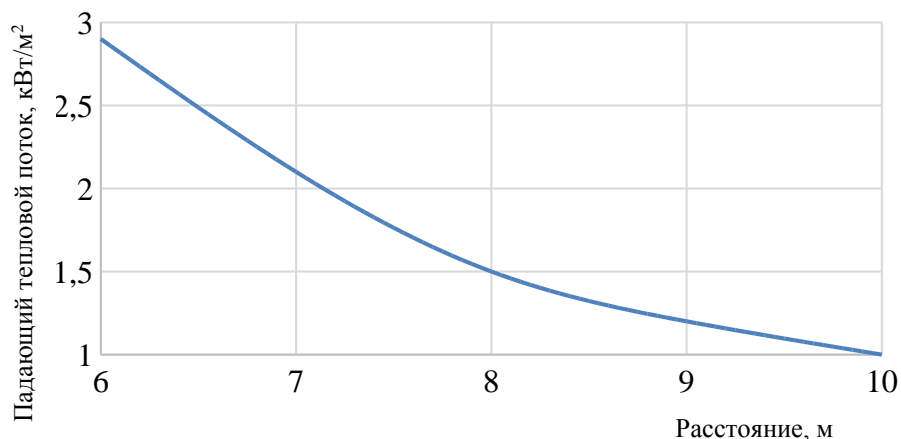


Рисунок 4 – Зависимость падающего теплового потока из помещения магазина от ширины многосветного помещения (атриум)

Для общественных зданий с большими внутренними объемами (многосветные помещения (атриумы)) нормирование расстояния между участками пожарной нагрузки (между помещениями, расположенными напротив друг друга через многосветное помещение (атриум)) не использовалось, поэтому данных по критической плотности теплового потока для данных помещений нет. Вследствие этого в данной работе величина критической плотности теплового потока принята по материалу с минимальной критической плотностью теплового потока.

Проведенный анализ критических значений плотности теплового потока для материалов показал, что для магазинов по продаже одежды эту величину можно принимать равной $7,5 \text{ кВт/м}^2$ (материалы, изготовленные на основе хлопка и капрона).

Как видно из рисунка 4, при пожаре в помещении магазина и выполнении условия формулы (1) распространение пожара на противоположную сторону многосветного помещения (атриум) происходить не будет.

В третьей главе проведен анализ пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум). Появление пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум) создает условия для возможности распространения пожара из одной части здания в другую и влияет на систему обеспечения пожарной безопасности здания.

В результате обследований в многосветных помещениях (атриумы) были выявлены факты размещения на короткое время новогодних елок, рекламных баннеров и островковой торговли, а на длительное время – предметов интерьера.

Основываясь на результатах обследований, была разработана классификация пожарной нагрузки, находящейся в многосветном помещении (атриум) (рисунок 5), а также был сделан вывод: пожарная нагрузка, находящаяся в островковой торговле, может привести с большей долей вероятности к распространению пожара из одной стороны многосветного помещения (атриум) на противоположную. Данный вывод был сделан на основе следующих наблюдений:

- пожарная нагрузка в зоне островковой торговли выше, чем в рекламных баннерах, украшениях к празднику;
- нахождение островковой торговли в многосветном помещении (атриум) по времени значительно дольше, чем рекламные баннеры или украшения к празднику..

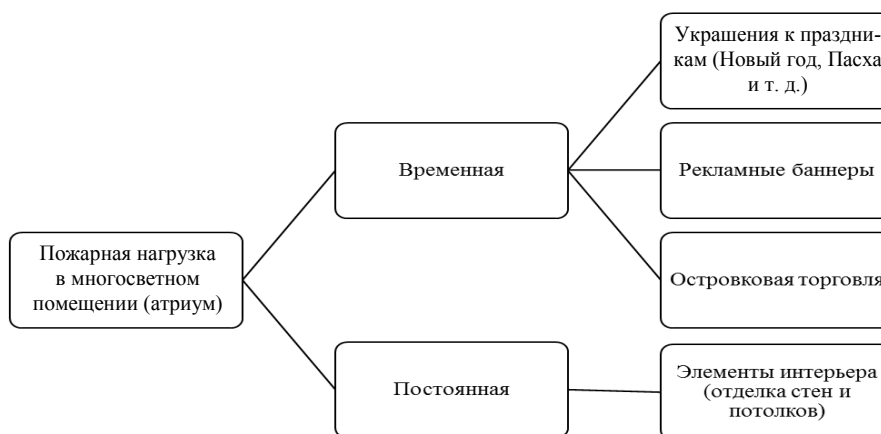


Рисунок 5 – Классификация пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум)

Было также выявлено, что конструкции ларьков, киосков и других элементов островковой торговли можно классифицировать по содержанию пожарной нагрузки (рисунок 6).

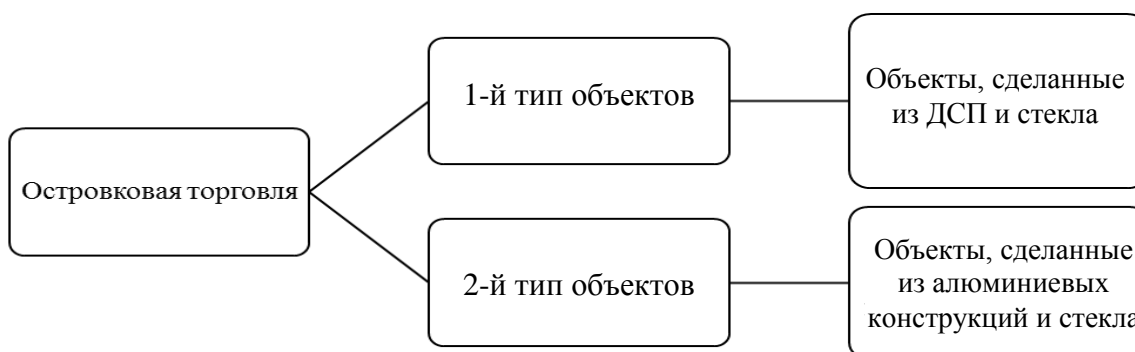


Рисунок 6 – Классификация островковой торговли по содержанию горючих материалов в конструкции самого объекта

По мнению автора данной работы, наиболее опасным, с точки зрения распространения пожара через многосветное помещение (атриум), является островковая торговля с применением торгового оборудования, изготовленного из ДСП и стекла, поэтому в дальнейшем речь пойдет об этом варианте островковой торговли.

Кроме того, в состав пожарной нагрузки островковой торговли попадают и отдельные виды продаваемой продукции и упаковок. Наиболее часто встречаемой продукцией в островковой торговле являются:

- ювелирные украшения;
- часы;
- чехлы для сотовых телефонов;
- кошельки, обложки, сумки, чехлы.

В ходе обследования пожарной нагрузки островковой торговли производились замеры размеров (длина, ширина и высота 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 м².

В ходе расчета было установлено, что пожарная нагрузка, содержащаяся в продаваемом товаре, занимает лишь 17–25 % от общей пожарной нагрузки. В первом приближении значение удельной пожарной нагрузки в островковой торговле аппроксимируется усеченным нормальным законом в рамках $594,7 \pm 94,7$ МДж/м².

Преобладающее влияние на распространение пожара через многосветное помещение (атриум) оказывает тепловое излучение, при этом теплопроводность и конвекция на распространение пожара будут влиять незначительно, и ими можно пренебречь.

Одним из основных законов теплового излучения между произвольно расположенными телами является закон Стефана – Больцмана:

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

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты системы; $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) – постоянная Стефана – Больцмана; $T_{\text{пл}}$ – температура пламени, К; Φ_{1-2} – угловой коэффициент облученности.

Использование формулы (2) затруднено из-за того, что в правой части уравнения есть два параметра, данные по которым в справочной литературе отсутствуют или не до конца изучены – это такие показатели, как угловой коэффициент облученности и температура пламени.

В данное время для расчетов падающего теплового потока при горении древесины и изделий из древесины принимают температуру пламени 1300 К. Однако применение этого значения температуры пламени для конструкций, изготовленных из ДСП, не является корректным, так как в составе ДСП присутствуют вяжущие смолы.

Вследствие этого автор в своей работе оперировал понятием интегральной интенсивности излучения пламени, в формулу определения которой входит значение температуры пламени. Интегральная интенсивность излучения пламени находится по формуле (3):

$$q_{\text{и}} = \varepsilon_{\text{пл}} \sigma_0 T_{\text{пл}}^4, \quad (3)$$

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

Угловой коэффициент облученности зависит от трех параметров:

- высота пламени,
- ширина пламени,
- расстояние от пламени до облучаемого тела.

Для твердых горючих материалов (например ДСП), примененных в конструкциях объектов островковой торговли, в справочниках не представлены данные по определению высоты пламени.

Для определения параметров, названных выше, была проведена серия натуральных экспериментов, целью которых было определение высоты пламени и интегральной интенсивности излучения пламени при горении материалов объекта островковой торговли.

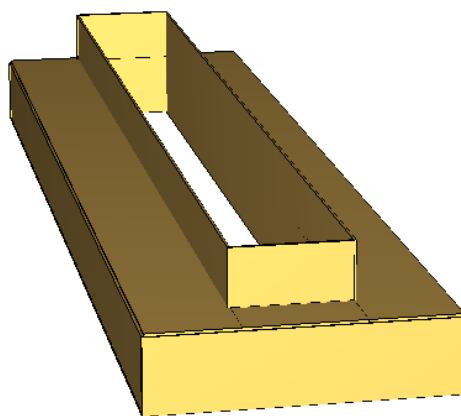
В результате экспериментов получены данные по высоте пламени и интегральной интенсивности излучения пламени.

Подготовительным этапом к проведению натурального эксперимента был выбор модели конфигурации объекта островковой торговли из ДСП, наиболее часто встречаемого в зданиях (рисунок 7).



a

б



в

Рисунок 7– Типичная конфигурация объекта островковой торговли:
a, б – островковая торговля кошельками, обложками, сумками и чехлами;
в – 3D-модель типичной конфигурация объекта островковой торговли

Геометрические параметры модели объекта выбирались на основе обследования пожарной нагрузки в многосветном помещении (атриум), при этом главным критерием выбора являлась частота использования геометрических показателей.

При вычислении 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 8.

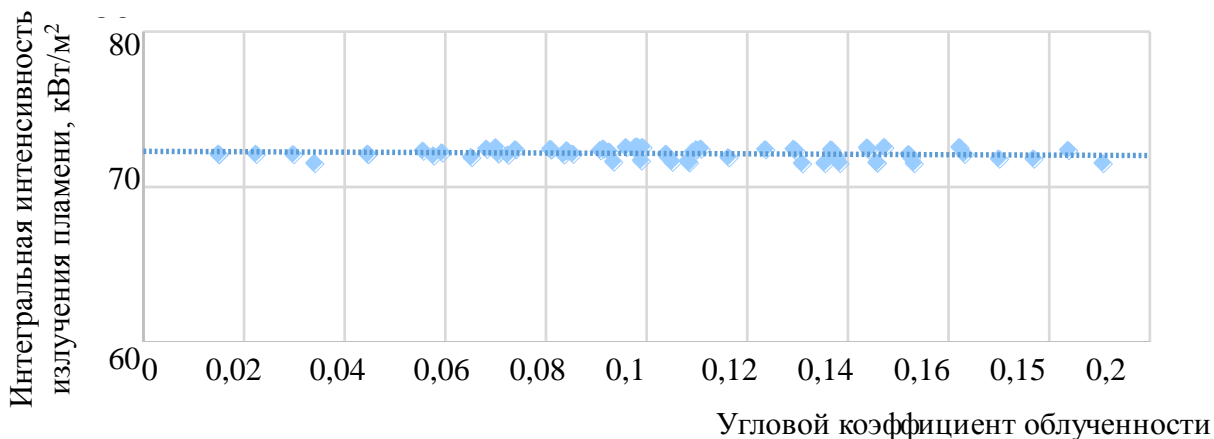


Рисунок 8 – Зависимость интегральной интенсивности излучения пламени при горении объекта островковой торговли от углового коэффициента облученности:

- ◆ Экспериментальные данные
- Линейная аппроксимация экспериментальных данных

Значением интегральной интенсивности излучения пламени при горении объекта островковой торговли является величина $72,2 \pm 8,4$ кВт/м².

В ходе обработки видеоматериалов, полученных в ходе экспериментов, было сделано предположение, что плоскость пламени можно принять за прямоугольную форму для расчета падающего теплового потока от объекта островковой торговли (рисунок 9).

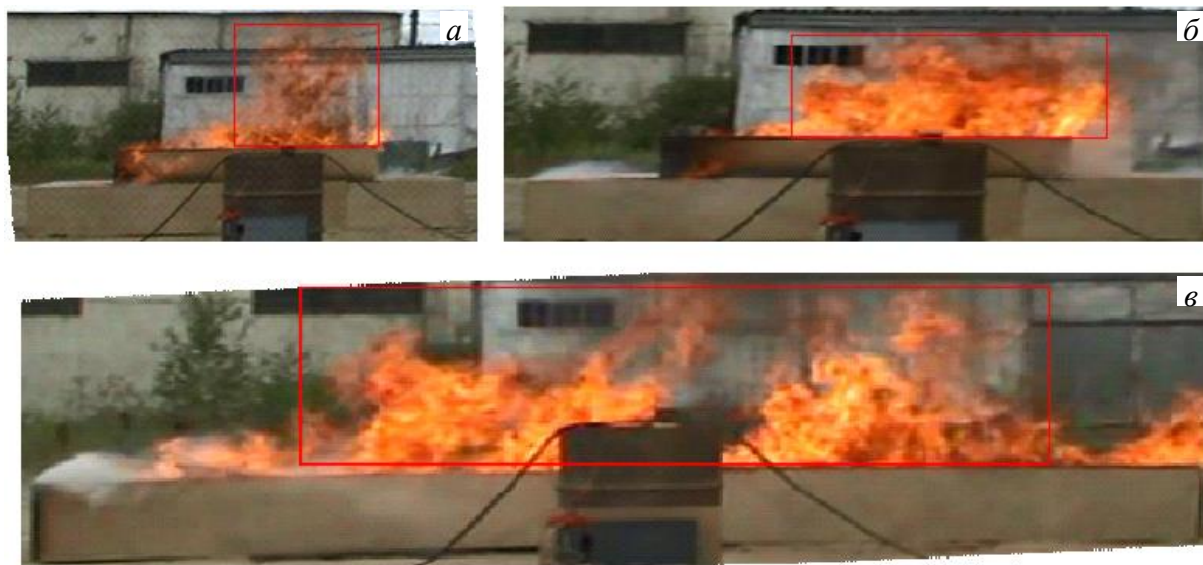


Рисунок 9– Примеры прямоугольной формы пламени при горении объекта островковой торговли:

- а* – 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, были произведены расчеты углового коэффициента облученности по фактической форме излучающей поверхности факела пламени и по излучающей поверхности факела пламени, приведенной к прямоугольной форме. Относительная погрешность между результатами составила меньше 1 %. Следовательно, в инженерных рас-

четах можно использовать высоту пламени для расчета углового коэффициента облученности, определенную на основе прямоугольной формы факела пламени.

Эмпирическая зависимость высоты пламени от ширины можно описать уравнением (4):

$$h = (0,347 - 0,127 \ln(b))b. \quad (4)$$

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

Для определения ширины многосветного помещения (атриум), при которой распространение пожара из одной части в другую не происходит, нужно определить совместное действие двух параллельных источников тепловых потоков.

Для обоснования ширины многосветного помещения (атриум), удовлетворяющей условию нераспространения пожара по тепловому потоку из одной части многосветного помещения (атриум) в другую без учета влияния остекленных перегородок из закаленного стекла, был произведен расчет максимального теплового потока от горящего объекта островковой торговли. На рисунке 10 представлены результаты расчета при длине объекта 7,4 м и ширине 2,4 м.

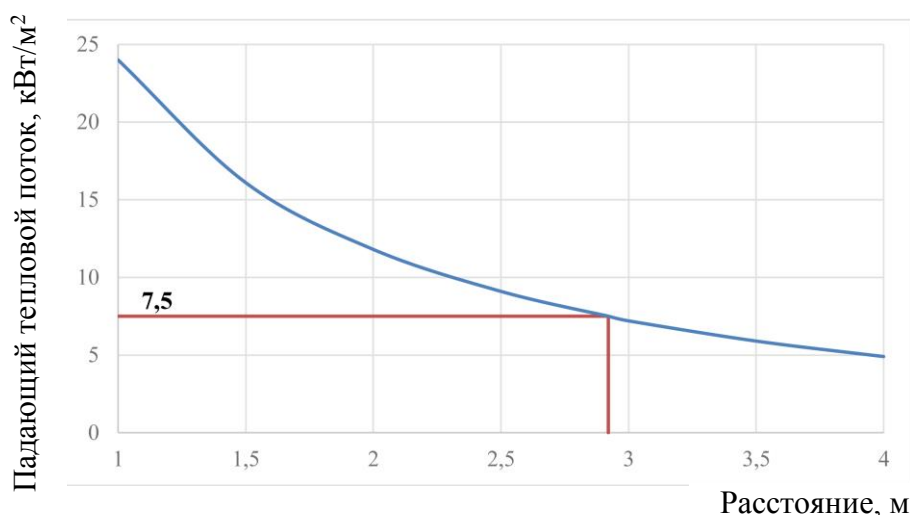


Рисунок 10 – Зависимость падающего теплового потока от расстояния

Как видно из рисунка 10, при критическом тепловом потоке (7,5 кВт/м²) распространение пожара от горящего объекта островковой торговли в помещение торговли, который расположен на расстоянии 2,9 м, не происходит.

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 м (ширина объекта островковой торговли – до 2,4 м без учета светопрозрачных перегородок из закаленного стекла).

Учитывая тепловой поток, действующий 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 по тепловому потоку, составляет не менее 8,9 м (рисунок 11).

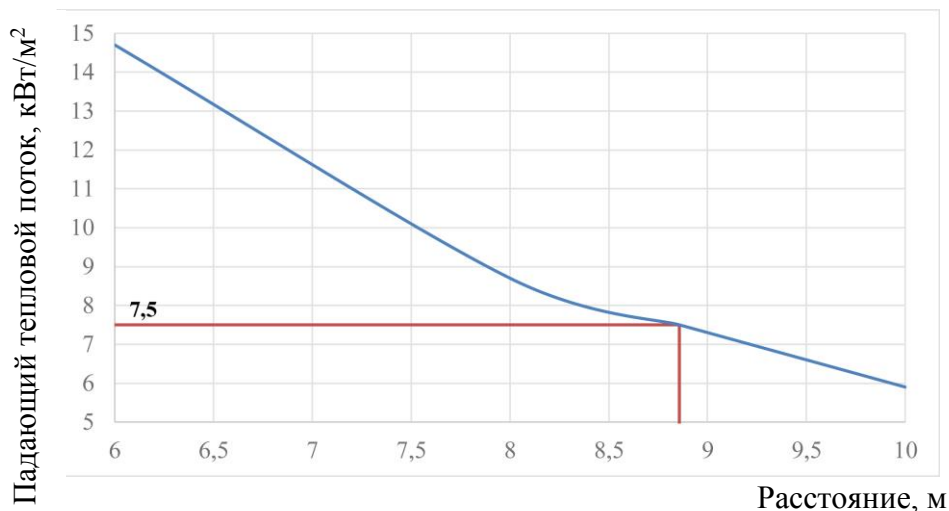


Рисунок 11 – Зависимость падающего теплового потока от ширины многосветного помещения (атриум)

В четвертой главе проводится расчет ширины многосветного помещения (атриум), удовлетворяющий условию нераспространения пожара по тепловому потоку с учетом поглощающей и пропускающей способности стекла.

Стекло обладает специфическими физико-химическими свойствами. Одним из таких свойств стекла является способность частично пропускать, поглощать и отражать излучение.

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

Если указанные тепловые потоки соотнести с падающим тепловым потоком, то уравнение сохранения энергии записывается следующим образом:

$$q_{\text{п}} = q_R + q_A + q_D, \quad (5)$$

где $q_{\text{п}}$ – падающий тепловой поток, Вт/м²; q_R – отраженный тепловой поток, Вт/м²; q_A – поглощенный тепловой поток, Вт/м²; q_D – пропущенный сквозь тело тепловой поток, Вт/м².

Для того чтобы определить, какая часть падающего теплового потока отражается, поглощается или проходит сквозь стекло, необходимо записать уравнение (5) в безразмерном виде, для этого каждый член уравнения следует поделить на падающий тепловой поток:

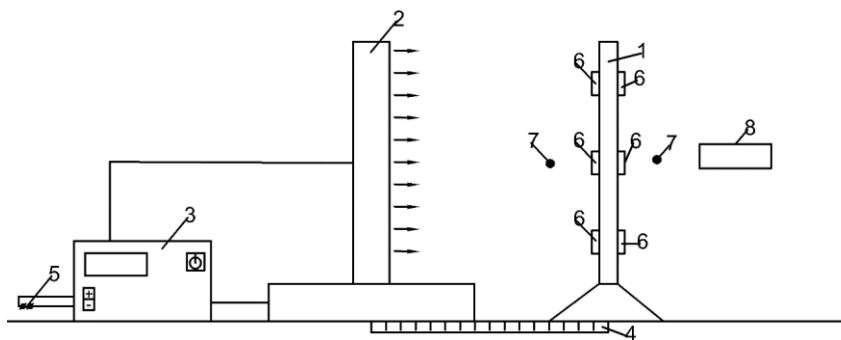
$$1 = R + A + D, \quad (6)$$

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

Для определения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способностей стекла была проведена серия экспериментов.

Были разработаны экспериментальные стенды для определения коэффициентов, указанных в описании формулы (6) (рисунок 12).

а



а – схема стан­дов:
1 – об­разец стек­ла;
2 – ра­диацион­ная па­нель; 3 – блок управ­ле­ния; 4 – ли­нейка для опре­деле­ния рас­сто­яния от па­нели до об­разца; 5 – ис­точник пи­та­ния элек­троэнер­гией; 6 – ле­пестко­вые термо­пары; 7 – ко­роль­ко­вые термо­пары; 8 – при­емник тепло­вого по­тока;

б



б – вид од­но­го из экс­перимен­таль­ных стан­дов

Рисунок 12 – Стенд для определения коэффициентов отражательной, поглощательной и пропускающей способности закаленного стекла

В ходе эксперимента были получены данные, которые использовались для построения графиков (рисунки 12, 13 и 14), показывающих изменения коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способности закаленного стекла толщиной 6 (●), 8 (●) и 10 (●) мм от падающего теплового потока.

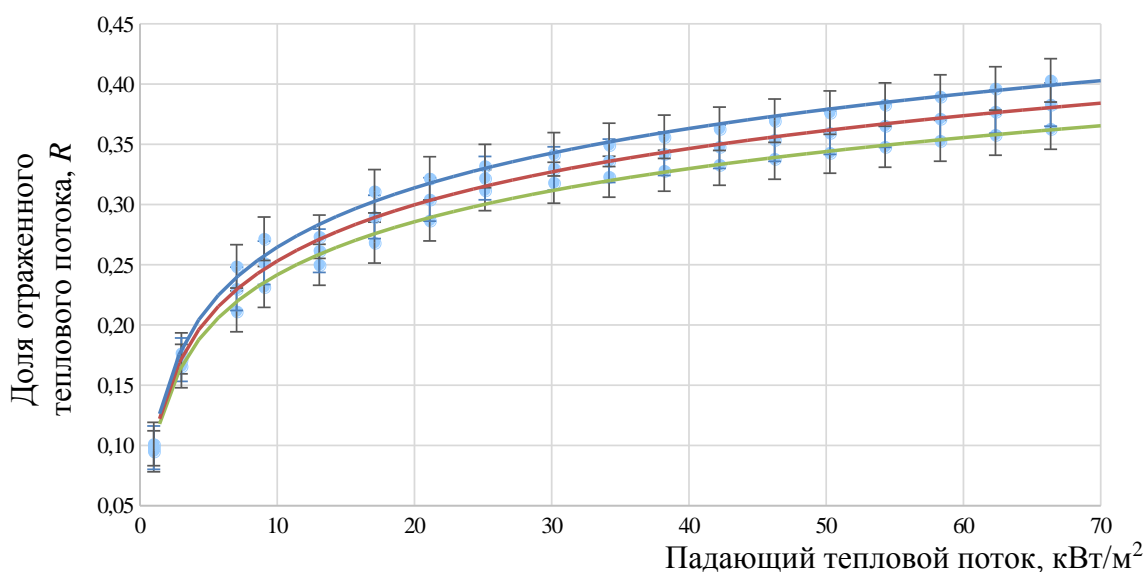


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента отражающей способности закаленного стекла (R) от падающего теплового потока

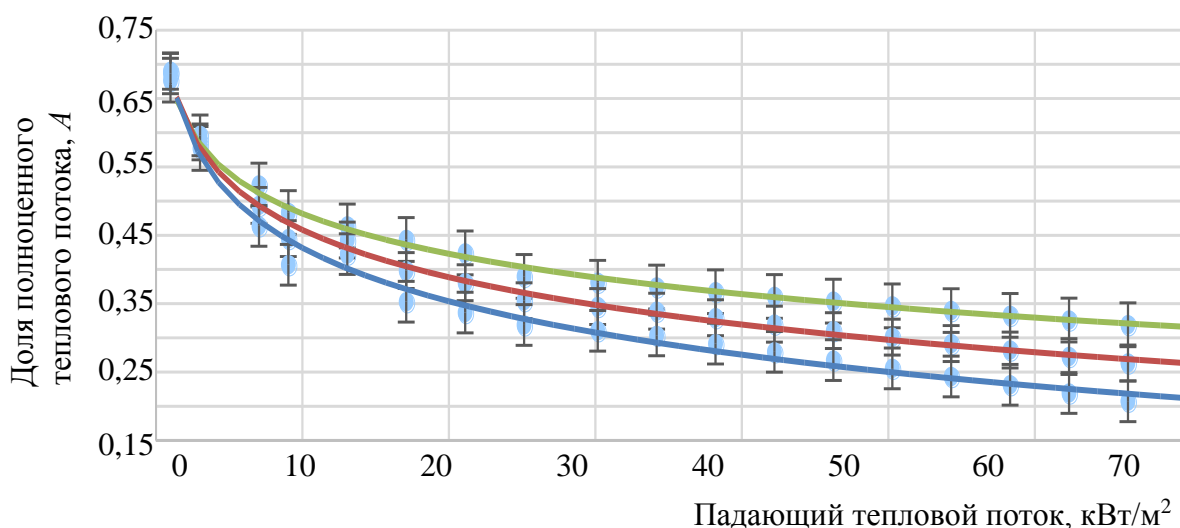


Рисунок 13 – Зависимость коэффициента поглощающей способности закаленного стекла (A) от падающего теплового потока

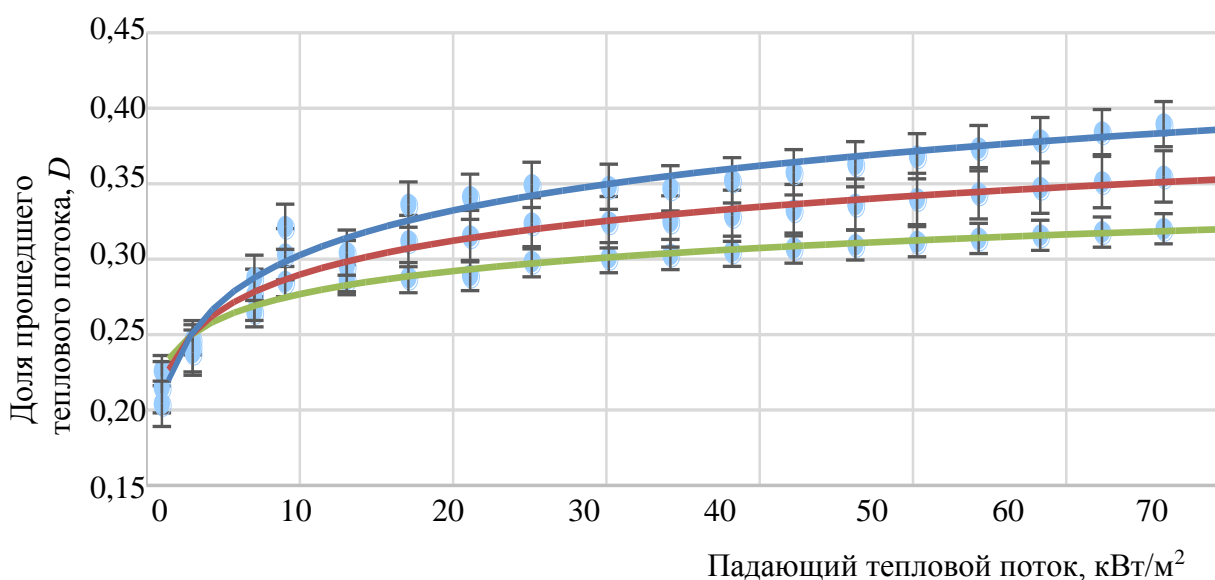


Рисунок 14 – Зависимость коэффициента пропускающей способности закаленного стекла (D) от падающего теплового потока:

Полученные экспериментальные данные были обработаны с помощью программного комплекса Microsoft Excel и Attestat, получены эмпирические зависимости коэффициентов отражающей, поглощающей и пропускающей способности стекла от падающего теплового потока при толщине стекла 6, 8 и 10 мм:

При толщине закаленного стекла 6 мм получены следующие зависимости коэффициентов:

$$R = 0,0711 \ln(q_n) + 0,1009; \quad (8)$$

$$A = 0,6911 - 0,1130 \ln(q_n); \quad (9)$$

$$D = 0,0427(q_n) + 0,2042. \quad (10)$$

При толщине закаленного стекла 8 мм получены зависимости коэффициентов:

$$R = 0,0673 \ln(q_{\text{п}}) + 0,0980; \quad (11)$$

$$A = 0,6880 - 0,1000 \ln(q_{\text{п}}); \quad (12)$$

$$D = 0,0324(q_{\text{п}}) + 0,2151. \quad (13)$$

При толщине закаленного стекла 10 мм получены следующие зависимости коэффициентов:

$$R = 0,0673 \ln(q_{\text{п}}) + 0,0980; \quad (14)$$

$$A = 0,6880 - 0,1000 \ln(q_{\text{п}}); \quad (15)$$

$$D = 0,0324(q_{\text{п}}) + 0,2151. \quad (16)$$

Данные зависимости были получены в интервале падающего теплового потока от 1,0 до 66,4 кВт/м².

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

После проведения эксперимента были получены данные, на основании которых были произведены расчеты по прогреву закаленного стекла в течение 15 минут (до прибытия пожарных подразделений), при этом учитывалась доля поглощенного теплового потока, в результате чего автор данной работы пришел к выводу, что температура на стекле не достигает критического значения 350 °С. Поэтому можно считать, что до подачи первых стволов подразделениями пожарной охраны для тушения пожара светопрозрачное заполнение в виде закаленного стекла будет сохранять свою целостность и препятствовать распространению пожара посредством теплового потока.

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

На рисунке 15 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).

Как видно из расчетов, при ширине многосветного помещения (атриум) не менее 6,4 м и островковой торговли шириной 2,4 м, 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 не произойдет распространение пожара посредством теплового потока от одновременного воздействия тепловых потоков от магазина и объекта островковой торговли.

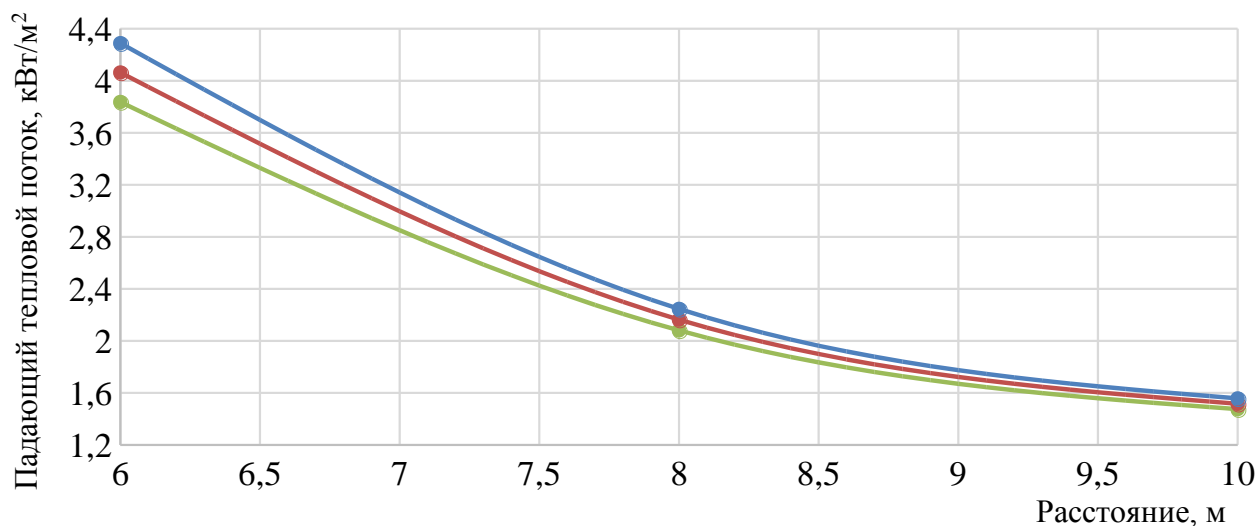


Рисунок 15 – Максимальный тепловой поток с учетом прошедшего теплового потока при ширине объекта островковой торговли 2,4 м и длине 7,4 м:

—●— 6 мм; —●— 8 мм; —●— 10 мм

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/м².

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 за-

каленное 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.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях из перечня ВАК:

1. Мироненко, Р.В. Область применения алюминиевых остеклённых перегородок в зданиях с атриумами [Электронный ресурс] / Е.Е. Кирюханцев, Т.Ф. Фирсова, Р. В. Мироненко, В. А. Ушаков// Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3 (61).– С. 47–51. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/30-03-15.ttb.pdf>.

2. Мироненко, Р.В. Влияние перегородки из закалённого стекла на развитие пожара через многосветное помещение [Электронный ресурс] / Р.В. Мироненко // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 6 (70). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-6/15-06-16.ttb.pdf>.

3. Мироненко, Р.В. Условия развития пожара через многосветные помещения [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Р.В. Мироненко// Пожарная безопасность. – 2017. – № 2. – С. 108–113.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа по обработки данных, полученных при моделировании пожара по полевой модели / Мироненко Р. В., Кирюханцев Е. Е.; заявители и правообладатели / Мироненко Р.В., Кирюханцев Е.Е. № 2016619249; заявление 23.06.2016; регистрация 16.08.2016; Бюллетень № 9(119).

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа по расчету углового коэффициента облученности фактического факела пламени / Мироненко Р.В., Кирюханцев Е.Е.; заявители и правообладатели / Мироненко Р.В., Кирюханцев Е. Е. № 2016661290; заявление 04.07.2016; регистрация 05.10.2016; Бюллетень № 11(121).

Остальные публикации по теме диссертации:

6. Мироненко, Р.В. Многосветные пространства, многосветные помещения и атриумы и их классификация [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Т.Ф. Фирсова, Р.В. Мироненко // Материалы 4-й Международной научно-практической кон-

ференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 93–95.

7. Мироненко, Р.В. «Противопожарное расстояние» во внутреннем объеме здания [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Р.В. Мироненко // Материалы 18-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» Секция 3. – 2015. – М.: МГСУ, 2015. – С. 502–504.

8. Мироненко, Р.В. Обеспечение пожарной безопасности зданий при применении светопрозрачных перегородок [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Р.В. Мироненко // Материалы 24-й международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Системы безопасности – 2015» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 129–130.

9. Мироненко, Р.В. Определение зависимости огнестойкости остекленных перегородок от пожарной нагрузки ограничивающих распространение пожара в многосветных помещениях [Текст] / Р.В. Мироненко // Материалы 5-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 21–23.

10. Мироненко, Р.В. Влияние реальной пожарной нагрузки в торговых павильонах в зданиях с многосветными помещениями на огнестойкость остекленных перегородок [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Р.В. Мироненко // Материалы 19-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» Секция 3. – М.: МГСУ, 2016 – С. 502–505.

11. Мироненко, Р.В. Оценка влияния светопрозрачного заполнения в виде закаленного стекла на распространение пожара по зданию торгово-развлекательного центра с многосветным помещением [Текст] / Р.В. Мироненко // Сборник материалов Дней науки «Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации», состоящий из 2-х частей, включает статьи и тезисы участников научно-практических мероприятий, проведенных с 23 по 27 мая 2016 года на базе Уральского института ГПС МЧС России. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2016. – Ч.2. – С. 27–30.

12. Мироненко, Р.В. Влияние теплового потока на поглощательную, отражательную и пропускательную способность светопрозрачного заполнения в виде закаленного стекла при пожарах в многосветных помещениях (атриумах) [Текст] / Р.В. Мироненко // «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы»: Сборник статей по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 29–30 сентября. 2016 г.: в 2-х частях - Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2016. – Ч. 1. – С. 80–82.

13. Мироненко, Р.В. О делении здания торгово-развлекательного центра на пожарные отсеки созданием многосветных помещений (атриумов) [Текст] / Р.В. Мироненко // Материалы 25-й международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Системы безопасности – 2016» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 293–295.

14. Мироненко, Р.В. Пожарная нагрузка в многосветном помещении (атриуме) торгово-развлекательных центров [Текст] / Р.В. Мироненко // Материалы 25-й международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Системы безопасности – 2016» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 295–296.

15. Мироненко, Р.В. Параметры распространения пожара через многосветные помещения (атриумы) торгово-развлекательных центров [Текст] / Р.В. Мироненко // Материалы 25-й международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Системы безопасности – 2016» – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 297–299.

16. Мироненко, Р.В. Прогнозирование распространения пожара по зданиям торгово-развлекательных центров через многосветные помещения (атриумы) [Текст] / Мироненко Р.В. // Материалы 5-й международной научно-практической конференции «Ройтмановские чтения». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 42–45.

17. Мироненко, Р.В. Ограничение распространения пожара через многосветное помещение (атриум) по зданиям торгово-развлекательных центров [Текст] / Р.В. Мироненко // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2017». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 80–83.

18. Мироненко, Р.В. Определение параметров горения островковой торговли, наиболее встречаемой в многосветном помещении (атриуме) торгово-развлекательных центров [Текст] / Е.Е. Кирюханцев, Р.В. Мироненко // Материалы 20-й Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» Секция 3. – М.: МГСУ, 2017 – С. 486–488.

Подписано в печать: 07.12.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆

Печать офсетная. Усл.-печ. л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № 123

Академия ГПС МЧС России. 129366 г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4