

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

Академия Государственной противопожарной службы

На правах рукописи



Безбородов Владимир Игоревич

**УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПОЖАРЕ ФАСАДНЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ВЫСОТНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

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

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Казиев Махач Магомедович

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	13
1.1 Виды применяемых в строительстве светопрозрачных конструкций фасадов зданий	13
1.2 Пожары и особенности их развития по фасадам высотных зданий	17
1.3 Теоретические исследования и методы расчета устойчивости при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций	29
1.4 Экспериментальные методы оценки огнестойкости и пожарной опасности светопрозрачных фасадов зданий.....	41
1.5 Цели и задачи исследования	48
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОЖАРЕ СВЕТОПРОЗРАЧНОЙ ФАСАДНОЙ КОНСТРУКЦИИ	49
2.1 Основные теоретические положения и структурно-логическая модель расчета пожароустойчивости светопрозрачного фасада	49
2.2 Критерии разрушения светопрозрачных конструкций при пожаре	54
2.3 Выбор и обоснование исходных данных для расчета	56
2.4 Алгоритм расчета устойчивости светопрозрачной фасадной конструкции при пожаре.....	59
ГЛАВА 3. УСТОЙЧИВОСТЬ ФАСАДНЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА.....	66
3.1 Методика натурного огневого испытания фасадной светопрозрачной конструкции	66
3.2 Результаты испытания и их анализ	77
3.3 Достоверность теоретических данных и методики расчета устойчивости светопрозрачного фасада здания	87
3.4 Выводы по результатам натурного огневого испытания.....	90

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЛОЩАДИ ОКОННОГО ПРОЕМА НА ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ФАСАДУ.....	91
4.1 Методика натурного огневого испытания по оценке эффективности средств и способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий	91
4.2 Результаты испытания и их анализ	101
4.3 Выводы по результатам натурного огневого испытания.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	113
ПРИЛОЖЕНИЕ А	125
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ В	137
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	144
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	151
ПРИЛОЖЕНИЕ З	155
ПРИЛОЖЕНИЕ И	158
ПРИЛОЖЕНИЕ К	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Пожары в высотных зданиях отличаются сложностью и длительностью выполнения спасательных операций и действий по их тушению. С увеличением темпов высотного строительства растет и количество пожаров в подобных зданиях. Пожары в зданиях жилого назначения представляют наибольшую опасность для общества, так как происходят наиболее часто (71% от общего числа пожаров), при этом гибель людей в жилых зданиях составляет 89,6% от общей численности погибших на пожарах за последние 20 лет.

Темпы роста высотного строительства неуклонно растут, при этом все чаще фасады высотных зданий выполняются из светопрозрачных конструкций. Стекло, обладая низкой устойчивостью к воздействию высоких температур пожара, разрушаясь, дает возможность выходу пожара на фасад, что, в свою очередь, может повлечь распространение пожара на вышележащие этажи.

Требования к строительству светопрозрачных фасадов зданий, изложенные в нормативных документах по пожарной безопасности, направлены на предотвращение развития пожара с наружной стороны фасада. Так, междуэтажные пояса выполняют роль барьеров, через которые пожар не должен перейти на вышележащий этаж. Однако в высотных зданиях с наружной стороны возникают значительные, вертикально направленные ветровые потоки, способные оказывать влияние на характер внешнего пожара. В 1980 г. о влиянии ветра на внешний пожар утверждал и Н.П. Копылов [1]. Пожары в высотных зданиях, происходящие во всем мире, свидетельствуют о характере их распространения с внешней стороны здания, с вовлечением в пожар этажей, расположенных над ним.. Объективная необходимость создания эффективных способов защиты светопрозрачных фасадов высотных зданий в условиях пожара определяет актуальность настоящего исследования.

Степень разработанности темы исследования. Изучением поведения стекла в условиях пожара и факторов, влияющих на его разрушение, посвящено множество работ российских и зарубежных исследователей: М.М. Казиев,

А.В. Дудунов, Е.В. Зубкова, Г.К. Святкин, В.В. Лицкевич, А.В. Карпов, P.J Pagni, A.A. Joshi, T.J. Shields, G.W. Silcock, F.W. Mowrer и другие. Существующие теории разрушения стекла и установленные критерии оценки устойчивости стекла при пожаре основаны на результатах лабораторных и крупномасштабных экспериментов. Казиевым М.М. и Зубковой Е.В. было установлено, что главным критерием, способствующим разрушению стекла, является скорость нарастания температурного воздействия на него. На реальных пожарах при разрушении светопрозрачного заполнения и выходе пламени пожара на фасад здания реализуется максимально быстрый прирост температуры вдоль плоскости фасада. На сегодняшний день отсутствуют сведения о поведении стекол при внешнем воздействии пожара, а также отсутствует какая-либо методика, позволяющая спрогнозировать угрозу разрушения светопрозрачного заполнения вышележащего этажа и распространение пожара по зданию.

Изучением закономерностей, влияющих на характер воздействия пожара, вышедшего из окна горящего помещения на фасад здания, посвящено множество работ (И.С. Молчадский, И.Р. Хасанов, S. Yokoi, I. Oleszkiewicz, P.H. Thomas, M. Law, M. Delichatsios и другие), по результатам которых сформулированы расчетные зависимости, позволяющие расчетным методом определить высоту пламени и распределение температуры вдоль плоскости фасада здания. Однако ни в одном исследовании не оцениваются внешние факторы, которые могут влиять на высоту температуры вдоль фасада. Речь идет о ветровом потоке, характерном для высотных зданий.

Дальнейшие исследования обусловлены необходимостью расширить познания о степени влияния конвективных потоков на характер распределения температурных полей пожара вдоль плоскости фасада, получить данные о поведении стекол и стеклопакетов при различных температурных режимах пожара, а также выявить зависимости для методики расчета устойчивости при пожаре светопрозрачных конструкций.

Нормативными документами по пожарной безопасности определено, что в высотных зданиях следует предусматривать мероприятия по ограничению

распространения пожара по фасаду здания. Однако дополнительные указания по применению тех или иных мероприятий, а также методы оценки эффективности этих мероприятий не приведены.

К мероприятиям по ограничению распространения пожара по фасаду относятся активные и пассивные меры противопожарной защиты зданий. К активным мерам относят устройство систем автоматического пожаротушения или водяного орошения светопрозрачных фасадов зданий, к пассивным – конструктивные решения фасадов или зданий, препятствующие выходу пламени на фасад или локализирующие его размеры в принятых границах (огнестойкий фасад, вертикальный междуэтажный пояс или горизонтальный козырек).

Наиболее надежными и эффективными считаются пассивные методы противопожарной защиты, на работу которых не оказывают влияние внешние факторы, такие как долговечность, наработка на отказ, сохранность и ремонтпригодность.

Оценить эффективность применения тех или иных способов защиты светопрозрачных фасадов зданий возможно только на основании результатов научных исследований, нашедших свое отражение в критериях безопасности, методах их определения или сформулированных требованиях нормативных документов по пожарной безопасности.

Так, японский ученый S. Yokoі по результатам многочисленных огневых экспериментов установил, что горизонтальный козырек размером 0,74 м, расположенный над окном горящего помещения, не позволяет пламени разрушить вышележащее окно. Результаты этих исследований внесли вклад в нормативные требования многих стран.

Однако горизонтальные козырьки не находят применения в архитектурном облике зданий, имеющих светопрозрачные фасады, поэтому наиболее эффективным способом ограничения распространения пожара по фасаду здания остается устройство огнестойких фасадов.

Зачастую при строительстве светопрозрачных фасадов высотных зданий огнестойкие светопрозрачные конструкции заменяют на обычные, компенсируя это огнестойким междуэтажным поясом высотой 1,2 м, предназначенным для

ограничения распространения пожара между этажами, а в некоторых случаях (при разработке специальных технических условий), уменьшая высоту указанного пояса, предусматривают водяное орошение стекол. Несмотря на то, что в настоящее время водяное орошение стекол применяется во многих уникальных зданиях, мнение ученых о его эффективности неоднозначное. Связано это с наличием большого количества критериев, оказывающих влияние как на устойчивость стекла в условиях пожара, так и на работоспособность данной системы.

Зарубежными учеными I. Oleszkiewicz и H. Longhua по результатам научных исследований сделан вывод о том, что на высоту пламени пожара, выходящего из окна горящего помещения, влияет мощность очага пожара, а также соотношение размеров оконного проема.

Справедливо предположить, что одним из активных методов ограничения распространения пожара по фасаду здания может быть метод, основанный на снижении размеров (площади) оконного проема, через который пламя может выходить наружу.

Применение стекол в качестве основных ограждающих конструкций зданий, в том числе и высотных, определяет необходимость дальнейших исследований и поиск новых способов защиты стекол от негативного воздействия температуры пожара, а также ограничения его распространения по фасадам зданий.

Цель исследования заключается в определении характера распределения температурных полей по фасаду здания для обоснования технических решений по защите от разрушения светопрозрачных конструкций и предотвращения распространения пожара по фасаду высотных жилых зданий.

Для достижения цели сформулированы следующие **задачи исследования**:

- разработать алгоритм расчета необходимой и достаточной устойчивости светопрозрачного заполнения на вышележащем этаже относительно этажа пожара при максимальном его развитии;
- разработать методику натурного огневого испытания по оценке пожароустойчивости светопрозрачного фасада высотного жилого здания;
- установить характер распределения температурных полей по высоте фасада высотного жилого здания при максимальной степени развития пожара;

- установить влияние междуэтажных поясов на распространение пожара по светопрозрачному фасаду высотного жилого здания;
- определить влияние площади оконного проема на высоту пламени вдоль плоскости фасада здания.

Объектом исследования являются светопрозрачные фасадные конструкции жилых высотных зданий.

Предметом исследования является устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий.

Научная новизна работы заключается в:

- теоретическом обосновании алгоритма оценки устойчивости светопрозрачной фасадной конструкции при пожаре в жилом высотном здании;
- разработке методики натурного огневого испытания по оценке пожароустойчивости светопрозрачного фасада высотного жилого здания;
- получении сведений о характере распределения температурных полей по фасаду высотного жилого здания при максимальной степени развития пожара;
- определении предельных состояний и критериев разрушения светопрозрачного заполнения фасада помещения очага пожара;
- определении высоты пламени над помещением очага пожара от площади разрушенного оконного проема;
- получении данных о характере распределения температурных полей по высоте фасада здания при скорости восходящих воздушных потоков (3 м/с), характерных для высотных зданий.

Теоретическая значимость работы:

- установлены предельные состояния и выявлены критерии разрушения светопрозрачных конструкций при пожаре в высотных жилых зданиях;
- установлена зависимость температурных полей по высоте фасада от площади оконного заполнения помещения очага пожара;
- установлена зависимость, позволяющая спрогнозировать значения температурных полей вдоль плоскости фасада в зависимости от среднеобъемной температуры помещения очага пожара;

– установлено влияние скорости восходящих потоков, равной 3 м/с, на высоту пламени, выходящего из окна горящего помещения.

Практическая значимость работы:

– разработанный алгоритм расчета позволяет спрогнозировать характер распределения температурных полей вдоль плоскости фасада высотного жилого здания, на основании чего можно определить требования к показателям устойчивости при пожаре светопрозрачных конструкций и обосновывать противопожарные мероприятия по предотвращению распространения пожара по светопрозрачным фасадам высотных жилых зданий;

– разработана методика натурных огневых испытаний по оценке пожароустойчивости светопрозрачного фасада высотных жилых зданий;

– в условиях двух натурных огневых экспериментов установлены параметры развития пожара, особенности и критерии разрушения светопрозрачного фасада высотных жилых зданий, а также характер распределения температурных полей по высоте светопрозрачного фасада;

– установлена степень влияния междуэтажного пояса на предотвращение распространения пожара по светопрозрачному фасаду высотного жилого здания;

– в условиях натурных испытаний установлена эффективность снижения (перекрывания) площади оконного проема помещения очага пожара для понижения высоты пламени и интенсивности теплового воздействия на оконные конструкции вышележащего этажа. Одним из способов достижения этой цели является применение опускающегося экрана из негорючих материалов.

Методология и методы исследования.

Для решения поставленных задач применены теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретический метод основан на решении задач теплового режима твердых тел и анализе критериев разрушения светопрозрачных конструкций при пожаре. Экспериментальный метод основан на выявлении зависимостей между параметрами пожара и критериями разрушения светопрозрачного фасада на этаже пожара и вышележащих этажах.

Экспериментальный метод предназначен для:

- выявления максимального температурного режима пожара, который может быть в жилых высотных зданиях;
- получения новых данных о высоте пламени и температурных полях, формируемых по высоте фасада на максимальной стадии развития пожара в жилых высотных зданиях;
- определения предельных состояний и критериев разрушения стеклопакетов в наружных стенах очага пожара и при внешнем тепловом воздействии;
- определения эффективности применения огнезащитного экрана, сокращающего площадь оконного проема, для снижения высоты пламени и предотвращения разрушения светопрозрачного фасада вышележащего этажа.

Основные положения, выносимые на защиту:

- алгоритм определения необходимой и достаточной устойчивости светопрозрачного заполнения на вышележащем этаже относительно этажа пожара при максимальном его развитии;
- методика натурного огневого испытания по оценке пожароустойчивости светопрозрачного фасада высотного жилого здания;
- расчетные и экспериментальные значения температурных полей над помещением очага пожара в зависимости от среднеобъемной температуры и площади вскрытого остекления;
- результаты теоретического расчета и результаты двух натуральных огневых испытаний по изучению устойчивости светопрозрачного фасада при реальном пожаре в жилом высотном здании.

Степень достоверности результатов работы. Достоверность предложенного метода определения устойчивости при пожаре светопрозрачной фасадной конструкции определена:

- проведением экспериментальных исследований с использованием средств измерений и обработки информации, поверенных оборудованием, внесенным в реестр «Ростест»;

- использованием обоснованных математических моделей, применяемых для решения задач по определению параметров пламени;
- проведением двух натурных испытаний светопрозрачных фасадов в условиях реальных пожаров, характерных для жилых высотных зданий;
- удовлетворительной сходимостью результатов эксперимента и теоретических расчетов.

Апробация результатов. Материалы диссертационной работы реализованы (приложение А):

- в проекте свода правил «Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности», а также в учебном процессе в ЦНИИП Минстроя России, в том числе при подготовке учебно-консультационных семинаров «Комплексная безопасность навесных фасадных систем и светопрозрачных конструкций: нормативные требования, стандарты, проектирование, расчеты, испытания, сертификация, экспертиза» и «Обеспечение пожарной безопасности объектов капитального строительства при проектировании и экспертизе» ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»;

- ФГБУ ВНИИПО МЧС России при разработке новой редакции свода правил СП 2.13130 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты», в части касающейся обоснования требований пожарной безопасности к светопрозрачным наружным стенам зданий;

- при разработке методического пособия «Наружные светопрозрачные стены. Пожарная опасность», выполненного по заданию Департамента надзорной и профилактической работы МЧС России;

- акционерным обществом научно-производственное объединение проектный институт «Оренбурггражданпроект» при проектировании «Жилого комплекса по ул.Березка в г.Оренбурге с нежилыми помещениями на 1 и 2 этаже»;

- акционерным обществом научно-проектный центр по объектам здравоохранения и отдыха «ГИПРОЗДРАВ» при проектировании следующих

объектов: «Детская поликлиника на 320 посещений в смену, ул. Академика Анохина, вл.40, район Тропарево-Никулино» (0173200001516000331/2016) и «Детская поликлиника на 320 посещений в смену, район Ховрино, ул.Зеленоградская, д.27, корп.1;

– компанией ООО «Техстромпроект» при проектировании «Автосалона Mercedes-Benz в городе Оренбург».

Основные результаты доложены на:

– международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2012» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2012 год);

– VI научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018 год).

Публикации. По теме научно-квалификационной работы опубликовано 6 научных работ, из них 4 статьи – в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

Структура, объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 161 страницах текста, включает в себя 6 таблиц, 51 рисунок, 36 формул, список литературы из 93 наименований, приложения на 37 страницах.

ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Виды применяемых в строительстве светопрозрачных конструкций фасадов зданий

Современные технологии изготовления фасадных систем на основе стекла и алюминия способны удовлетворить практически любые запросы современной архитектуры. Яркими примерами светопрозрачных фасадов зданий в России являются небоскребы ММДЦ «Москва-Сити» (рисунок 1.1, а), бизнес-центр «Высоцкий» в Екатеринбурге (рисунок 1.1, б), Лахта Центр в Санкт-Петербурге (рисунок 1.1, в) и многие другие. Количество подобных зданий с каждым годом неуклонно возрастает.



а)



б)



в)

Рисунок 1.1 – Здания со светопрозрачными фасадами:
а) ММДЦ «Москва-Сити»; б) бизнес-центр «Высоцкий»; в) Лахта Центр

Как правило, светопрозрачный фасад здания одновременно выполняет функции ограждающих наружных стен, обеспечивающих и теплоизоляцию здания, и является внешним видом здания, формирующим архитектурный облик города. Фасад воспринимает воздействия внешних факторов (дождь, ветер, температурное воздействие окружающей среды), а также в случае возникновения внутреннего пожара должен обеспечить его нераспространение с наружной стороны здания.

Существует два основных способа устройства светопрозрачных фасадов зданий: первый способ предполагает навешивание светопрозрачных конструкций на откосе от каркаса здания и крепление к плитам перекрытия (рисунок 1.2, а), второй – встраивание светопрозрачной конструкции между перекрытиями, от пола одного этажа до плиты перекрытия следующего (рисунок 1.2, б), либо встраивание конструкции в стеновой проем (рисунок 1.2, в).

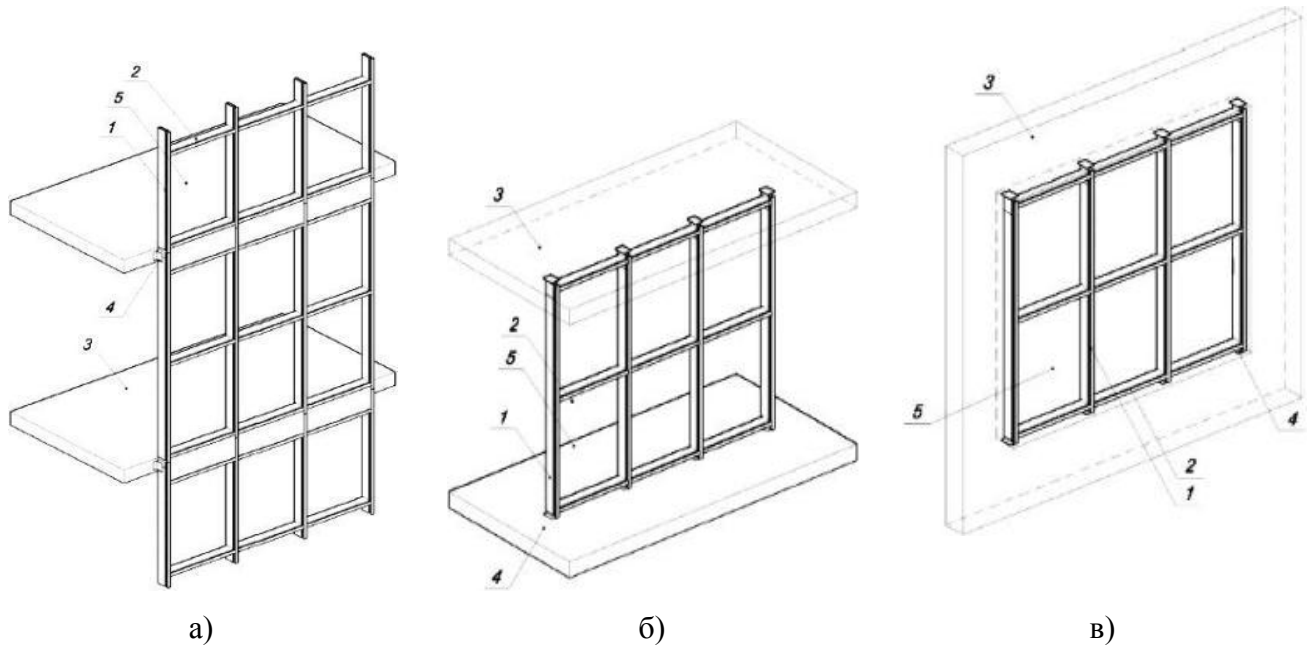


Рисунок 1.2 – Типы светопрозрачных фасадных конструкций:

а) навесная; б) встраиваемая в перекрытия в) встраиваемая в стене;

1 – стойка; 2 – ригель; 3 – каркас здания; 4 – кронштейн крепления; 5 – заполнение

Согласно [2] светопрозрачные конструкции фасадов разделяют на следующие типы: стоечно-ригельные; модульные; фахверковые; вантовые; бескаркасные; комбинированные.

Стоечно-ригельная (классическая) система остекления состоит из внутреннего (вертикальные несущие стойки, к которым крепятся горизонтальные ригели) и внешнего (прижим и декоративная крышка) алюминиевых профилей, между которыми через резиновые уплотнители зажат стеклопакет. Система собирается на несущих элементах здания. Несущий каркас стоечно-ригельной системы расположен с внутренней стороны стены (рисунок 1.3).

Стойечно-ригельная система остекления предназначена для вертикальных и наклонных фасадов, отличается простотой монтажа и сравнительно невысокой стоимостью конструкции. На сегодняшний день это самая распространенная фасадная система остекления.

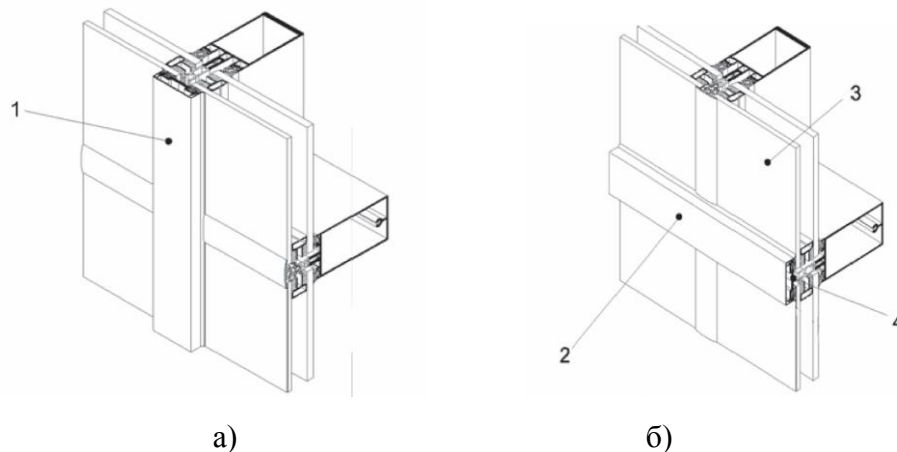


Рисунок 1.3 – Стойечно-ригельная система с полуструктурным остеклением:
а) с вертикальными видимыми элементами крепления;
б) с горизонтальными видимыми элементами крепления;
1 – вертикальный элемент крепления; 2 – горизонтальный элемент крепления;
3 – стеклопакет; 4 – прижимная планка

Модульная система фасадного остекления имеет высокую степень заводской готовности и представляет собой ячейку (модуль), выполняемую на один или два этажа, которая навешивается на выступающие консоли перекрытий (рисунок 1.4, а).

Принципиальные отличия от стойечно-ригельной и модульной систем остекления имеет фахверковая (рисунок 1.4, б), основанная на принципе точечного крепления стекла. На сегодня она является самой современной и самой дорогой системой фасадного остекления. Устроенная таким образом светопрозрачная конструкция характеризуется высокими показателями прочности при идеально ровной стеклянной поверхности с невидимым каркасом. Применение подобных систем ограничивается высотой конструкций и применяется в основном для создания оранжерей, входных групп зданий и т.п.

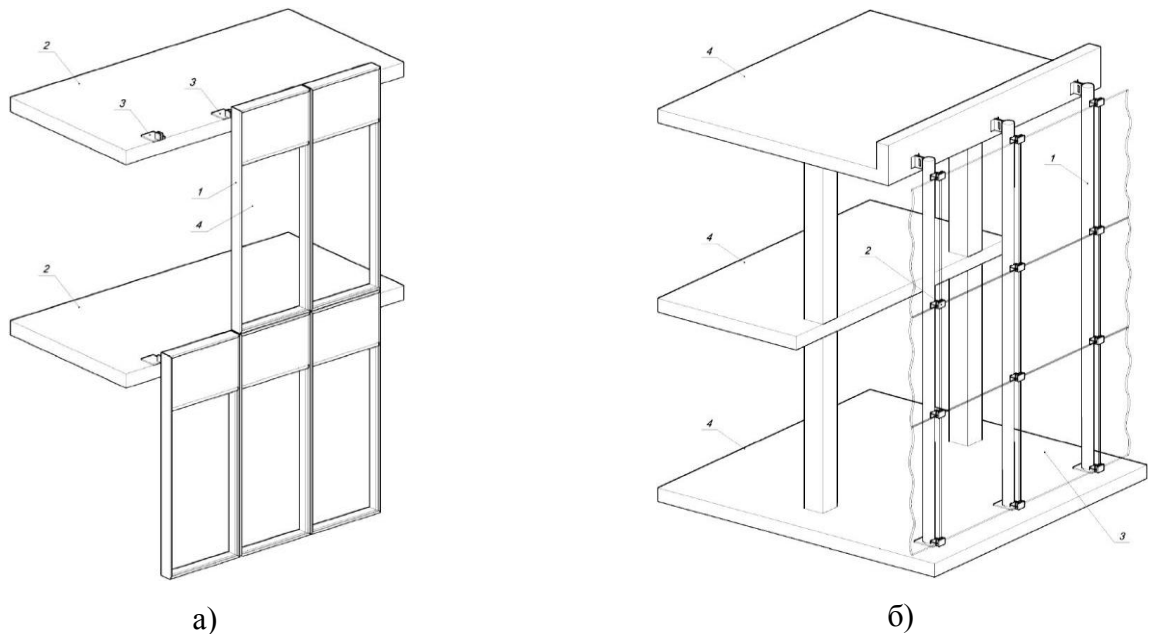


Рисунок 1.4 – Системы фасадного остекления:
 а) модульная: 1 – силовая рама; 2 – каркас здания; 3 – кронштейн; 4 – заполнение;
 б) фахверковая: 1 – каркас фахверка; 2 – зажим;
 3 – заполнение; 4 – конструкции каркаса здания

Маркетинговое исследование рынка светопрозрачных фасадов в России [3] в 2015–2017 гг. свидетельствует о сохранении высокого уровня потребительского спроса на алюминиевые конструкции для светопрозрачных конструкций. Так, в 2017 г. общая площадь подобных фасадов составила 6,59 млн м². Стоит отметить, что доля светопрозрачных фасадных конструкций, применяемых при строительстве жилых зданий, составляет 64 % от общего объема.

Выбор того или иного типа светопрозрачной конструкции определяется на стадии проектирования здания, где важным является вопрос совмещения архитектурного замысла проектировщика с условием обеспечения реальной безопасности людей на объекте.

Выполненный обзор применяемых в строительстве видов светопрозрачных конструкций, их особенностей применения, достоинств и недостатков позволил установить наиболее распространенный тип конструкции: стоечно-ригельная система, с ненормируемым по огнестойкости светопрозрачным заполнением с междуэтажным поясом, предназначенным для предотвращения перехода пожара между этажами.

1.2 Пожары и особенности их развития по фасадам высотных зданий

Пожаром называют неконтролируемое горение, причиняющее вред жизни и здоровью граждан, наносящее материальный ущерб, несущее опасность интересам общества и государства.

По сведениям ФГБУ ВНИИПО МЧС России [4] за период с 1997 по 2016 годы в России зафиксировано 384 пожара в высотных зданиях, 280 из которых – жилые. Пожары в высотных зданиях влекут распространение огня по всему фасаду здания, что приводит к большим разрушительным последствиям. Примерами таких пожаров в России являются пожар в Грозном в 2013 г. (рисунок 1.5, а), в Красноярске в 2014 г., ущерб от которых составил 332 млн и 52 млн соответственно. За рубежом подобные пожары произошли в Мадриде в 2005 г., в Лондоне в 2017 г. (рисунок 1.5, б), Нью-Йорке в 2018 г. (рисунок 1.5, в) и многих других городах.

Развитию пожара по фасаду могут способствовать такие факторы, как мощность очага пожара, горючая отделка фасада, внешние условия (ветер, конвективный поток), поднимающие пламя на большую высоту.



а)



б)



в)

Рисунок 1.5 – Примеры пожаров в высотных зданиях:
а) Грозного (2013 г.); б) Лондона (2017 г.); в) Нью-Йорка (2018 г.)

Стекло является негорючим материалом и не способствует распространению пожара по фасаду, однако обладая низкой устойчивостью к

воздействию высоких температур [5], способно разрушаться на ранних этапах пожара, что может стать косвенной причиной распространения пожара по фасаду здания вследствие выхода пламени наружу через оконный проем [6].

При разрушении оконного заполнения происходит дополнительное поступление кислорода к очагу пожара, что увеличивает скорость выгорания горючей нагрузки, при этом продукты термического разложения, не сгоревшие в объеме помещения, выбрасываются через оконные проемы. Уносимые конвективными и ветровыми потоками, не сгоревшие частицы догорают снаружи здания, создавая мощное температурное воздействие, формируемое вдоль плоскости фасада. Это становится причиной разрушения светопрозрачного заполнения на вышерасположенном этаже и перехода пожара на верхние этажи. Два пожара, расположенные один над другим, взаимно усиливают друг друга, создавая еще более мощные температурные поля вдоль плоскости фасада, развитие пожара по фасаду здания приобретает прогрессирующий характер с вовлечением в него помещений, расположенных по горизонтали. Поэтому одной из главных задач системы обеспечения пожарной безопасности здания в случае возникновения пожара является предотвращение выхода его наружу или ограничение перехода на смежные этажи.

В качестве примера можно привести пожар, произошедший в 2018 году в жилом доме города Актюбинск. Пожар начался на 3 этаже здания (рисунок 1.6, а), пламя быстро перекинулось на следующий этаж, конусообразно распространяясь вверх.



а)



б)



в)

Рисунок 1.6 – Пожар в жилом доме г. Актюбинск (Республика Казахстан)

На формирование ветровых потоков, направленных вертикально и омывающих фасад здания, значительно влияет естественная конвекция, возникающая из-за градиента температуры окружающего воздуха и плоскости фасада, нагретого солнечной радиацией, в результате чего возникает конвективный тепловой поток, направленный вверх здания.

Проведенные Ю.А. Табунщиковым [7] исследования позволили установить зависимость между разницей температур окружающей среды, температурой фасада и высотой здания (рисунок 1.7). На рисунке видно, что для здания высотой 100 м при разнице температур окружающей среды и поверхности фасада в 10°C скорость вертикального конвективного потока составляет 3 м/с. По мнению авторов, данное значение является наиболее распространенным.

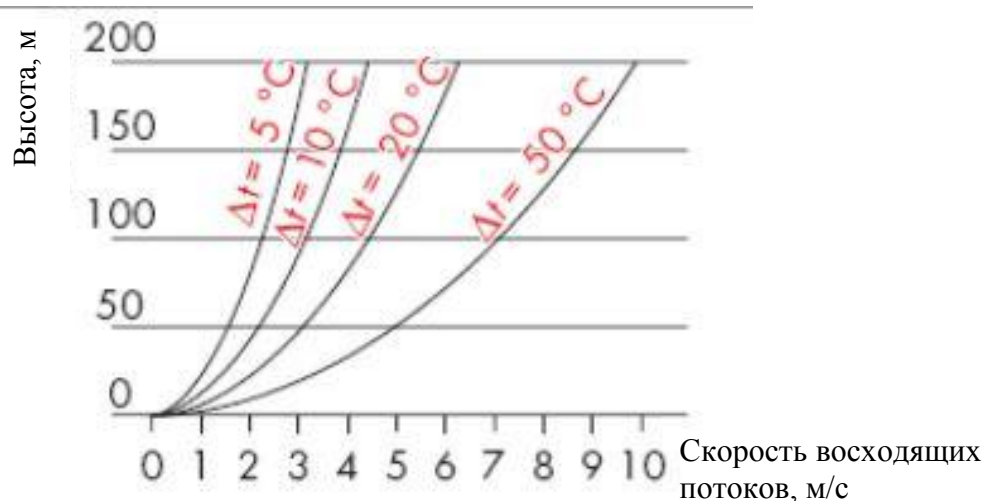


Рисунок 1.7 – Значения максимальных скоростей восходящих потоков у наружной поверхности здания

Однако в существующих методиках строительного проектирования, учитывающих ветровые воздействия на здания [8], вертикальная составляющая ветра не учитывается. Исследованиям, связанным с влиянием атмосферы и шероховатости земли на скорость и направление ветра, посвящено много работ как зарубежных [9], так и российских ученых [10, 11]. Однако выводы, полученные в этих работах, свидетельствуют о незначительности изменения скорости и угла наклона воздушного потока с увеличением высоты. Так, например, на высоте 500 м скорость ветра составляет 9 м/с, а угол наклона относительно горизонтали 2° , относительно скорости ветра в 7 м/с, измеренной на

10 м от поверхности земли [9]. В связи с этим в строительном проектировании и пренебрегают вертикальной составляющей ветра.

Принимая во внимание выводы, полученные в работе [1], и результаты расчетов [7] возможно предположить о том, что конвективные потоки, формируемые вдоль плоскости фасада высотных зданий, влияют на характер развития пожара и способствуют его распространению по вертикали здания.

Для предотвращения выхода пожара на фасад здания и ограничения его распространения ограждающие конструкции фасада выполняют огнестойкими или обеспечивают наличие специальных огнестойких барьеров, препятствующих переходу пожара на смежные этажи.

Предел огнестойкости светопрозрачных фасадов, в зависимости от степени огнестойкости и высотности здания устанавливается от E15 до E30 [12]. Для обеспечения требуемых пределов огнестойкости светопрозрачные конструкции фасадов выполняют из огнестойких стеклопакетов и конструкций каркаса.

Огнестойкость стеклопакетов обеспечивается за счет физико-химических изменений заполнителя (геля), возникающих под влиянием высоких температур. При нагреве вода, содержащаяся в геле, начинает испаряться, в результате чего происходит увеличение его вязкости, помутнение и увеличение в объеме с образованием вспененной пористой структуры (рисунок 1.8). При увеличении пористости теплопроводность геля снижается, вследствие чего уменьшается тепловое воздействие на не обогреваемые слои стеклопакета и увеличивается его предел огнестойкости.

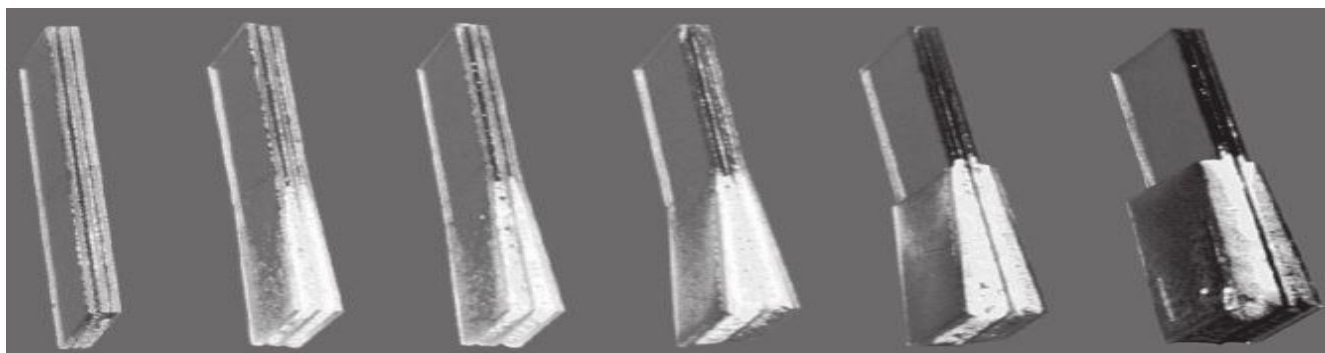


Рисунок 1.8 – Объемные изменения гелевой прослойки огнестойкого стеклопакета

Конструкция многослойных огнестойких стекол, химический состав огнезащитного геля, его вязкость, текучесть и плотность могут отличаться в зависимости от технологии производства.

На сегодняшний день известны две технологии производства огнестойких стеклопакетов: многослойная и гелезаливная. В первом случае стеклопакет представляет конструкцию, состоящую из нескольких слоев стекла (толщиной 2–3 мм) и прослоек огнестойкого геля толщиной 1–2 мм. Огнестойкость стекла зависит от количества слоев (гель + стекло) (рисунок 1.9, а). Производителями данного вида стеклопакетов являются в основном зарубежные компании Pilkington (Англия), AGC (Бельгия) и Glas Trösch (Швейцария).

Второй способ изготовления огнестойких стеклопакетов основан на гелезаливной технологии. Стеклопакет состоит из двух закаленных стекол или флоат-стекол как российского, так и зарубежного производства, широкая внутренняя полость которых полностью заполнена огнестойким гелем. Предел огнестойкости данных стекол зависит от толщины слоя огнестойкого геля, заполняющего стеклопакет (рисунок 1.9, б). В России изготовление огнестойких стеклопакетов осуществляется в основном по данной технологии, среди известных компаний такие как «Фототех», «ДВР-Центр», «Гласспром».

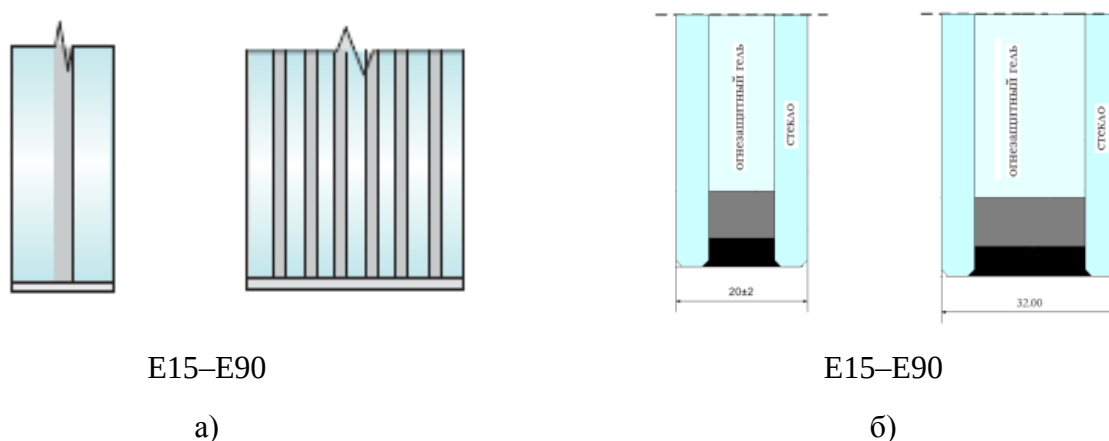


Рисунок 1.9 – Типы огнестойких стеклопакетов: а) многослойные; б) гелезаливные

В работе Зубковой Е.В. [13] установлено, что гели, входящие в состав огнестойкого стеклопакета, не устойчивы при попадании на них воды. К примеру, гель, входящий в состав огнестойких стекол марки AGC, вымывается под воздействием воды, полностью теряя свои эксплуатационные свойства. Этот факт

необходимо учитывать при оценке совместной работы систем пожаротушения и водяного орошения фасадов.

Огнестойкость светопрозрачной конструкции зависит не только от огнестойкости стеклопакета, в равной степени она будет зависеть и от элементов несущих конструкций и их способности сопротивляться пожару. Стандартные алюминиевые профильные системы, применяемые в ограждающих конструкциях зданий, имеют низкий предел огнестойкости R5–R10 [5]. Применяемые в составе конструкций сплавы алюминия теряют прочность при нагреве до температуры 200–250°C, а при температуре от 575 до 660°C переходят в расплавленное состояние [14].

В связи с этим в качестве несущего каркаса огнестойких светопрозрачных ограждающих конструкций используются в основном стальные или комбинированные профили, отличительной особенностью которых является наличие специальных конструктивных решений, обеспечивающих устойчивость каркаса фасада здания при пожаре (рисунок 1.10).

Требуемый предел огнестойкости несущих элементов каркаса достигается за счет заполнения центральных камер профилей различными термостойкими и термопоглощающими композициями, применением специального армирования, что придает дополнительную жесткость и необходимую огнестойкость.

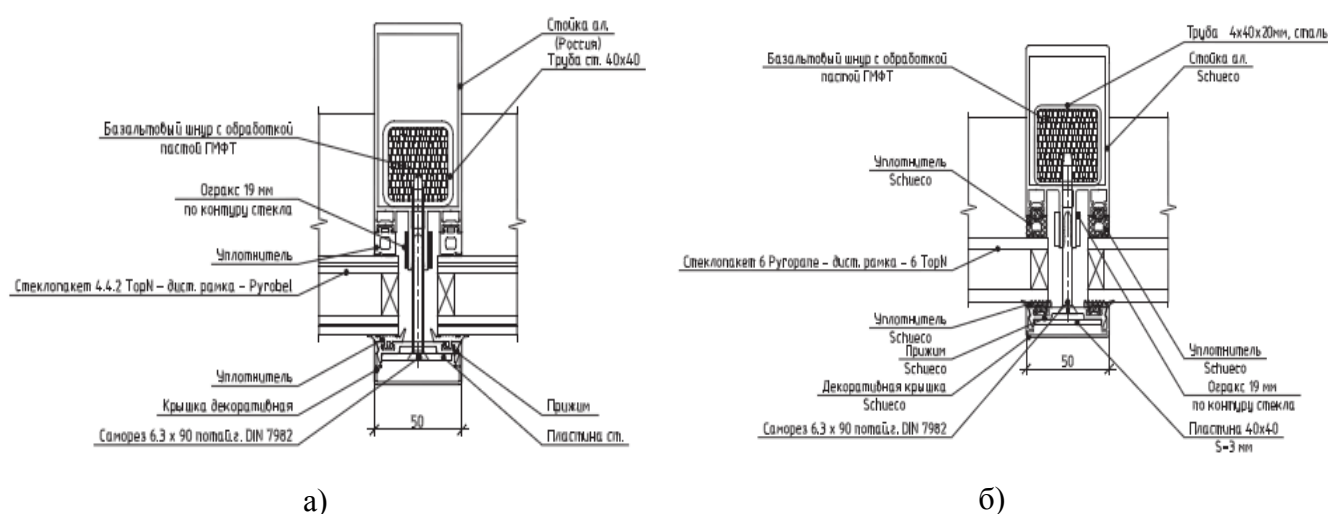


Рисунок 1.10 – Пример конструктивных решений производителей по повышению предела огнестойкости профилей стоечно-ригельной системы: а) Гласспром; б) Schuco

Кроме стеклопакета и несущего каркаса для обеспечения необходимого предела огнестойкости при изготовлении светопрозрачного фасада применяется фурнитура, изготавливаемая из материалов с активными и пассивными противопожарными свойствами. Например, термоплиты (материалы с химически связанной водой, выделяющейся под влиянием высоких температур); термореактивные уплотнительные ленты, расширяющиеся при нагревании и заполняющие пустоты; минераловатные плиты, асбестовое полотно и шнуры; внутренние усиливающие вставки, а также прижимные и крепежные элементы, изготавливаемые из стальных и других тугоплавких материалов.

Эффективность разработанных технических решений по повышению огнестойкости каркаса светопрозрачного фасада оценивается в ходе огневых испытаний в соответствии с установленными ГОСТ 30247 [15] методами.

Стоит отметить, что применение огнестойких светопрозрачных фасадов зданий ограничено. Связано это с высокой стоимостью огнестойких стеклопакетов, применяемых в данных фасадах по сравнению со светопрозрачными фасадами, выполняемыми со светопрозрачным заполнением ненормируемого предела огнестойкости. Нормативными документами по пожарной безопасности [16] допускается замена огнестойкого светопрозрачного фасада здания на фасад, выполненный со светопрозрачными участками ненормируемого предела огнестойкости, при условии наличия в местах примыкания наружных стен к перекрытию глухого участка стены (междуэтажный пояс) с пределом огнестойкости не менее предела огнестойкости перекрытия (EI45-60).

Принцип защитного действия междуэтажного пояса основан на снижении мощности теплового воздействия на световой проем этажа, расположенного над этажом пожара, до уровня, не превышающего значений, при которых наступит потеря целостности стеклопакета.

Требования к высоте междуэтажного пояса в разных странах отличаются, так, в США высота его должна составлять 0,914 м (3 фута), в Великобритании 1 м, в Австралии – 0,9 м, в Швеции, как и в России, – 1,2 м [17].

В работах [18, 19] зарубежных ученых установлено, что на вероятность выхода пламени на фасад здания влияет мощность очага пожара, а размер пламени, воздействующего на фасад, зависит от размеров оконного проема (соотношение высоты и длины окна). Соответственно, для предотвращения перехода пламени между смежными этажами необходимо регламентировать размеры оконных проемов. Очевидно, что данные исследования справедливы только для фасадов зданий, выполненных из каменных материалов, так как при пожаре площадь оконного проема остается неизменной, а высота пламени будет зависеть только от мощности очага пожара. В зданиях, имеющих светопрозрачные фасады, выполненные в виде ленточного остекления, площадь проема не ограничивается площадью одного окна, а увеличивается при разрушении соседних оконных заполнений, что не позволяет спрогнозировать высоту пламени и переход пожара на вышерасположенный этаж.

Также установлено, что дополнительное влияние на высоту пламени оказывает конвективный воздушный поток, характерный для светопрозрачных высотных зданий, он представляет опасность, способствуя распространению пожара по фасаду здания.

Однако, как показывает практика строительства в России, при проектировании фасадов со светопрозрачным заполнением ненормируемого предела огнестойкости не учитываются особенности развития пожара при выходе пламени на фасад здания и не оцениваются особенности высотного строительства и факторы, которые могут способствовать переходу пожара на вышерасположенные этажи. Главным образом учитывается лишь наличие междуэтажного пояса высотой 1,2 м. А в некоторых случаях допускается уменьшение его высоты. Анализ доступных в сети Интернет протоколов огневых испытаний и технических заключений по оценке пожарно-технических характеристик междуэтажных поясов некоторых производителей показал [20–24], что существуют технические решения по изготовлению поясов высотой от 900 до 1295 мм. Снижая высоту междуэтажного пояса, проектировщики применяют компенсирующие мероприятия, направленные на повышение устойчивости при

пожаре оконного заполнения, наиболее распространенным является применение водяного орошения, что реализовано в некоторых зданиях Москва-Сити. Однако сведения об эффективности данного технического решения в условиях реального пожара отсутствуют.

Как в зарубежных, так и в российских источниках отсутствуют экспериментальные данные о влиянии высоты огнестойкого междуэтажного пояса на распространение пожара по вертикали здания.. Однако очевидно, что на эффективность предотвращения развития пожара междуэтажным поясом будут оказывать условия развития пожара, размеры светопрозрачного заполнения, а также влияние вертикально направленных конвективных воздушных потоков на пламя, выходящее из оконного проема.

Исследований, направленных на оценку влияния наружного вертикально направленного ветрового потока на размер факела пламени, вырывающегося из окна, не проводилось. Это определяет необходимость проведения дальнейшей работы в данном направлении с учетом данного явления.

Еще одним способом ограничения распространения пожара по фасаду может быть применение междуэтажных козырьков. Междуэтажные противопожарные козырьки предназначены для формирования направления факела пламени, вырывающегося из окна, и недопущения его приближения к плоскости фасада.

Требования по устройству подобных козырьков существуют в нормативных документах некоторых стран, так, в США длина козырька должна быть не менее 0,762 м, в Австралии – не менее 1,1 м [17]. По требованиям СП 2.13.130 [16] противопожарные перекрытия, должны разделять здание и выступать на 30 см от плоскости, однако допускается заменять такие козырьки все теми же междуэтажными поясами высотой 1,2 м с пределом огнестойкости EI150.

В отличие от междуэтажных поясов, эффективность козырьков доказана как экспериментальными исследованиями, так и с помощью численного моделирования. Эффективность их применения была подтверждена в работе S. Yokoі [25], где доказано, что горизонтальная проекция размером 0,74 м,

перпендикулярная стене над окном, не позволяет пламени разрушить вышележащее окно. Результаты этих испытаний внесли вклад в нормативные требования по пожарной безопасности в Японии.

В работе М. Pilar Giraldo, Jaume Avellaneda, Ana M. Lacasta, Vladimir Rodríguez [26] представлены наглядные результаты компьютерного моделирования, характеризующие положительное влияние наличия козырьков на ограничение воздействия пламени на фасад здания.

При проектировании высотных зданий руководствуются сводом правил СП 267.1325800 [27], который содержит общее требование о необходимости мероприятий по ограничению распространения пожаров по фасадам высотных зданий, при этом точных указаний о способах выполнения указанных мероприятий не содержит, ссылаясь лишь на обеспечение требований по огнестойкости в соответствии с СП 2.13130 [16].

В настоящее время активно внедряются различные инженерные решения, направленные на защиту фасадов от воздействия пожаров. Как упоминалось ранее, одним из таких решений является защита светопрозрачного фасада водяным орошением. В России настоящее решение применялось крайне редко, хотя за рубежом используется с середины XX века.

Впервые водяное орошение было рассмотрено в США при проектировании Первого национального банка Чикаго [28], на тот момент задачей системы водяного орошения являлось снижение лучистой энергии от пожара и предотвращение распространения пожара на соседнее здание, так как между зданиями не выдерживалось противопожарное расстояние.

Исследования эффективности применения спринклерных систем различной конфигурации, проводимые Советом по предотвращению убытков Великобритании [29], показали, что температура стекла не превысила 100°C, однако разрушение стеклопакета произошло на поздних этапах испытания, причиной чего стало образование локальных зон прогрева стекла, не подверженных защите водяным орошением.

В работе О.Б. Ламкина, М.В. Гравит и О.В. Недрышина [30] приводится информация о проводимых теоретических исследованиях оценки эффективности водяного орошения как способа предотвращения распространения пожара по композиционному светопрозрачному фасаду, изготовленному на основе системы «Техноком» тип Alucobond A2. Согласно сведениям, приведенным в статье [30], водяное орошение повышает огнестойкость фасадной системы, при этом теоретические расчеты показали, что водяное орошение снижает температуру конвективных потоков. Температура у оконного проема вышележащего этажа не превысила 328 °С. Однако результатов экспериментальных исследований в статье не приводится.

Российскими учеными Казиевым М.М., Зубковой Е.В. проводятся многочисленные исследования, направленные на повышение устойчивости при пожаре различного типа стекол в условиях пожара [13, 31–34]. Установлено негативное влияние водяного орошения на гелезаполненные огнестойкие стекла. Как оказалось, вода, проникая в щели, образованные в результате нагрева стекла, быстро растворяет гель, и огнестойкий стеклопакет теряет свои свойства. Таким образом, при проектировании системы защиты подобного рода следует учитывать свойства наполнителя огнестойкого стеклопакета, в частности, стойкость к воде.

По результатам натурных экспериментов по водяному орошению закаленного стекла Dr. A.K. Kim и Dr. G.D. Loughheed [36] сформулировали ряд требований и ограничений, при соблюдении которых система водяного спринклерного орошения способна повысить устойчивость стекла в условиях пожара в течение часа.

Таким образом, многочисленные исследования показывают, что водяное орошение, как способ защиты, имеет многочисленные противоречия в своей эффективности, а также требует учета большого количества критериев, оказывающих влияние на работу системы орошения.

Еще одним инженерным решением, применяемым для защиты фасадов, является устройство противопожарных штор для защиты оконного проема. Принцип работы противопожарной шторы основан на опускании огнестойкого

полотна по всей площади оконного проема, ограничивая тем самым тепловое воздействие на светопрозрачное заполнение.

Побудительный сигнал на привод противопожарной шторы поступает от системы автоматической пожарной сигнализации.

При видимой простоте и, казалось бы, высокой эффективности данного технического решения, оно не пользуется высокой популярностью. Причиной могут служить как неэстетичный вид, так и высокая технологическая сложность, снижающая вероятность срабатывания системы в отдельном случае.

По результатам научных исследований зарубежными учеными I. Oleszkiewicz и H. Longhua сделан вывод о том, что на высоту пламени пожара, выходящего из окна горящего помещения, влияет мощность очага пожара, а также соотношение размеров оконного проема.

Справедливо предположить, что одним из активных методов ограничения распространения пожара по фасаду здания может быть метод, основанный на снижении размеров (площади) оконного проема, через которое пламя может выходить наружу.

Применение стекол в качестве основных ограждающих конструкций зданий, в том числе и высотных, определяет необходимость дальнейших исследований и поиск новых способов защиты стекол от негативного воздействия температуры пожара, а также ограничения его распространения по фасадам зданий.

Таким образом, проведенный в настоящем параграфе теоретический анализ, позволил установить характер поведения светопрозрачных конструкций в условиях пожара. Определены факторы, влияющие на разрушение светопрозрачных конструкций и распространение пожара по фасаду здания. Выявлены практические способы и приемы ограничения распространения пожара по фасадам здания: применение огнестойких стекол, либо огнестойких глухих междуэтажных поясов или защитного экрана из несгораемого материала, предназначенного для ограничения площади оконного проема.

1.3 Теоретические исследования и методы расчета устойчивости при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций

В данной работе под устойчивостью при пожаре (пожароустойчивость) светопрозрачного фасада понимается – способность фасада противостоять разрушению и предотвращать переход пожара на смежные этажи в условиях реального пожара. Критерием потери пожароустойчивости светопрозрачного фасада являются обрушение или выпадение фрагментов светопрозрачного заполнения фасада, способствующие распространению пожара по зданию.

Пожароустойчивость светопрозрачного фасада главным образом будет зависеть от характеристик применяемых стеклопакетов и размеров температурных полей, формируемых пожаром вдоль плоскости фасада. То есть при прогнозировании пожароустойчивости светопрозрачного фасада здания требуется знать характер развития пожара, условия, при которых светопрозрачное заполнение разрушается при тепловом воздействии, и размеры температурных полей наружного пожара.

Изучению характера развития пожаров посвящено множество работ [37–39]. Прогнозирование характера развития пожара и его продолжительности позволяют предусмотреть необходимые и достаточные меры по обеспечению условий нераспространения пожара, его быстрой ликвидации и снижения последствий воздействия на здание. В России исследования в этой области начались в 40-е годы XX века [40]. Каждый пожар уникален, на характер его развития оказывают влияние такие факторы, как количество и тип горючей загрузки, характеристики помещения, в котором произошел пожар, состояние окружающей среды, воздухообмен внутри помещения во время пожара.

Главным показателем пожарно-технического расчета является горючая нагрузка, характерная для того или иного функционального назначения здания или помещения.

Пожарная нагрузка по характеру, величине и способу размещения должна соответствовать реальным условиям эксплуатации объекта испытаний. Реальная

пожарная нагрузка может быть заменена эквивалентной пожарной нагрузкой на основе древесины.

Обоснование эквивалентной пожарной нагрузки выполняется на основе анализа справочных данных, содержащихся в национальных и зарубежных нормативных документах.

Приведем справочные данные по плотности пожарной нагрузки, характерной для жилых зданий, содержащиеся в некоторых источниках:

- в МДС 21-1.98 [41] для всех зданий функциональной пожарной опасности Ф1 значение пожарной нагрузки указано от 181 до 650 МДж/м²;
- в «Международном руководстве по противопожарной защите» [42] средняя плотность пожарной нагрузки для жилых помещений 780 МДж/м²;
- в EN 1991-1-2:2002 [43] указано значение удельной пожарной нагрузки для жилых помещений, соответствующее 780 МДж/м²;
- в справочнике «Пожарная нагрузка» СИТИС-СПН-1 [44] представлены значения плотности пожарной нагрузки для многоквартирных жилых домов, для квартир до 100 м² – 600 МДж/м², для квартир свыше 100 м² – 500 МДж/м².

При использовании древесины в качестве эквивалентной пожарной нагрузки необходимо, чтобы влажность ее не превышала 15%. Теплота сгорания древесины (бруски) – 13800 кДж/кг или 13,8 МДж/м².

В таблице 1.1 представлены значения из справочных данных удельной и эквивалентной горючей нагрузки, приведенной к древесине, характерной для жилых помещений.

Таблица 1.1 – Значения удельной и эквивалентной пожарной нагрузки в различных источниках

Источник	Удельная пожарная нагрузка	Эквивалентная пожарная нагрузка, приведенная к древесине
МДС 21-1.98	181–650 МДж/м ²	13,11–47,1 кг/м ²
IFEG,2005	500 МДж/м ²	36 кг/м ²
СИТИС-СПН-1	600 МДж/м ²	43,47 кг/м ²
EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1	780 МДж/м ²	56, 52 кг/м ²

Как видно из таблицы 1.1, эквивалентная пожарная нагрузка для жилых помещений в различных источниках варьируется от 13,11 до 56,52 кг/м². В соответствии с ГОСТ 53309 [45], в случае, когда реальная пожарная нагрузка носит случайный характер со значительным отличием по величине и способу размещения, характеристики пожарной нагрузки следует выбирать исходя из прогноза наиболее неблагоприятных последствий с учетом целей испытаний.

Процесс развития пожара делится на три стадии [46]: начальная, стадия установившегося режима горения и режим затухания (рисунок 1.11).

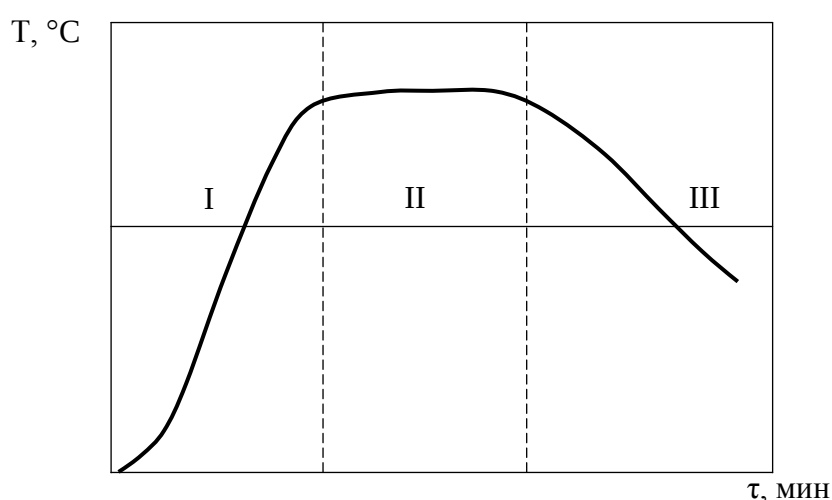


Рисунок 1.11 – Кривая, характеризующая три стадии развития пожара

В общем виде уравнение пожара, вытекающее из закона сохранения массы, выглядит следующим образом:

$$d(\rho m V) = G_B d\tau + \psi d\tau - G_T d\tau, \quad (1.1)$$

где G_B — расход поступающего воздуха из окружающей атмосферы в помещение, кг·с⁻¹; G_T — расход газов, покидающих помещение через проемы, кг·с⁻¹; ψ — скорость выгорания горючего материала, кг·с⁻¹.

Для перехода начальной стадии пожара в развитую должны быть созданы условия газообмена, обеспечивающие процесс горения и роста среднеобъемной температуры до критической, при которой происходит переход. Наиболее опасным при переходе пожара от начальной стадии к развитой является появление эффекта «общей вспышки», когда одновременно воспламеняется вся

горючая нагрузка и недогоревшие продукты сгорания, при этом в помещении происходит повышение давления и, как следствие, вскрытие проемов с последующим выходом пожара за пределы помещения. Также вскрытие проемов может стать причиной «общей вспышки».

В работе М.М. Казиева [47] экспериментально установлено, что на начальном этапе, до достижения $0,5\text{--}0,75\text{ м}^2$, рост площади пожара во многом зависит от мощности источника зажигания и места первоначального возникновения горения. По достижении указанных значений площадь пожара нарастала примерно в одинаковом режиме (рисунок 1.12).

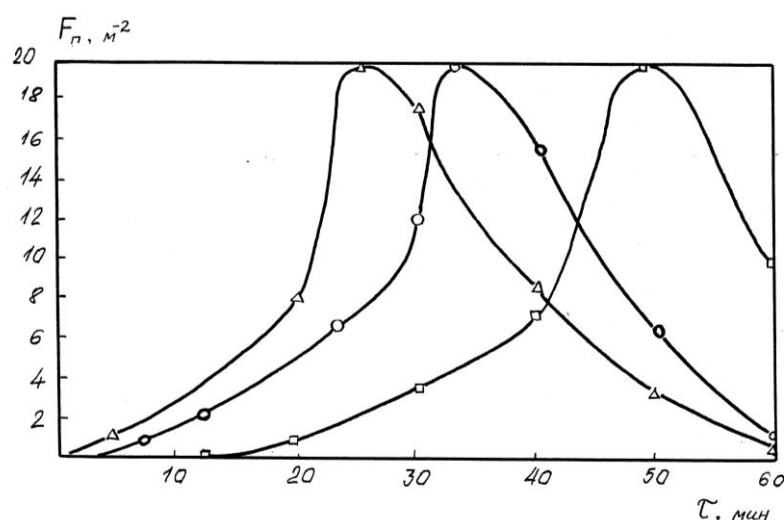


Рисунок 1.12 – Изменение площади пожара во времени при трех опытах

Результаты исследований М.М. Казиева позволили также установить, что «общая вспышка» в помещении может наступить при достижении площадью пожара 35–40% от площади пола. Так, в серии натурных экспериментов в комнате площадью 22 м^2 «общая вспышка» наступала при достижении пожаром площади $7\text{--}8\text{ м}^2$.

В своих работах И.С. Молчадский [48] утверждает, что переход в развитую стадию пожара происходит при достижении среднеобъемной температуры пожара — $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. В помещении площадью 36 м^2 , из которых 23 м^2 заняты горючей нагрузкой, время достижения данного значения изменяется в пределах от 10 до 14 минут.

В работе В.Ж. McCaffrey [49] приводятся другие данные о среднеобъемной температуре, обеспечивающей переход пожара в развитую стадию, это значение составляет 500–600 °С.

Периодом начальной стадии пожара можно считать тот необходимый запас времени, предназначенный для активации систем противопожарной защиты здания, обеспечивающих безопасную эвакуацию людей из здания и ограничение распространения пожара за пределы очага. Переход пожара в развитую стадию снижает вероятность его локализации и создает угрозу распространения по всему зданию, усложняет эвакуацию и спасение людей, затягивается время его ликвидации, как следствие, повышается вероятность потери целостности строительных конструкций здания и его обрушения.

Анализ огневых испытаний неогнестойких светопрозрачных конструкций, проводимых на экспериментальной базе ВНИИПО МЧС России (рисунок 1.13), показал, что на время сохранения целостности светопрозрачного заполнения влияет тип применяемого стекла (листовое, закаленное, огнестойкое). В наблюдаемых испытаниях к 15 минуте возникает пламенное горение на необогреваемой стороне конструкции, вызванное воспламенением горючих уплотнительных элементов заполнения.



Рисунок 1.13 – Огневые испытания светопрозрачной конструкции

Более подробное описание поведения светопрозрачной конструкции в условиях температурного воздействия приводится в статье [50], в качестве

испытуемого образца использовался фрагмент светопрозрачной конструкции размером 2600×3600 мм с узлом междуэтажного примыкания. Установлено, что фактический предел огнестойкости конструкции E11, после нарушения целостности остекления имело место пламенное горение резинового уплотнителя и декоративного элемента.

В отечественных источниках первые сведения о критерии разрушения стекла встречаются в работе Ройтмана М.Я. [51], он предположил, что разрушение оконного заполнения может наступить при достижении в помещении температуры в 300 °С. В настоящее время во всех пожарно-технических расчетах, связанных с моделированием развития пожара в помещениях, применяется данный параметр, определяющий переход пожара от регулируемого нагрузкой к регулируемой вентиляции.

В работе Keski-Rahkonen [52] представлен первый обширный теоретический анализ процесса растрескивания стекла при пожарах. Он предположил, что разница температур примерно в 80 °С на поверхности стекла закрытой части и части, подверженной тепловому воздействию, приводит к разрушению стекла. Pagni P.J. и Joshi A.A [53] в развитие теории Keski-Rahkonen доказали, что разница температур должна составлять 58 °С. Разногласия в результатах во многом были обусловлены различием термических и механических свойств исследуемого стекла. В обоих случаях ученым удалось доказать, что разрушение стекла происходит в результате механического напряжения, вызванного неравномерностью прогрева стекла по его площади. Дудунов А.В. в своей работе [54] обобщил результаты этих ученых и предложил метод определения пожароустойчивости стекла в зависимости от его толщины и площади.

В своих работах Святкин Г.К. [55], [56] предложил механизм разрушения стекла, в основу которого положено, что предельное состояние разрушения стекла вызывается критическим уровнем температурных напряжений, возникающим из-за неравномерности распределения температуры по сечению. Этой же теории придерживаются и авторы работы [57] Карпов А.В., Лицкевич В.В., Гомозова А.В., Еремина Ю.С.

Mowrer F.W. [58] исследовал критические тепловые потоки, при которых листовое стекло растрескивается, он проводил серии на малых и крупномасштабных образцах. Было установлено, что первое растрескивание происходит при тепловом воздействии $4\text{--}5 \text{ кВт/м}^2$, полное разрушение при 16 кВт/м^2 .

Shields T.J., Silcock G.W.H., Flood M.F. [59] изучали поведение флоат-стекла толщиной 6 мм и доказали, что растрескивание стекла происходит при нагреве его до температуры 110°C , что соответствует тепловому потоку порядка 3 кВт/м^2 .

Влияние рамы на сохранение целостности стекла рассматривалось McArthur N.A. [60], он установил, что стекло в алюминиевых рамах сохраняет целостность дольше, чем в деревянных. Mowrer [58] установил, что стекло, установленное в виниловых рамках, при тепловом воздействии от 8 до 16 кВт/м^2 выпадает в результате разрушения рамы.

В статье [61] Cohen J.D. и Wilson P. приводят описание серии экспериментов с одно- и двухкамерными стеклопакетами размером $0,61 \times 0,61 \text{ м}$ и $0,91 \times 1,5 \text{ м}$. Результаты экспериментов позволили установить, что разрушение стеклопакетов из листового стекла происходит при тепловом потоке от 20 до 30 кВт/м^2 .

Китайскими учеными Qiyuan Xie, Heping Zhang, Yutian Wan, Qingwen Zhang, Xudong Cheng [62] были проведены экспериментальные исследования с закаленным стеклом. Исследовались фрагменты размером $870 \times 870 \text{ см}$ и $1820 \times 870 \text{ см}$, толщиной 6 и 10 мм. Результаты исследования показали, что для закаленных стекол толщиной 6 мм разрушение происходит при достижении на стекле температуры $330\text{--}380^\circ\text{C}$, тогда как для 10 мм это значение увеличивается до $470\text{--}590^\circ\text{C}$.

Комитетом по предотвращению потерь Великобритании изучалось воздействие пожара на светопрозрачный фасад многоэтажного здания, имеющего стеклопакеты с толщиной стекла 6 мм [29]. В результате серий натурных экспериментов установлено, что разрушение стекла происходит в течение 5–

10 мин. при достижении в помещении пожара среднеобъемной температуры 600 °С.

В работе Зубковой Е.В. [63] приводятся сведения об экспериментах по определению критериев разрушения стекол толщиной 3 и 4 мм Борского завода (ГОСТ 12.1.044-89). В ходе экспериментов проводился нагрев образцов в испытательной установке «Индекс распространения пламени» при различных значениях теплового потока. Установлено, что разница температур не является определяющим критерием разрушения стекла. На разрушение стекла главным образом влияет динамика прогрева стеклопакета. Проведенные испытания показали, что разрушение стекла происходит при сходных значениях теплового потока, примерно 10 кВт/м² и температуры 116 °С, но в разное время при разных режимах нагрева стекла. Однако сведений о критических режимах нарастания температуры в работе не содержится.

В работах И.С. Молчадского [48] приводится описание серии натурных экспериментов по изучению поведения горючих утеплителей в отделке зданий. Испытания проводились на фрагменте трехэтажного здания высотой 8,5 м, размером в плане 3,2×3,2 м с горючей нагрузкой 50 кг/м². Температура и тепловой поток, воздействующие на стену здания, контролировались с наружной стороны. По результатам испытаний установлено, что максимальное значение теплового потока на уровне низа окна второго этажа достигло 18 кВт/м², температура составляла порядка 400 °С. При этом температура на выходе из окна 1-го этажа составляла порядка 900 °С, т.е. температура через 1,27 м снизилась более чем в 2 раза.

Первые исследования, посвященные изучению параметров пламени, выходящего из горящего помещения, проведены в 1960 году S. Yokoі [64]. На маломасштабной установке он провел серию испытаний, по результатам которых предложил корреляцию размеров пламени в зависимости от геометрических размеров окна, при этом доказав, что отношение ширины к высоте оказывает влияние на траекторию пламени: при увеличении ширины окна высота пламени увеличивается. Высота пламени фиксируется по видимому контуру свечения, согласно сведениям [65] свечение пламени прекращается при снижении

температуры ниже 540 °С. В той же работе S. Yokoi [64] установил, что стандартные окна со стеклом толщиной 3 мм растрескивались и выпадали при температуре внутри помещения 400–500 °С.

Впервые S. Yokoi [64] предложил зависимости для определения температуры и скорости пламени над окном:

$$\Delta T_m = 24.6Q^{2/3}Z^{-5/3} \quad (1.2)$$

$$U_m = 1.17Q^{1/3}Z^{-1/3}. \quad (1.3)$$

В работе M. Delichatsios [23] приводятся следующие эмпирические зависимости ширины, глубины и высоты пламени, полученные на основе анализа работ S. Yokoi [64]:

$$l_1 = (A\sqrt{H})^{2/5} \quad (1.4)$$

$$l_2 = (AH^2)^{1/4} \quad (1.5)$$

$$l_3 = \infty(AH^{4/3})^{3/10}, \quad (1.6)$$

где l_1 – ширина пламени, l_2 – глубина пламени, l_3 – высота пламени; A – площадь оконного проема, м², H – высота оконного проема, м.

Р.Н. Thomas и М. Law [64] на основе работ S. Yokoi [65] и L.G. Seigel [65] предлагают следующие зависимости для определения высоты пламени:

$$h = 12.8\left(\frac{v_m}{b}\right)^{2/3} - a \quad (1.7)$$

где a – высота оконного проема, м.; b – ширина оконного проема, м; v_m – массовая скорость выгорания, кг/с.

В работе Н.П. Копылова [1] представлены формулы для определения геометрических характеристик факела пламени, вырывающегося из окна горящего помещения:

$$z_0 = C_i(m_2d)^{2/3}, \quad (1.8)$$

где C_i – постоянная величина, учитывающая низшую теплоту сгорания горючего материала; m_2 – массовая скорость выгорания; d – характерный линейный размер пожара.

Величина C_i рассчитывается по формуле:

$$C_i = 16.4 \cdot \left(\frac{Q_{Hi}^p}{17070} \right)^{2/3}, \quad (1.9)$$

где Q_{Hi}^p – низшая теплота сгорания i -го материала.

Н.П. Копыловым [1] также установлено, что ветер может оказывать существенное влияние на величину тепловых потоков с подветренной стороны пожара, а влияние ветра проявляется через наклон факела пламени.

Возможно предположить, что при вертикально направленном ветре его влияние на выбрасываемый факел пламени будет способствовать увеличению воздействия критических значений тепловых потоков на фасад здания. Что в свою очередь создает угрозу для более быстрого перехода пожара на вышележащие этажи.

В EN [66] приняты следующие эмпирические зависимости, определяющие высоту пламени и его температуру:

$$L_L = 1,9 \left(\frac{Q}{w_t} \right)^{\frac{2}{3}} - h_{eq} \quad (1.10)$$

$$T_z = (T_w - T_0) [1 - 0,4725(L_x w_t / Q)] + T_0, \text{ К.} \quad (1.11)$$

$$T_w = 520 / [1 - 0,4725(L_f w_t / Q)] + T_0, \text{ К.} \quad (1.12)$$

где L_L – высота пламени, м; L_x – осевое расстояние от окна до точки, в которой производится расчет, м; L_f – длина пламени вдоль оси, м; T_z – температура пламени на высоте, z , К; T_w – температура пламени в окне, К; T_0 – температура окружающей среды, К; Q – мощность теплового потока, МВт; w_t – суммарная ширина окон, м; h_{eq} – приведенная по площади высота всех окон.

Р.Н. Thomas и М. Law [67] предложили следующие эмпирические зависимости для определения температуры пламени на различной высоте, относительно оконного проема:

$$\frac{T_h - T_0}{T_{оп} - T_0} = 1 - 0.027 \frac{hb}{v_m} \quad (1.13)$$

$$T_{оп} = T_0 + \frac{520}{(1 - \frac{0.027hb}{v_m})} \quad (1.14)$$

$$T_h = T_0 + (T_{\text{оп}} - T_0)(1 - 0.027 \frac{hb}{v_m}), \quad (1.15)$$

где a – высота оконного проема, м; b – ширина оконного проема, м; T_h – температура на высоте h ; T_0 – температура окружающей среды; $T_{\text{оп}}$ – температура в оконном проеме; h – расстояние вдоль оси пламени, м; v_m – массовая скорость выгорания, кг/с.

Группой ученых из Китая Longhua Hu, Kaihua Lu, Michael Delichatsios, Linghui He, Fei Tang [18] проводились эксперименты по определению вероятности выхода пламени за пределы помещения через оконный проем, в ходе которых установлено, что с увеличением тепловыделения очага пожара вероятность выхода пламени из окна возрастает.

В работе S. Klorovic и O.F. Turan [67] представлено описание серии крупномасштабных исследований по изучению влияния пламени, выходящего на фасад здания. Объект испытания представлял собой трехэтажное здание высотой 12 м с помещением очага пожара размерами 5,3×3,6×2,4 м и оконным проемом 1,5×2,4 м. Горючая нагрузка представлена предметами интерьера с приведенной к древесине плотностью размещения 28,05 и 23,2 кг/м² в первом и втором испытании соответственно. Проведено два испытания, первое для вентилируемого помещения, второе – без вентиляции. По результатам испытаний установлено, что предложенные Р.Н. Thomas и М. Law [67] зависимости для определения размеров видимого пламени имеют хорошую сходимость с наблюдаемыми событиями в ходе экспериментов. Определенные расчетным способом [68] значения температур факела пламени также имеют допустимую сходимость с результатами эксперимента.

Китайскими учеными Lei Peng and Zhaopeng Ni [69] проведена серия крупномасштабных исследований по оценке влияния пламени на светопрозрачный фасад здания, а также эффективности горизонтальных козырьков к снижению теплового воздействия на вышележащее окно. Испытания проводились на специально изготовленном испытательном стенде высотой 10,3 м, количество этажей 3, высота этажа – 2,3 м, ширина помещения очага пожара

3,9 м. Горючая нагрузка размещалась сосредоточено в центре помещения, масса горючей нагрузки составляла 340–350 кг. По результатам семи экспериментов был сделан вывод о том, что соотношение высоты и длины окна 1:1 создает минимальные воздействия на фасад; горизонтальные козырьки показали свою эффективность, при глубине козырька более 0,5 м угроза воздействия пламени на фасад здания минимальна, междуэтажный пояс высотой 0,8 м предохраняет стеклопакет из закаленных стекол вышележащего этажа.

Анализ работ по изучению параметров пламени, выходящего на фасад здания из горящего помещения, показал, что многочисленные исследования на маломасштабных установках привели к созданию методов расчета размеров пламени, температуры и теплового потока, воздействующих на фасад здания, применимость которых подтверждена в ходе отдельных крупномасштабных экспериментов.

В ходе данных исследований не оценивалось влияние вертикально направленных конвективных потоков, формируемых вдоль плоскости фасада здания. Режимы горения, как правило, принимались для условия свободной вентиляции помещения очага пожара, либо с принудительным вскрытием проемов при достижении заданных критериев. Не оценены наиболее критические условия развития пожара с образованием «объемной вспышки» внутри помещения очага пожара, не достаточно уделяется внимания оценке поведения светопрозрачных фасадов в условиях воздействия на них пожара.

Анализ исследований, направленных на изучение поведения стекла в условиях пожара, а также размеров и формы пламени, выходящего из окна горящего помещения, позволяют сделать следующие выводы:

1) существует две теории разрушения стекла при тепловом воздействии: первая основана на разности температур между открытой и закрытой частью стекла [52–54]; вторая – на перепаде температуры по толщине стекла [55–57];

2) установлено, что на время потери целостности (как светопрозрачного заполнителя, так и рамы) влияет мощность очага пожара (горючая загрузка

помещения), также определены критические значения температур внутри помещения и на поверхности стекла, тепловых потоков, воздействующих на стекло;

3) на разрушение стекла главным образом оказывает влияние динамика его прогрева [63];

4) за рубежом в настоящее время большое внимание уделяется изучению характера формирования пламени пожара, вышедшего из окна, и влиянию его на вышележащие этажи. Однако при данных исследованиях не уделяется внимание изучению влияния внешнего пожара на светопрозрачные конструкции здания;

5) эмпирические зависимости, предложенные [68], могут быть применимы при оценке влияния пожара на фасад здания, при этом дополнительно требуется уточнить влияния вертикально направленных конвективных потоков на параметры пламени пожара, выходящего на фасад;

6) известные критерии разрушения стекла определялись экспериментальным путем, при этом тепловое воздействие было исключительно с внутренней стороны помещения, при развивающемся пожаре. Для оценки устойчивости светопрозрачного фасада требуется знание характера разрушения стеклопакетов при внешнем воздействии пламени.

Важной научной задачей является организация и проведение крупномасштабного эксперимента по определению воздействий пламени на фасад здания, определению критериев разрушения светопрозрачных фасадов зданий, выявлению характера формирования полей температурных потоков, формируемых вдоль плоскости фасада с учетом вертикальных ветровых потоков. Полученные результаты позволят оценивать эффективность предлагаемых средств и способов ограничения распространения пожара по фасаду здания.

1.4 Экспериментальные методы оценки огнестойкости и пожарной опасности светопрозрачных фасадов зданий

В соответствии с нормативными документами требования пожарной безопасности к фасадам зданий предъявляются по пределу огнестойкости и

классу пожарной опасности. Предел огнестойкости – это период времени, в течение которого строительная конструкция сохраняет несущие и (или) ограждающие свойства в условиях пожара. Пожарная опасность фасадов характеризуется способностью распространять пожар по зданию и зависит от свойств материалов, из которых выполнен фасад.

В соответствии с ФЗ №123 [12] строительные конструкции классифицируются по пожарной опасности на четыре класса: непожароопасные (K0); малопожароопасные (K1); умереннопожароопасные (K2); пожароопасные (K3).

По огнестойкости светопрозрачные строительные конструкции классифицируются по следующим предельным состояниям:

потеря несущей способности (R) – для навесных не несущих фасадов данный показатель не нормируется;

потеря целостности (E) – наступает вследствие [70]:

а) появления устойчивого пламени на необогреваемой поверхности образца длительностью 10 с и более;

б) воспламенения или возникновения тления со свечением ватного тампона в результате воздействия огня или горячих газов, проникающих через зазоры, щели, отверстия, притворы, лабиринты и т.п.;

в) образования в конструкции образца сквозных отверстий с размерами, позволяющими щупу диаметром (6 ± 1) мм проникать и перемещаться вдоль отверстия (щели) на расстояние не менее 150 мм, или щупу диаметром (25 ± 1) мм беспрепятственно проникать в сквозные отверстия.

Алгоритм оценки пожарно-технических характеристик светопрозрачного фасада здания представлен на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14 – Алгоритм оценки пожарно-технических характеристик светопрозрачного фасада здания

Анализируя положения ГОСТ 53308 [70], возможно сделать вывод о том, что оценка предельных состояний навесных светопрозрачных конструкций сводится к определению опасных факторов пожара на необогреваемой стороне светопрозрачной конструкции при одностороннем воздействии пожара. Фактически не оценивается вероятность выхода пламени из горящего помещения после разгерметизации оконного проема, и воздействие его на вышележащий этаж.

До введения в действие ГОСТ Р 53308 [70] огневые испытания со светопрозрачными стенами проводились в соответствии с положениями «Временной методики огневых испытаний наружных несущих (в том числе навесных) стен со светопрозрачными элементами, по определению их огнестойкости и пожарной опасности» [71], разработанной ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и ВНИИПО МЧС России. Сущность данной методики [71] сводится к определению предельных состояний по потере целостности и

изолирующей способности элементов каркаса, а также разрушению светопрозрачного заполнения или превышению критических значений теплового излучения ($W_{кр}$), проходящего сквозь светопрозрачное заполнение стены над этажом пожара (на первом этапе исследований критические значения теплового излучения $W_{кр}$ определяются загоранием занавесей-пробников из синтетических и натуральных тканей, установленных в одной плоскости со стеной. Определение предельных состояний осуществляется двумя последовательными способами:

I способ. Огневые испытания проводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 30247 [15] со следующими изменениями и дополнениями:

- наружные стены испытываются со светопрозрачным заполнением стены;
- наружные стены испытываются на железобетонной раме с узлами крепления согласно технической документации;
- испытанию подлежит один образец;
- в качестве предельного состояния конструкции по огнестойкости принимается время разрушения светопрозрачного заполнения испытываемой конструкции и выхода факела пламени на фасад здания. Размер разрушения светопрозрачного заполнения конструкций не регламентируется.

II способ. Имитируют тепловое воздействие на наружные несущие стены здания с внешней стороны от факела пламени из проема помещения с очагом пожара после разрушения его светопрозрачного участка и выхода факела пламени на фасад здания. По результатам II способа оценивают показатели пожарной опасности по ГОСТ 31251 [74] и вероятность разрушения оконного заполнения вышележащего этажа или превышение критического теплового потока.

В 2015 году институтом ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко разработан и введен в действие с 01.07.2016 г. ГОСТ 56817-2015 [75], за основу которого взяты положения Временной методики [71]. Метод, представленный в ГОСТ 56817-2015, позволяет оценить воздействие пожара на вышележащий этаж и оценить пожарно-технические характеристики исследуемой светопрозрачной стены и ее способность препятствовать распространению пожара на смежные этажи. Однако отсутствие настоящего стандарта в Перечне [76] ограничивает его применение при огневых испытаниях.

Европейские стандарты, регламентирующие порядок проведения испытаний по определению огнестойкости, основаны на положениях EN 1363-1 [77], который соотносится со стандартом Международной организации по стандартизации ISO 834-1 [78]. Сущность европейской методики заключается в оценке поведения образца элемента строительной конструкции в заданных условиях нагрева и давления. Методика позволяет измерить способность элемента противостоять воздействию высоких температур, задавая показатели, с целью определения характеристик образца по несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности, так же как и в российских стандартах.

Стандарт EN 1363-1 [77] является основополагающим стандартом, определяющим методику проведения огневых испытаний на огнестойкость, он применяется в сочетании с EN 1363-2 [79] и ENV 1363-3 [80], которые устанавливают особые требования к проведению испытаний.

Методы испытаний на огнестойкость светопрозрачных стен изложены в EN 1364-1 [81] и EN 1364-4 [82], они заключаются в поочередном двухстороннем огневом воздействии на конструкцию для установления теплоизоляционных характеристик ненесущей стены. Данная методика распространяется на внутренние ненесущие стены с остеклением и без него, ненесущие стены, практически полностью состоящие из стекла (остекленные ненесущие стены), и другие ненесущие внутренние и наружные стены с остеклением и без него.

Обзор зарубежных стандартов, устанавливающих методики проведения огневых испытаний элементов навесных фасадных систем со светопрозрачным заполнением, показывает, что основной целью методов является определение способности элементов навесной фасадной системы препятствовать распространению пожара на вышележащие этажи через узлы примыкания СФС к перекрытию и снаружи непосредственно по элементам конструкции фасада.

Анализ российских и европейских национальных стандартов показал, что в целом существует гармонизация методов оценки огнестойкости и пожарной опасности светопрозрачных конструкций, однако сложившаяся на сегодня в России система стандартизации не способствует проведению огневых испытаний, позволяющих объективно оценить реальную пожарную опасность

светопрозрачного фасада здания. Применяемый ГОСТ 53308 [70] дает представление лишь об огнестойкости конструкции в условиях «стандартного» температурного режима с односторонним воздействием.

Температурный режим, реализуемый при огневых испытаниях строительных конструкций, является общепринятым и называется «стандартным» температурным режимом. Нарастание температуры при «стандартном» температурном режиме описывается зависимостью 2.1, представленной в ГОСТ 30247 [15].

$$T = 345 \ln(8 \cdot t + 1) + T_0 \quad (1.16)$$

где T – температура в огневой камере, °С, T_0 – начальная температура, °С, t – время, мин.

Для испытаний светопрозрачных конструкций фасадов по европейскому стандарту EN 1363-2 [79] используется температурный режим наружного пожара (рисунок 1.15), выраженный зависимостью (1.17). В России идентичным стандарту EN 1363-2 [79] является ГОСТ Р EN 1363-2 [83], который также допускает применение температурного режима наружного пожара. Однако как показывает практика огневых испытаний светопрозрачных фасадных конструкций в России, исследования в данном направлении не проводятся.

Принятый в 2014 г. национальный стандарт ГОСТ 55988 [73], модифицированный по отношению к европейскому региональному стандарту EN 15254-4 [93], позволяет распространять результаты испытаний на огнестойкость конструкций при изменении их параметров (геометрических размеров), что в свою очередь может исказить реальную картину поведения данной конструкции при пожаре.

$$T = 660(1 - 0,687 \cdot e^{-0,32t} - 0,313 \cdot e^{-3,8t}) + 20 \quad (1.17)$$

где T – температура в огневой камере, °С, t – время, мин.

При оценке пожарно-технических характеристик светопрозрачных фасадных конструкций высотных зданий требуется учитывать увеличенную продолжительность пожара, значительно превышающую предел огнестойкости ограждающих конструкций, и, как следствие, вероятность выхода пламени на

фасад здания и воздействие на вышележащие конструкции. Также необходимо учитывать внешние факторы, способствующие развитию пожара, например, ветер и его конвективную составляющую, направленную вдоль плоскости фасада.

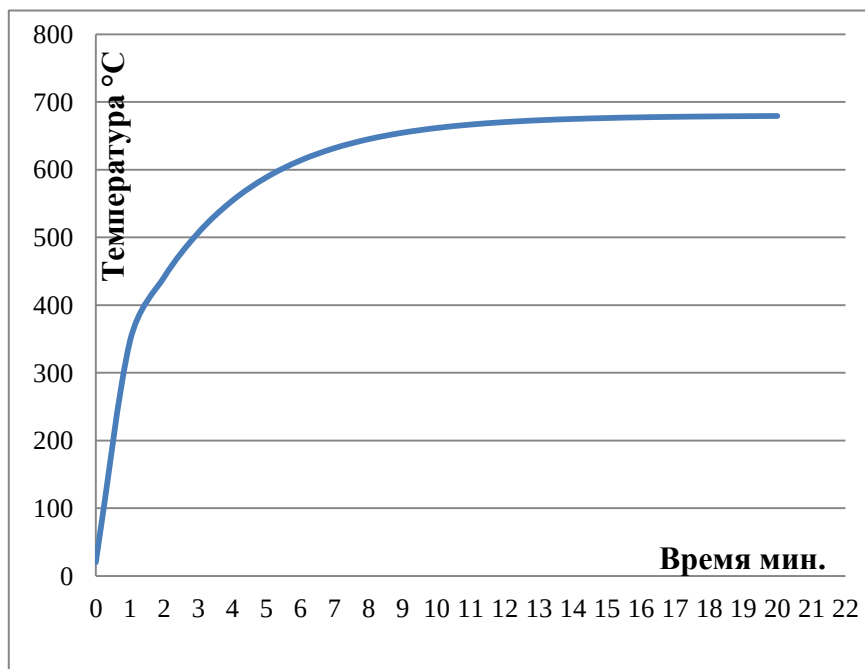


Рисунок 1.15 – График зависимости «температура – время» наружного температурного режима

На основании вышеизложенного возможно сделать вывод о необъективности сложившейся в России системы оценки фактического поведения светопрозрачной конструкции в условиях пожара и ее устойчивого препятствия распространению пожара между этажами. Однако национальные стандарты, в том числе и гармонизированные с европейскими стандартами, содержат методы, позволяющие проводить огневые эксперименты с целью получения более объективной информации об устойчивости при пожаре светопрозрачных фасадных конструкций. При этом существует необходимость определения новых сведений о характере распределения температурных полей наружного пожара и его режимах в высотных зданиях.

В результате установлено, что существующие в России методы оценки огнестойкости и пожарной опасности светопрозрачных фасадных конструкций не отражают условия развития реального пожара и не оценивают способность конструкции к предотвращению перехода пожара на смежные этажи

Таким образом, разработка методики натурального огневого испытания по оценке пожароустойчивости светопрозрачного фасада высотного жилого здания основанная на результатах проведенного анализа экспериментальных методах оценки огнестойкости и пожарной опасности светопрозрачных фасадов зданий и учитывающая особенности развития пожаров в высотных зданиях позволит вести дальнейшую работу по стандартизации и нормированию в части требований пожарной безопасности к светопрозрачным фасадам зданий.

1.5 Цели и задачи исследования

На основании вышеизложенного была сформулирована цель диссертационного исследования, заключающаяся в определении характера распределения температурных полей по фасаду здания, для обоснования технических решений по защите от разрушения светопрозрачных конструкций и предотвращению распространения пожара по фасаду высотных жилых зданий.

Для реализации цели были поставлены следующие **задачи**:

- разработать алгоритм расчета необходимой и достаточной устойчивости светопрозрачного заполнения на вышележащем этаже относительно этажа пожара при максимальном его развитии;
- разработать методику натурального огневого испытания по оценке пожароустойчивости светопрозрачного фасада высотного жилого здания;
- установить характер распределения температурных полей по высоте фасада высотного жилого здания при максимальной степени развития пожара;
- установить влияние междуэтажных поясов на распространение пожара по светопрозрачному фасаду высотного жилого здания;
- определить влияние площади оконного проема на распределение температурных полей по высоте фасада здания при максимальном развитии пожара.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОЖАРЕ СВЕТОПРОЗРАЧНОЙ ФАСАДНОЙ КОНСТРУКЦИИ

2.1 Основные теоретические положения и структурно-логическая модель расчета пожароустойчивости светопрозрачного фасада

Анализируя положения ГОСТов [70, 78], возможно сделать вывод о том, что оценка предельных состояний навесных ограждающих конструкций сводится к определению проявлений опасных факторов пожара на необогреваемой стороне светопрозрачной конструкции. Фактически не оценивается вероятность выхода пламени из горящего помещения после разгерметизации оконного проема и воздействие его на вышележащий этаж.

Анализ работ [52, 53, 58] показал, что пламя, выходящее из окна горящего помещения, способно разрушить оконное заполнение на этаже, расположенном над этажом пожара, что может способствовать распространению пожара на вышележащие этажи.

Принцип нормирования предельных состояний огнестойкости строительных конструкций и площади зданий в пределах пожарного отсека основан на тактических возможностях боевых пожарных подразделений, способных усилиями одного караула локализовать пожар в рассматриваемом помещении.

В высотных зданиях, где время на подачу ствола для тушения пожара значительно увеличивается, а возможности специальной пожарной техники ограничены высотой ее работы, а следовательно, ограничена возможность тушения пожара на фасаде здания, требуется другой подход к обоснованию пожарной безопасности светопрозрачных фасадов зданий. В этом случае целесообразно говорить об устойчивости светопрозрачного фасада при пожаре.

В соответствии с ФЗ №123 [12] устойчивость объекта защиты при пожаре это свойство объекта защиты сохранять конструктивную целостность и (или) функциональное назначение при воздействии опасных факторов пожара и

вторичных проявлений опасных факторов пожара. Как уже отмечалось, функциональное назначение фасада, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности, это ограничение распространения пожара на смежные этажи с наружной стороны здания.

Установлено, что конвективные потоки, формируемые вдоль плоскости фасада высотного здания, оказывают влияние на характер развития пожара и способствуют его распространению по вертикали здания. Очевидно, что при отсутствии специальных огневых испытаний светопрозрачных фасадов, оценивающих вероятность распространения пожара на смежные этажи, не представляется возможным объективно оценить реальную пожарную опасность светопрозрачной фасадной стены здания и способность ее предотвратить распространение пожара с наружной стороны, следовательно, нельзя сделать вывод об устойчивости светопрозрачного фасада здания при пожаре.

Впервые в работе Дудунова А.В. [54] было сформулировано понятие пожароустойчивости светопрозрачных оконных конструкций, определяемое временем от начала пожара до момента обрушения, т.е. выпадения фрагментов, при котором оконное заполнение перестает быть преградой поступления наружного воздуха в зону пожара.

В данной работе под устойчивостью при пожаре (пожароустойчивость) светопрозрачного фасада следует понимать способность фасада противостоять разрушению и предотвращать переход пожара на смежные этажи в условиях реального пожара. Критерием потери пожароустойчивости светопрозрачного фасада является обрушение или выпадение фрагментов светопрозрачного заполнения фасада, способствующих распространению пожара по зданию.

Пожароустойчивость светопрозрачного фасада главным образом будет зависеть от характеристик применяемых стеклопакетов и размеров температурных полей, формируемых пожаром вдоль плоскости фасада. То есть при прогнозировании пожароустойчивости светопрозрачного фасада здания требуется знать характер развития пожара, условия, при которых светопрозрачное

заполнение разрушается при тепловом воздействии, и размеры температурных полей наружного пожара.

При определении критериев устойчивости при пожаре светопрозрачной фасадной конструкции справедливо воспользоваться предложенной Зубковой Е.В. [13] блок-схемой критериев разрушения листового стекла (рисунок 2.1), так как стекло является ограждающим элементом фасада. При этом следует ввести новые критерии, отнесенные к решаемой задаче.

При решении задач по обоснованию пожароустойчивости светопрозрачных фасадов зданий исходными данными являются характеристики здания, размеры помещений, их проёмность и пожарная нагрузка.

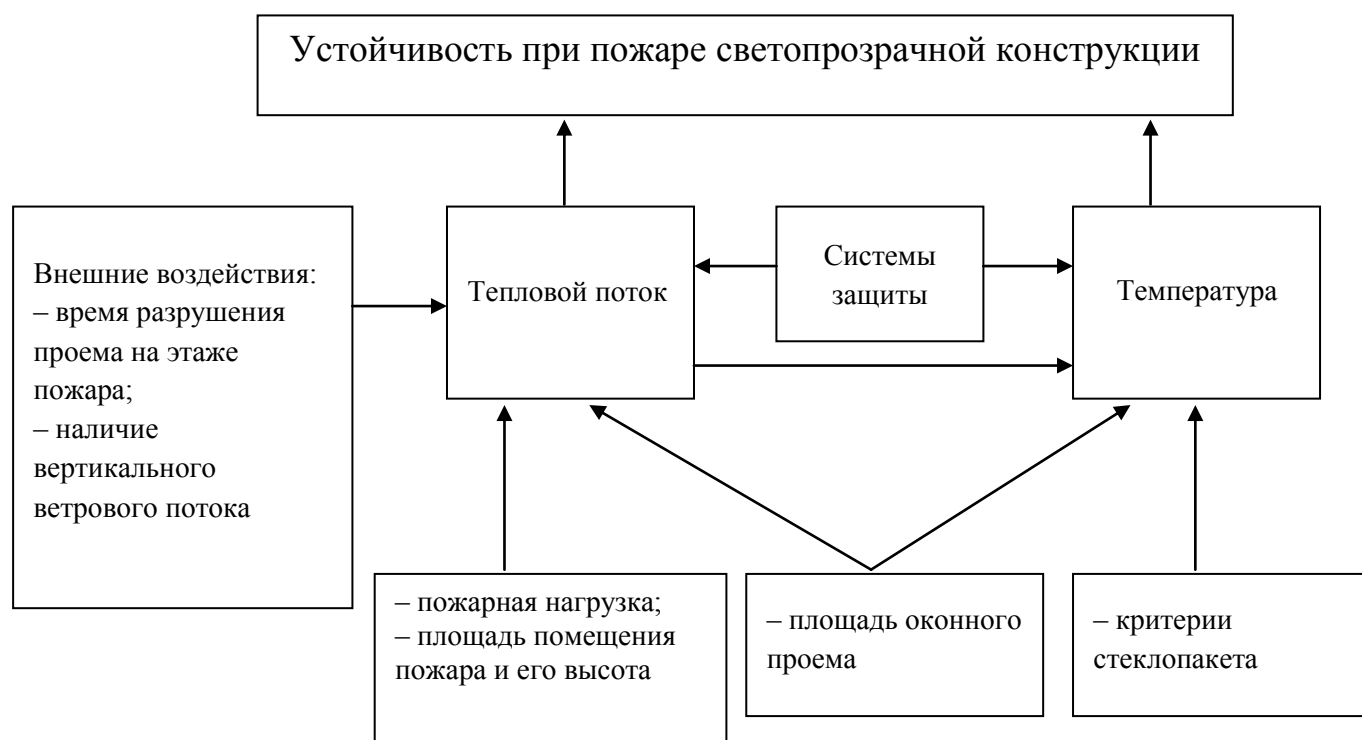


Рисунок 2.1 – Блок-схема критериев устойчивости светопрозрачного фасада

В случае разрушения светопрозрачного ограждения происходит резкий приток свежего воздуха в горящее помещение, что способствует разбавлению нагретых газов холодным воздухом, и, как следствие, снижение среднеобъемной

температуры пожара. Дальнейшее развитие пожара зависит от режима пожара, если пожар регулируется вентиляцией (ПРВ) – температура пожара увеличивается, если пожар регулируется нагрузкой (ПРН) – температура начинает снижаться или остается неизменной [5].

При ПРВ после разрушения светопрозрачного заполнения значительно увеличивается интенсивность выгорания горючей нагрузки, и возможен выход пламени пожара на фасад здания, при этом установлено, что на выход пламени на фасад главным образом оказывает влияние мощность очага пожара, а на параметры пламени – размеры проема.

Устойчивость светопрозрачного фасада при пожаре напрямую зависит от критериев разрушения светопрозрачного заполнения.

Анализируя работы, связанные с изучением характера разрушения стекла и стеклопакетов, можно сделать вывод о том, что критерии разрушения стеклопакета имеют случайный характер, зависящий во многом от вида и типа стекла, его толщины, количества стекол в стеклопакете, фактора масштабности и динамики нагрева пожаром. В этой связи требуется введение некоторых допущений, позволяющих оценить устойчивость светопрозрачного фасада при пожаре. Так как главной задачей является недопущение распространения пожара на вышележащие этажи, принимаем, что светопрозрачное заполнение на этаже пожара разрушено, расчет ведется только исходя из оценки воздействия пожара на вышележащие этажи.

Анализируя блок-схему, представленную на рисунке 2.1, и приняв необходимые допущения, структурно-логическую модель определения устойчивости светопрозрачного фасада при пожаре можно представить в виде следующих этапов:

- определение характера развития пожара;
- определение среднеобъемной температуры пожара;
- определение размеров и температуры пламени пожара с наружной стороны здания;

- определение критериев устойчивости при пожаре светопрозрачной фасадной конструкции;

- выбор эффективных способов защиты светопрозрачного фасада при пожаре.

Для практических расчетов устойчивости при пожаре светопрозрачных фасадных конструкций потребуются знание критериев устойчивости светопрозрачных фасадов зданий. Сущность метода определения критериев устойчивости при пожаре стеклопакета сводится к определению времени разрушения стеклопакета при внешнем воздействии пожара. Установив критерии разрушения светопрозрачного заполнения и определив размерные и температурные характеристики пламени, воздействующего на фасад, можно сделать вывод о существующей угрозе перехода пламени на вышележащий этаж, а также предложить эффективные способы, обеспечивающие не превышение критериев разрушения стеклопакетов.

В общем виде устойчивость светопрозрачного фасада здания при пожаре будет представлена в виде равенства:

$$Y_{\Pi} = f(Q; \Pi; K), \quad (2.1)$$

где Y_{Π} – устойчивость светопрозрачного фасада здания при пожаре; Q – характеристика, горючей нагрузки рассматриваемого здания; Π – параметры светопрозрачной конструкции; K – критерии разрушения стеклопакетов конструкции фасада.

Эффективность применяемых способов защиты светопрозрачного фасада может оцениваться как расчетными, так и экспериментальными способами.

Для оценки устойчивости светопрозрачных конструкций фасада здания требуется знание критериев разрушения стеклопакетов при пожаре, воздействующем на стеклопакет как с наружной стороны, так и с внешней.

2.2 Критерии разрушения светопрозрачных конструкций при пожаре

В зависимости от характера развития пожара, разрушение светопрозрачной конструкции фасада может оказывать влияние на дальнейшее его развитие – выход пламени пожара на фасад здания способствует переходу пожара на вышележащие этажи. Потеря целостности стеклопакетов светопрозрачной конструкции является главной причиной, способствующей распространению пожара по зданию.

Механизм разрушения стекла основан на свойстве стекла разрушаться под действием внутренних напряжений при отсутствии пластической деформации. Разрушение стекла происходит, когда скорость нарастания внутренних напряжений превышает скорость их релаксации, например, как при ударе.

При нагреве внутри стекла также, как и при ударе, возникают внутренние напряжения, скорость их нарастания будет зависеть от характера развития пожара, от свойств самого стекла, его толщины и размеров. Существующая теория разрушения стекла в условиях пожара отталкивается от результатов экспериментальных исследований.

Теоретический анализ работ [52, 53, 55, 56], посвященных характеру разрушения стекла в условиях пожара, позволяет выделить три критерия, при которых происходит разрушение стекла, и их значения, полученные экспериментальным путем:

1) достижение критического значения падающего теплового потока ($20\text{--}30 \text{ кВт/м}^2$ – для одно- и двухкамерных стеклопакетов размером $0,61 \times 0,61$ м и $0,91 \times 1,5$ м, 9 кВт/м^2 – листовое стекло размером $0,5 \times 0,5$ толщиной 3 мм);

2) разница температур между закрытой и открытой частью стекла (60°C – стекло 4 мм; 95°C – стекло 5 мм; 129°C – стекло 6 мм. Размеры образцов 370×270 мм);

3) температура на поверхности стекла ($110\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для листового стекла 6 мм, $330\text{--}380\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для закаленного стекла 6 мм, $470\text{--}590\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для закаленного стекла 10 мм).

В 2012 г. на базе Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России автором настоящего исследования были проведены крупномасштабные исследования по определению критериев разрушения листового, закаленного и многослойного одинарного стекла.

Исследования проводились с листовыми стеклами толщиной 4, 5 и 6 мм, размером 1250×1605 мм. Температурное воздействие осуществлялось в соответствии с режимом «стандартного» пожара.

Результаты экспериментов позволяют сделать следующие выводы: потеря целостности листового стекла 4, 5 и 6 мм наступала вследствие достижения температуры на необогреваемой стороне стекла от 90 до $128\text{ }^{\circ}\text{C}$, тепловой поток при этом составлял от 2 до $2,4\text{ кВт/м}^2$.

Все вышеуказанные критерии относятся к условиям развития пожара внутри помещения и температурном воздействии на стеклопакет со стороны помещения. Очевидно, что условия температурного воздействия на стеклопакет расположенный над этажом пожара будут отличаться от условий при пожаре внутри помещения. Это также оказывает влияние на критерий разрушения стеклопакета на верхних этажах, однако подобные данные в научных изданиях отсутствуют.

Сегодня в строительстве светопрозрачных фасадов зданий используется широкий спектр стеклопакетов, отличающихся формулами, видами стекол, их комбинацией, толщиной и размерами. А имеющиеся данные о поведении стекла в условиях пожара не позволяют однозначно определить критерий разрушения светопрозрачных конструкций из стеклопакетов.

Экспериментальные исследования позволяют установить критерий разрушения для конкретного типа стеклопакета в зависимости от условий развития пожара. Для использования полученного критерия в дальнейших

расчетах устойчивости при пожаре светопрозрачной конструкции, потребуется теоретическое исследование параметров пламени и размеров температурных зон вдоль плоскости фасада. При этом на разрушение стеклопакета расположенного над этажом пожара будет оказывать влияние совершенно другой критерий

Таким образом, установлена необходимость определения дополнительных критериев разрушения светопрозрачных конструкций при воздействии пожара с внешней стороны здания.

2.3 Выбор и обоснование исходных данных для расчета

Решение любой пожарно-технической задачи начинается с определения характера развития пожара и его воздействия на ограждающие и другие строительные конструкции здания. В общем виде уравнение пожара описывается системой уравнений Навье – Стокса, уравнением энергии (включающем в себя перенос энергии за счет конвективных процессов, теплопроводности, излучения, диффузии, химических реакций горения пожарной нагрузки), уравнениями неразрывности, диффузии, состояния и теплообмена [48]. Решение данной задачи представляет собой сложный процесс, реализуемый современными инструментами для моделирования пожара, такими как Fire Dynamics Simulator (FDS), разработанный Национальным институтом стандартов и технологий США.

Программа FDS реализует основы полевого метода моделирования пожара, основанного на уравнении сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме [84, 85].

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j) = 0 \quad (2.2)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (2.3)$$

Для ньютоновских жидкостей, подчиняющихся закону Стокса, тензор вязких напряжений определяется выражением:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (2.4)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j h) = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\lambda}{c_p} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial \dot{q}_j^R}{\partial x_j} \quad (2.5)$$

где $h = h_0 + \int_{T_0}^T c_p dT + \sum_k Y_k H_k$ – статическая энтальпия смеси; H_k – теплота образования k -го компонента; $c_p = \sum_k Y_k c_{p,k}$ – теплоемкость смеси при постоянном давлении; $\dot{q}_j^R$ – радиационный поток энергии в направлении x_j .

Уравнение сохранения химического компонента k :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j Y_k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\rho D \frac{\partial Y_k}{\partial x_j} \right) + S_k \quad (2.6)$$

Для замыкания системы уравнений используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет следующий вид:

$$p = \rho R_0 T \sum_k \frac{Y_k}{M_k} \quad (2.7)$$

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

Полевой метод позволяет с достаточно высокой точностью производить оценку влияния пожара на ограждающие конструкции здания, в том числе и с наружной стороны. Метод учитывает размеры помещения очага пожара, количество и способ размещения горючей нагрузки, условия вентиляции.

Исходными данными для моделирования служат теплофизические характеристики пожарной нагрузки, полученные в ходе исследований и представленные в работах [86, 87]. Для жилых помещений приняты следующие параметры горючей нагрузки: низшая теплота сгорания $Q_{н.} = 13,8$ МДж/кг; дымообразующая способность $D_m = 270$ Нп·м²/кг; удельная массовая скорость выгорания $\psi_{уд} = 0,0145$ кг/м² с; линейная скорость распространения пламени $v = 0,0045$ м/с; удельный расход кислорода – 1,03 кг/кг; выделение CO₂ = 0,203 кг/кг; выделение CO = 0,0022 кг/кг; выделение HCl = 0,014 кг/кг.

Моделирование в FDS симуляторе является длительным процессом, требующим больших вычислительных ресурсов и затрат времени. В зависимости от необходимой точности математического моделирования при решении инженерных задач, специалистами могут применяться упрощенные модели.

Пожарная нагрузка в жилом помещении представлена в виде твердых горючих материалов (древесина, ткани, пластмассы и т.п.), равномерно распределенных по всему объему помещения. Наибольшую опасность для ограждающих конструкций здания представляют объемные пожары, отличительной чертой которых является отсутствие значительных градиентов термодинамических параметров (в связи с сильной степенью перемешивания), что приводит к практически незначительному отличию локальных характеристик от среднеобъемных. Эта важная характеристика объемных пожаров позволяет описывать их развитие интегральными параметрами и использовать сравнительно простой метод «интегрального» математического моделирования [48].

Как было отмечено ранее, объемные пожары по характеру развития подразделяются на регулируемые нагрузкой и регулируемые вентиляцией. Решение задачи интегральным методом сводится к определению вида пожара (ПРН или ПРВ), который в свою очередь зависит от условий вентиляции помещения и количества горючей нагрузки, характеризующей условие перехода от пожара, регулируемого нагрузкой к пожару, регулируемому вентиляцией ($q_{кр}$).

Исходными данными для расчета являются:

- характеристики помещения (площадь пола, стен, проемов (в том числе светопрозрачного заполнения));
- количество горючей нагрузки и ее теплота сгорания.

Пожар, регулируемый вентиляцией, создает угрозу распространения пожара на вышележащие этажи посредством воздействия на светопрозрачное заполнение вышележащего этажа, устойчивость которого будет определяться критериями устойчивости для каждого типа стеклопакета.

Дальнейший расчет ведется по эмпирическим зависимостям, позволяющим определить высоту и температуру пламени. Были проверены зависимости, предложенные [68], которые подтвердили высокую сходимость с результатами крупномасштабных экспериментов [18]. Дальнейшее использование данных зависимостей требует их уточнения для условий высотного строительства, для этого необходимо ввести коэффициент, учитывающий влияние вертикально направленного восходящего ветрового потока на размер пламени.

Для определения критерия разрушения стеклопакета в условиях реального пожара и уточнения коэффициента, учитывающего влияние вертикального ветра, необходимо проведение натурного огневого эксперимента.

2.4 Алгоритм расчета устойчивости светопрозрачной фасадной конструкции при пожаре

Устойчивость при пожаре светопрозрачной фасадной конструкции является качественным параметром проектируемого здания. Зная о геометрических параметрах помещений, характере развития пожара и эффективности применяемых средств и способов предотвращения распространения пожара можно известными зависимостями определить устойчивость светопрозрачной конструкции. Данные о критериях разрушения светопрозрачных конструкций фасада позволят спрогнозировать вероятность его разрушения в условиях пожара и определить наиболее эффективные способы защиты.

Для проведения пожарно-технических расчетов по определению устойчивости при пожаре светопрозрачной фасадной конструкции, предлагается использовать алгоритм, представленный на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Алгоритм определения устойчивости светопрозрачной фасадной конструкции при пожаре

В соответствии с предложенным алгоритмом определения устойчивости светопрозрачной фасадной конструкции при пожаре, первой задачей является определение характера развития пожара, для чего определяется удельное количество горючей нагрузки ($q_{уд}$) в помещении:

$$q_{уд} = \frac{\sum m_i Q_i}{(F_{общ} - A_{общ}) Q_{др}} \quad (2.8)$$

которое сравнивается с критическим значением пожарной нагрузки ($q_{кр}$), превышение которого определяет ПРВ:

$$q_{кр} = \frac{\sqrt[3]{V}}{6V_b} + \frac{4500\P^3}{1 + 500\P^3} \quad (2.9)$$

где m_i – количество i -го материала, входящего в состав пожарной нагрузки кг; Q_i – теплота сгорания для i -го материала, кДж/кг; $Q_{др}$ – теплота сгорания древесины, кДж/кг; $F_{общ}$ – общая площадь ограждающих помещений стен, пола и потолка, m^2 , определяется; $F_{общ} = 6V^{2/3}$; $A_{общ}$ – общая площадь проемов в помещении, m^2 ; V – объем всего помещения, м.куб; V_b – удельное количество воздуха, которое необходимо для полного сгорания горючих материалов, $m^3/кг$, $V_b = 0,236 \cdot 10^{-3} \cdot \sum m_i Q_i$; Π – проемность помещения, $m^{1/2}$, определяется $\Pi = \frac{\sum A_i \sqrt{h_i}}{\sqrt[2]{V^3}}$; A_i – площадь i -го проема в помещении, m^2 ; h_i – высота i -го проема в помещении, м.

Для ПРН максимальная среднеобъемная температура определяется по выражению:

$$T_{max} = T_0 + 224 q_{кр}^{0.528} \quad (2.10)$$

Для пожара регулируемого вентиляцией:

$$T_{max} = T_0 + 940 \cdot e^{(0.047 q_{уд}^{\Pi} - 0,141)} \quad (2.11)$$

где T_0 – температура окружающего воздуха, К; $q_{уд}^{\Pi}$ – удельная пожарная нагрузка, приведенная к площади помещения – F_{Π} , $q_{уд}^{\Pi} = \frac{\sum m_i Q_i}{(F_{\Pi}) Q_{др}}$.

Для определения степени влияния пожара на фасад здания определяем максимальное значение среднеобъемной температуры пламени на выходе из

горящего помещения. Согласно принятому допущению считается, что светопрозрачное заполнение на уровне этажа пожара разрушено и пожар выходит наружу, воздействуя на фасад здания с внешней стороны.

Согласно эмпирическим зависимостям, представленным в работе [68], высота пламени и температура в области светопрозрачного заполнения вышележащего этажа могут быть определены по следующим зависимостям:

$$h = 12.8 \left(\frac{v_m}{b} \right)^{2/3} - a \quad (2.12)$$

$$T_h = T_0 + (T_{\text{оп}} - T_0) \left(1 - 0.027 \frac{hb}{v_m} \right) \quad (2.13)$$

где a – высота оконного проема, м; b – ширина оконного проема, м; T_h – температура на высоте h ; T_0 – температура окружающей среды; $T_{\text{оп}}$ – температура в оконном проеме; h – расстояние вдоль оси пламени, м; v_m – массовая скорость выгорания, кг/с.

Полученные данные о высоте пламени и его температуре позволяют определить устойчивость светопрозрачной конструкции в случае выхода пламени на фасад. Если высота пламени превышает размер защитного междуэтажного пояса, вывод об обеспечении устойчивости при пожаре светопрозрачного фасада делается исходя из критерия устойчивости стеклопакета вышележащего этажа:

$$T_h \rightarrow f(h; S; K_h) \quad (2.14)$$

где T_h – температура вдоль плоскости фасада на высоте h , °C; S – площадь проема для выхода пламени, м²; h – высота, м; K_h – коэффициент распределения температуры по высоте фасада.

Применимость формул (2.12) и (2.13) доказана результатами крупномасштабных испытаний. Однако она не учитывает возможного влияния на высоту пламени вертикальных воздушных потоков. Исследования в данном направлении на сегодняшний день не проводились. Для определения необходимых сведений требуется подготовка и проведение натурного эксперимента, позволяющего установить влияние ветра на высоту пламени.

В случае вывода о том, что светопрозрачное заполнение способно разрушиться, необходимо предусмотреть дополнительные меры по ограничению распространения пожара по фасаду. Это достигается путем изменения типа стеклопакета, обладающего повышенной устойчивостью; применением специальных экранов, позволяющих ограничить площадь проема для выхода пожара и увеличить высоту междуэтажного пояса. Эффективность принятых способов подтверждается повторным расчетом или экспериментальным способом.

Для апробации предложенного алгоритма расчета рассмотрим некоторое здание жилого назначения со светопрозрачным фасадом. Предварительно был проведен анализ планировочных решений квартир жилых зданий с различным количеством комнат (3-, 2- и однокомнатных). Анализ проводился согласно данным, представленным в сети интернет, о различных жилищных комплексах г. Москвы, Екатеринбурга и Оренбурга. Наиболее распространенная планировка – однокомнатные квартиры (квартиры-студии), средней площадью 33 м^2 , высота этажа 2,6 м. В соответствии со статистическими данными, наибольшее число пожаров, происходящих в жилых зданиях, возникает в спальнях комнатах.

Приведенная к древесине пожарная нагрузка жилых помещений составляет 50 кг/м^2 .

В качестве ограждающей конструкции принята навесная светопрозрачная стена с глухим междуэтажным поясом высотой 1,2 м. Светопрозрачное заполнение не нормируемого предела огнестойкости разделено несущей алюминиевой стойкой на две равные части и имеет следующие размеры: ширина – 3,05 м, высота – 1,65 м.

Для определения устойчивости при пожаре рассматриваемого светопрозрачного фасада жилого здания выполним расчет согласно алгоритму, представленному на рисунке 2.4.

В соответствии с параметрами помещения и горючей нагрузкой определяем проемность помещения, критическую и удельную пожарную нагрузку:

$$1. \Pi = \frac{\sum A_i \sqrt{h_i}}{\sqrt[3]{V^2}} = 0,33$$

$$2. q_{уд} = \frac{\sum m_i Q_i}{(F_{общ} - A_{общ}) Q_{др}} = 14,43 \text{ кг/м}^2$$

$$3. q_{кр} = \frac{\sqrt[3]{V}}{6V_B} + \frac{4500\Pi^3}{1+500\Pi^3} = 8,52 \text{ кг/м}^2$$

$$4. q_{уд} > q_{кр} \rightarrow \text{ПРВ}$$

$$5. T_{max} = T_0 + 940 \cdot e^{(0,047q_{уд}^{\Pi} - 0,141)} = 1336,2 \text{ К} = 1063,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

6. Определяем высоту и температуру пламени апробированным методом, сформулированным Р.Н. Thomas и М. Law [68]. Высота пламени определяется по формуле (1.7):

$$h = 12,8 \left(\frac{v_m}{b} \right)^{2/3} - a = 1,92 \text{ м.}$$

По формуле (1.14) определяется температура пламени в окне:

$$T_{оп} = T_0 + \frac{520}{\left(1 - \frac{0,027hb}{v_m}\right)} = 1081,7 \text{ К} = 808,7 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Подставляя T_0 в формулу (1.15) получаем температуру на заданных высотах:

– высота 1,2 метра от верха окна:

$$T_h = T_0 + (T_{оп} - T_0) \left(1 - 0,027 \frac{hb}{v_m}\right) = 632,6 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

– высота 1,7 метра от верха окна: $T_h = 559,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

– высота 2,2 метра от верха окна: $T_h = 485,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определив размеры пламени и распределение температур по высоте фасада можно установить максимальную температуру в зоне воздействия на светопрозрачное заполнение. Зная критические условия разрушения стеклопакета, можно сделать вывод об устойчивости светопрозрачного заполнения и фасада в целом.

Известные критерии разрушения стекла получены на основании результатов многочисленных экспериментов, где установлено, что на характер разрушения стекла оказывают влияние многие факторы: вид стекла и способ его изготовления, размер и толщина стекла, способ его крепления на объекте и динамика нагрева.

Наличие такого количества факторов, влияющих на разрушение стекла, усложняет задачу практических расчетов по определению критерия разрушения стеклопакета. Это снижает достоверность теоретического прогнозирования устойчивости при пожаре светопрозрачной конструкции.

Для практического применения следует минимизировать количество факторов, влияющих на разрушение стеклопакета, и принять наиболее критические с точки зрения безопасности оценочные критерии.

В работе [63] установлено, что на разрушение стекла главным образом влияет динамика роста температуры до критического значения, при котором происходит разрушение. Отсюда следует, что для практических расчетов устойчивости при пожаре светопрозрачных фасадов кроме максимальной температуры, воздействующей на фасад, необходимо учитывать динамику роста до расчетных значений.

Возможным решением поставленной задачи определения критерия разрушения стеклопакета в практических целях является проведение предварительных испытаний по определению критерия разрушения стеклопакета от внешнего пожара. Испытания должны отражать особенности изготовления стеклопакета, способ его монтажа и иметь критический режим температурного воздействия, отражающий условия реального пожара.

Все известные критерии разрушения стекла определены на основании лабораторных и крупномасштабных экспериментов. Данные эксперименты проводились для варианта температурного воздействия на стекло от пожара, развивающегося внутри помещения. Данные о критериях разрушения стекла при внешнем пожаре отсутствуют.

Для дополнения предложенной методики определения устойчивости светопрозрачного фасада здания необходимо экспериментальным образом установить характер разрушения светопрозрачного заполнения при внешнем пожаре. Выявить зависимость критической динамики нагрева стеклопакета во времени.

ГЛАВА 3. УСТОЙЧИВОСТЬ ФАСАДНЫХ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО ПОЖАРА

3.1 Методика натурного огневого испытания фасадной светопрозрачной конструкции

Для проведения крупномасштабных натурных испытаний была выбрана светопрозрачная навесная стена, запроектированная и произведенная компанией ООО «ФОТОТЕХ», представляющая собой стоечно-ригельную профильную систему ALT F50, с глухим междуэтажным поясом высотой 1,2 м и светопрозрачным заполнением стеклопакетами из листового стекла (формула стеклопакета 6+12+4+12+6). Глухой междуэтажный пояс выполнен в соответствии с альбомами технических решений компании АЛЮТЕХ, разрез междуэтажного пояса и размещение их на объекте испытаний показаны на рисунке 3.1.

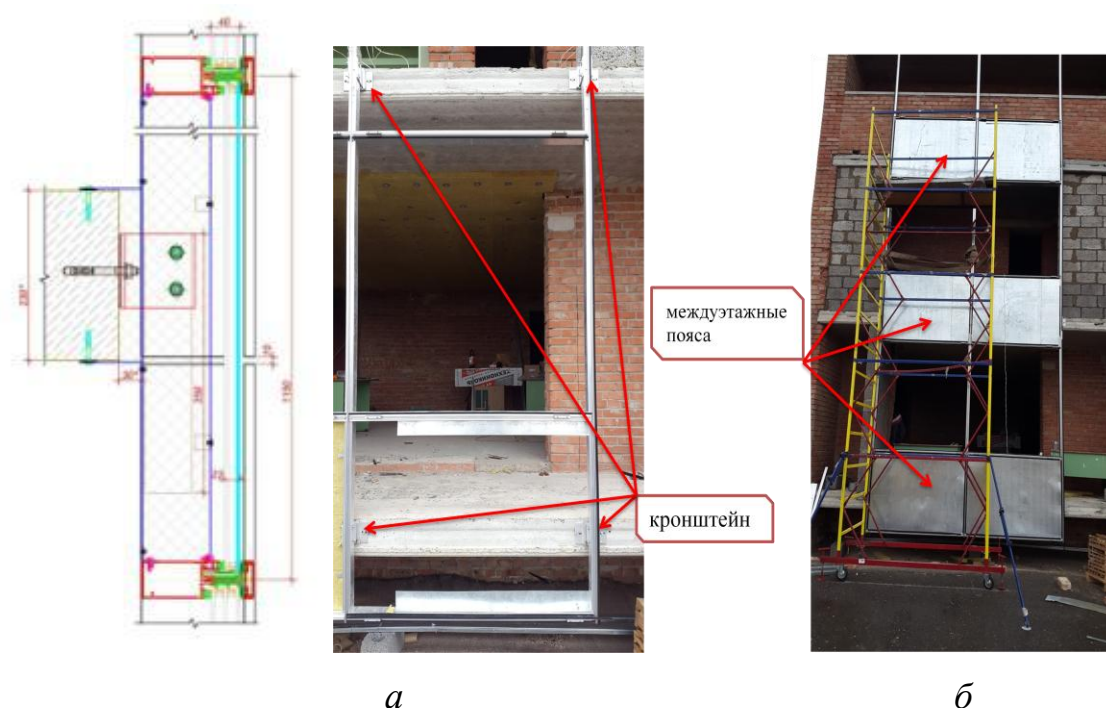


Рисунок 3.1 – Междуэтажный пояс:
а) вид в разрезе; б) установка на объекте испытаний

Фрагмент навесной светопрозрачной стены выполнен на три этажа здания, общей высотой 9125 мм, шириной 3200 мм.

Общий вид объекта испытаний представлен на рисунке 3.2.

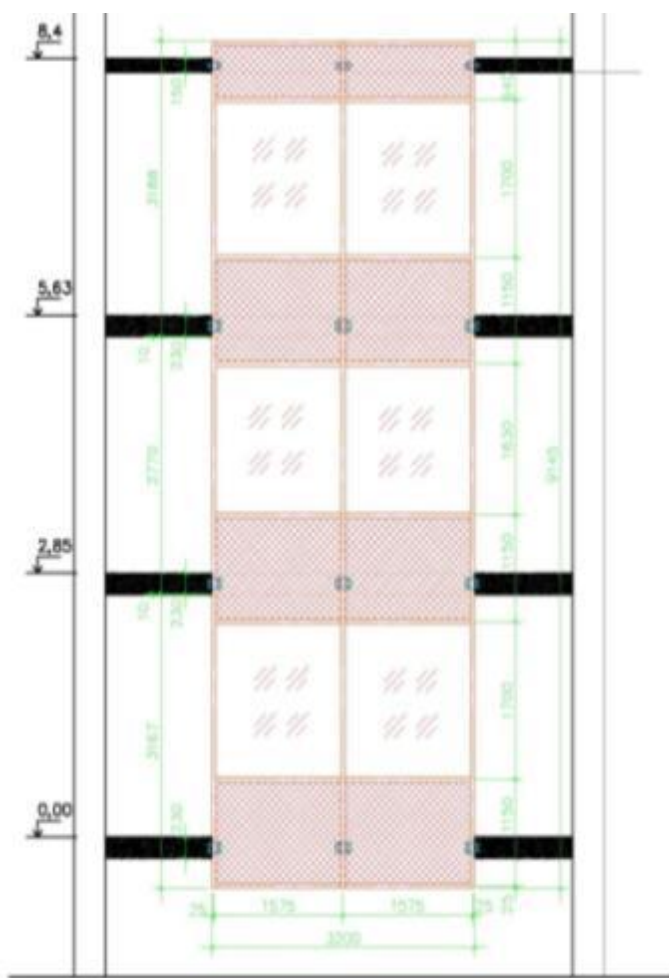


Рисунок 3.2 – Общий вид объекта испытаний

Целью проведения испытания является определение устойчивости при пожаре светопрозрачных навесных стен с глухим междуэтажным поясом высотой не менее 1,2 м и пределом огнестойкости не менее EI60.

Для достижения назначенной цели поставлены следующие задачи:

- 1) определить скорость прогрева стеклопакета и критический режим температурного воздействия пожара, при котором происходит разрушение стеклопакета и потеря его целостности;
- 2) определить влияние площади оконного проема на размер пламени и высоту температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада;
- 3) определить температуру и мощность тепловых потоков, создаваемых в непосредственной близости от светопрозрачного заполнения внутри помещения, расположенного над помещением очага пожара;

4) определить влияние ветровых (конвективных) потоков, направленных вдоль фасада здания, на размеры температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада;

5) после проведения испытаний оценить состояние несущих и ограждающих конструкций навесной стены здания, узлов примыкания к перекрытию, стыковых соединений;

6) исследовать степень повреждения конструкций навесной светопрозрачной стены.

Испытания проводились на полномасштабном макете пятиэтажного здания, расположенном на территории испытательного полигона Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

Макет пятиэтажного здания представляет собой не отапливаемое строение, размерами в плане 12×13 м, высотой 16 м. Несущие стены и перегородки – кирпичные из полнотелого керамического кирпича М150, на растворе марки 100, плиты перекрытия – железобетонные с круглыми пустотами по серии 1.141.1.

Помещение очага пожара расположено на первом этаже здания, наружная стена помещения выполнена из светопрозрачной фасадной конструкции, ограждающие стены выполнены из красного кирпича. Помещение имеет дверной проем, выходящий на лестничную клетку здания. В боковой стене имеется проем размером $1,3 \times 1,4$ м, на начальном этапе испытания проем заполнен теплоизоляционным материалом. В ходе испытания необходимо осуществлять воздухообмен в помещении с помощью указанного проема, регулируя его площадь открытия. Площадь помещения очага пожара составляет 33 м^2 .

Температурный режим пожара обеспечивается горючей нагрузкой, плотность размещения которой составляет 50 кг/м^2 (параметры горючей нагрузки обоснованы в разделе 1.3 настоящей работы). В качестве горючей нагрузки используется древесина хвойной породы влажностью не более 12%. Общее количество древесины принято 1650 кг.

Способ размещения горючей нагрузки обеспечивает условие создания наиболее критической ситуации с точки зрения воздействия пожара на наружные

конструкции фасада здания, а также отражает условия ее размещения, характерные для жилого помещения (рисунок 3.3).

Воздухообмен в помещении очага пожара во время горения обеспечивается следующим образом:

- приток воздуха осуществляется через дверной проем, соединенный с лестничной клеткой, имеющей выход непосредственно на улицу. Дверной проем зафиксирован в максимально открытом положении;

- выброс продуктов горения организован через шахту дымоудаления размером 300×400 мм, дымоприемное устройство расположено в перекрытии первого этажа.

Для защиты пустотных плит перекрытия от негативного воздействия пожара выполнена огнезащита минераловатными плитами «ТЕХНО ОЗБ 80» на основе базальтового волокна производства ООО «ТехноНИКОЛЬ».

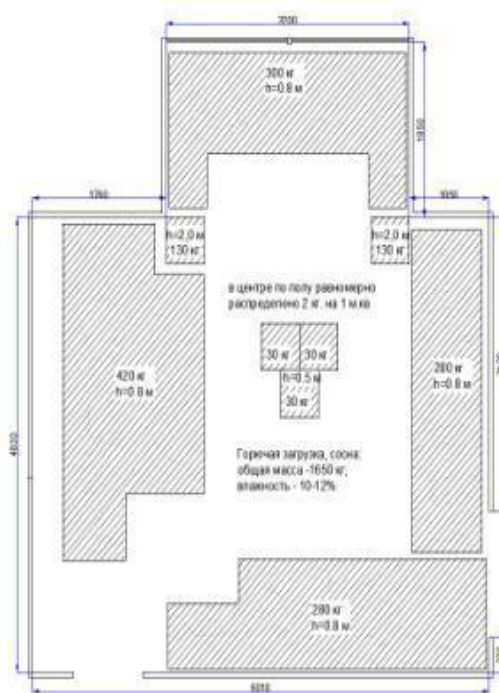


Рисунок 3.3 – Помещение очага пожара и характер размещения горючей нагрузки в помещении

Для реализации условий, характерных для высотного строительства, а именно воздействия вертикально направленного ветрового потока вдоль фасада здания смонтирована специальная установка, принципиальная схема которой

представлена на рисунке 3.4. Установка состоит из вентилятора, обеспечивающего регулируемый поток воздуха высокой производительности, а также металлического лотка, предназначенного для формирования направления потока воздуха вдоль плоскости фасада по всей его ширине. Вентиляционная установка монтируется на уровне земли согласно схеме, представленной на рисунке 3.4.

Вентиляционная установка тарируется таким образом, чтобы скорость вертикально направленного воздушного потока на уровне середины оконного проема помещения пожара составляла от 3 до 5 м/с.

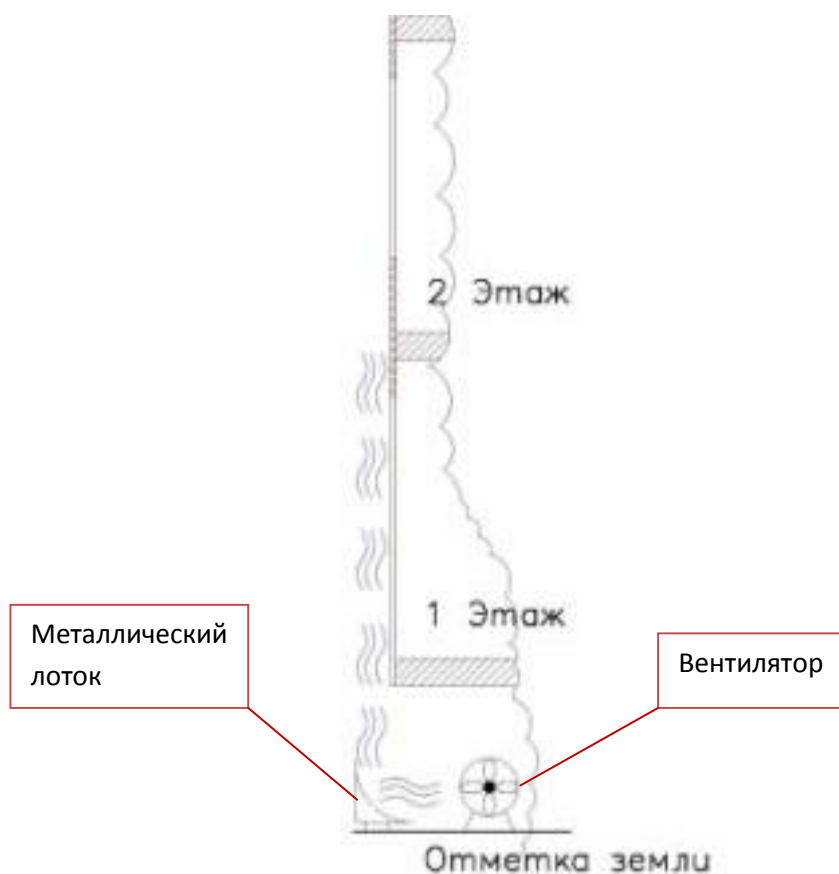


Рисунок 3.4 – Схема размещения оборудования для создания ветровых потоков вдоль фасада здания

Средства и способы измерения контролируемых параметров.

В соответствии с задачами испытания необходимо осуществить сбор данных о характере развития пожара и степени его влияния на светопрозрачный фасад здания с внешней стороны.

При испытаниях контролируются следующие величины и параметры:

- среднеобъемная температура и тепловой поток внутри помещения при пожаре;
- распределение температурных полей вдоль фасада здания;
- высота пламени, выходящего из помещения пожара;
- температура на каждом листе стеклопакета;
- тепловой поток на уровне оконного проема второго этажа;
- скорость восходящих ветровых потоков вдоль плоскости фасада;
- температура наружного воздуха;
- направление и скорость ветра в ходе испытаний;
- осуществляется видеозапись процесса горения внутри помещения очага пожара, а также снаружи;
- по окончании эксперимента оцениваются последствия воздействия пожара на конструкции фасада, характер и размеры зон повреждения.

Для измерения температур применяются термоэлектрические преобразователи (термопары) с диаметром электродов от 0,75 до 1,2 мм. Для измерения мощности тепловых потоков применяются приемники тепловых потоков ТП 2000. Термопары и датчики тепловых потоков подключены к измерителям-регуляторам ТРМ-138 производства компании «Овен», передающим показания на ПК. Все средства измерения тарированы и имеют свидетельства о поверке. Структурная схема системы измерения и обработки информации в ходе огневого испытания представлена на рисунке 3.5

В ходе испытания с тыльной стороны фасада здания осуществляется тепловизионная съемка специальной камерой марки FLIR. Для фото- и видеофиксации применяются переносные видеокамеры, стационарные видео-

регистраторы, а также беспилотный летательный аппарат (квадрокоптер), оснащенный видеокамерой.

Для оценки последствий воздействия пожара на конструкции фасада, характер и размеры зон поражения используется штангенциркуль, линейка, фото- и видеоаппаратура.

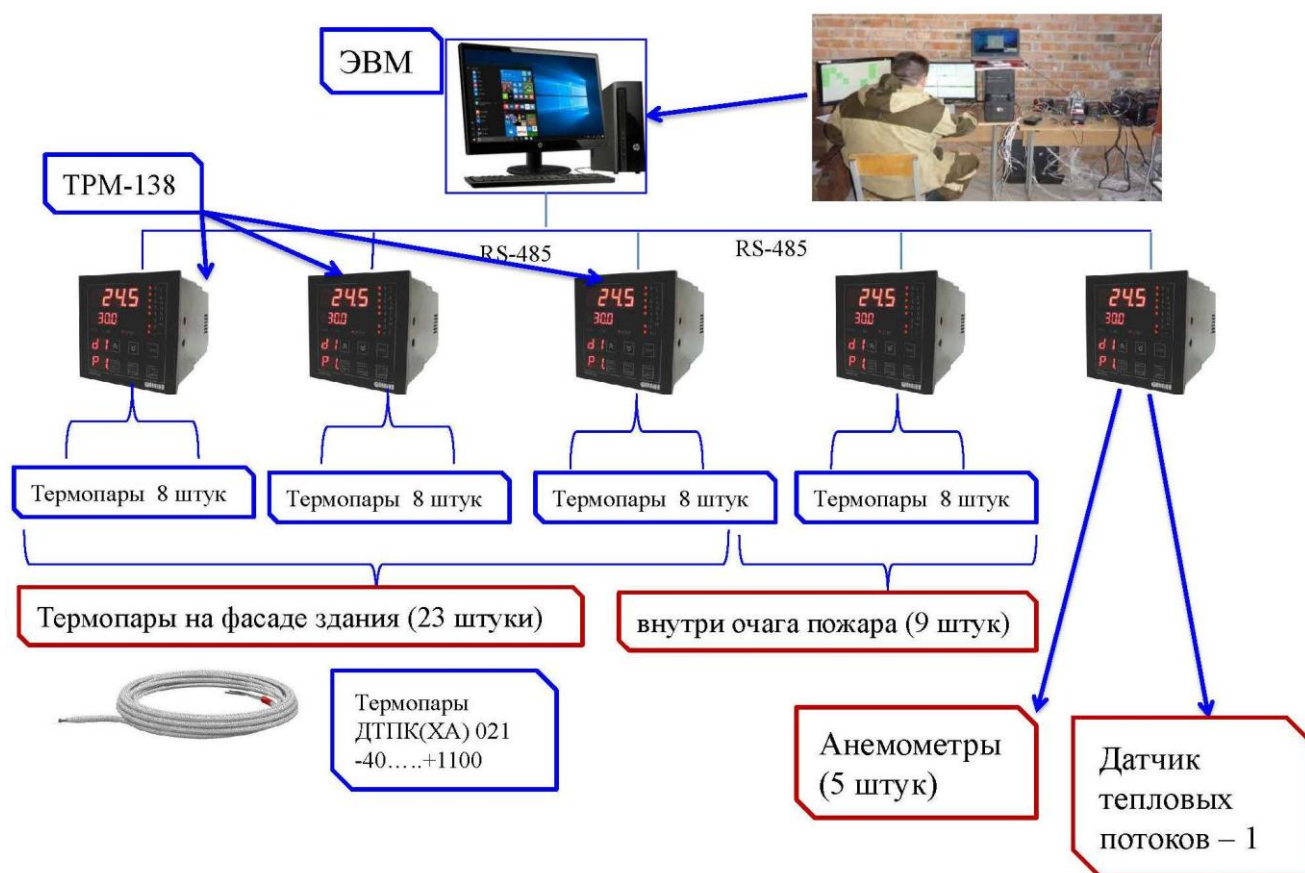


Рисунок 3.5 – Структурная схема системы измерения и обработки информации

Расстановка термопар внутри помещения очага пожара должна обеспечить получение информации об изменении среднеобъемной температуры в ходе всего периода огневого испытания. Измерение температуры осуществляется в четырех равноудаленных точках, расположенных в вертикальной плоскости помещения, в трех плоскостях, расположенных на равных расстояниях друг от друга. Схема расстановки термопар внутри помещения очага пожара представлена на рисунке 3.6.

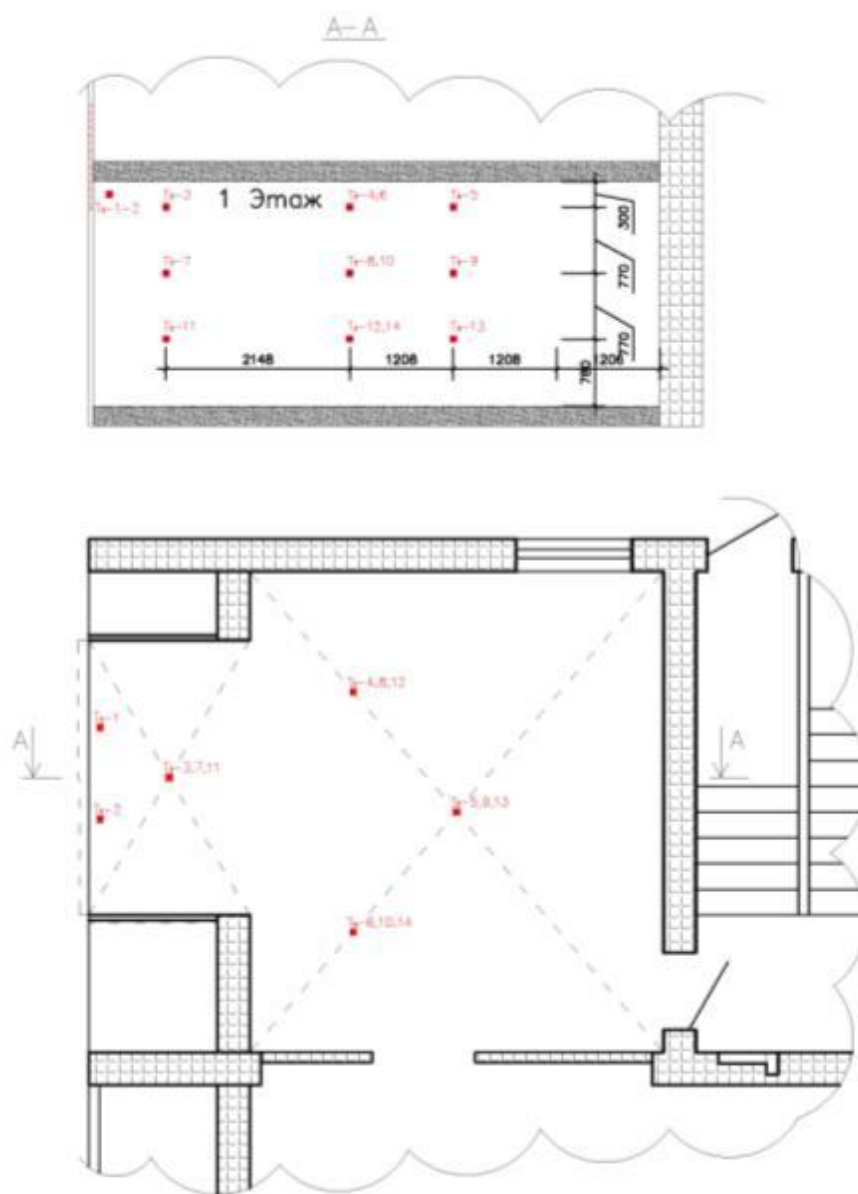


Рисунок 3.6 – Схема расстановки термопар внутри помещения очага пожара

Расстановка термопар с наружной стороны фасада должна обеспечить получение информации о высоте распределения температурных полей, формируемых пламенем пожара, выходящим из оконного проема горящего помещения. Расстановка термопар осуществляется с наружной стороны здания, на расстоянии 150 мм от плоскости фасада, согласно схеме, представленной на рисунке 3.7. Монтаж термопар осуществлен в специально изготовленных коробах, выполненных из металлического короба, с теплоизоляционной защитой от воздействия высоких температур.

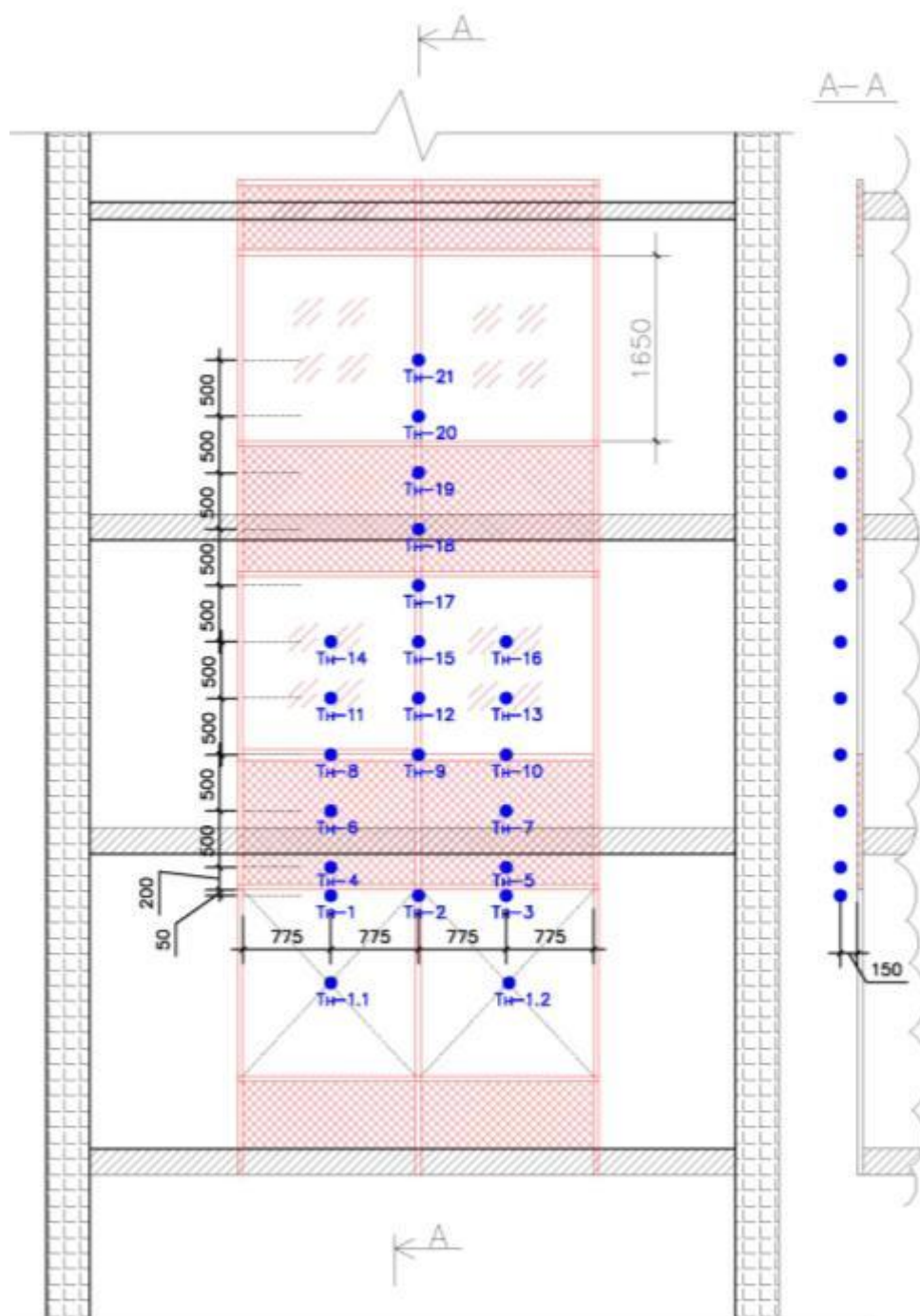


Рисунок 3.7 – Схема расстановки термопар снаружи здания по вертикали фасада

Для измерения высоты пламени, вырывающегося с этажа пожара, на внешней стороне фасада следует нанести линейку от 0 до 6 м. За нулевую отметку принять верхний край светопрозрачного заполнения первого этажа. При проведении эксперимента осуществлять видеофиксацию с фронтальной стороны фасада.

Схема расстановки датчиков тепловых потоков представлена на рисунке 3.8. Для защиты измерительного элемента датчиков тепловых потоков предусмотрена система водяного охлаждения.



Рисунок 3.8 – Схема расстановки приемников тепловых потоков

Для измерения температуры прогрева стеклопакетов расстановка термопар осуществлена согласно схеме, представленной на рисунке 3.9. Датчики размещаются на каждом листе стеклопакета на его необогреваемой стороне.

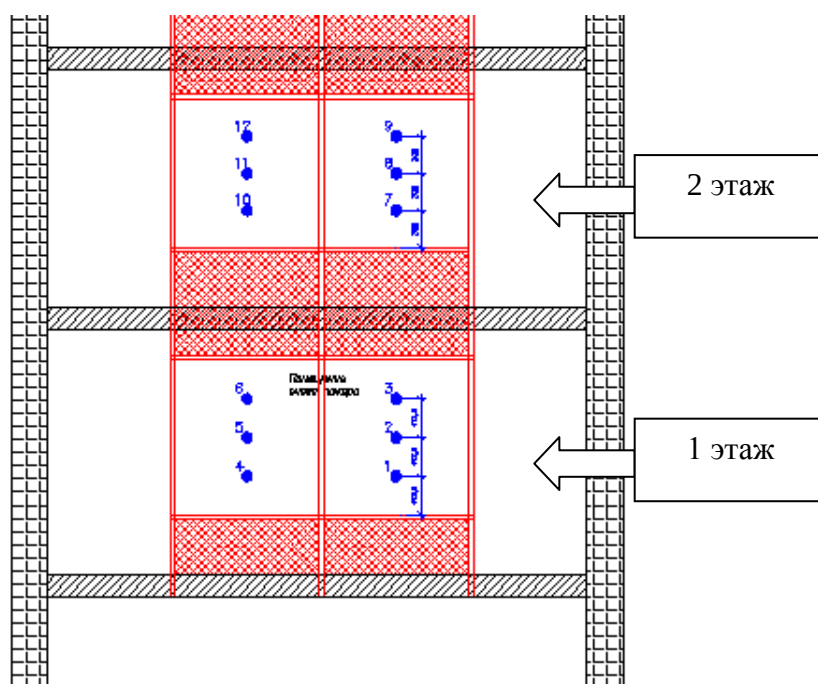


Рисунок 3.9 – Схема расстановки термопар на стеклах стеклопакета

Для измерения скорости воздушных потоков, восходящих по вертикали стены здания, применяются два блока из датчиков скорости и температуры газовой среды, модель блока Сивионик, производства компании ООО «СИТИС Спрут». Блоки измерения скорости ветра устанавливаются на уровне перекрытия второго и третьего этажей, согласно рисунку 3.10.

В процессе всего периода испытаний с интервалом в 15 минут фиксируется температура окружающей среды, направление и скорость ветра с четырех сторон здания.

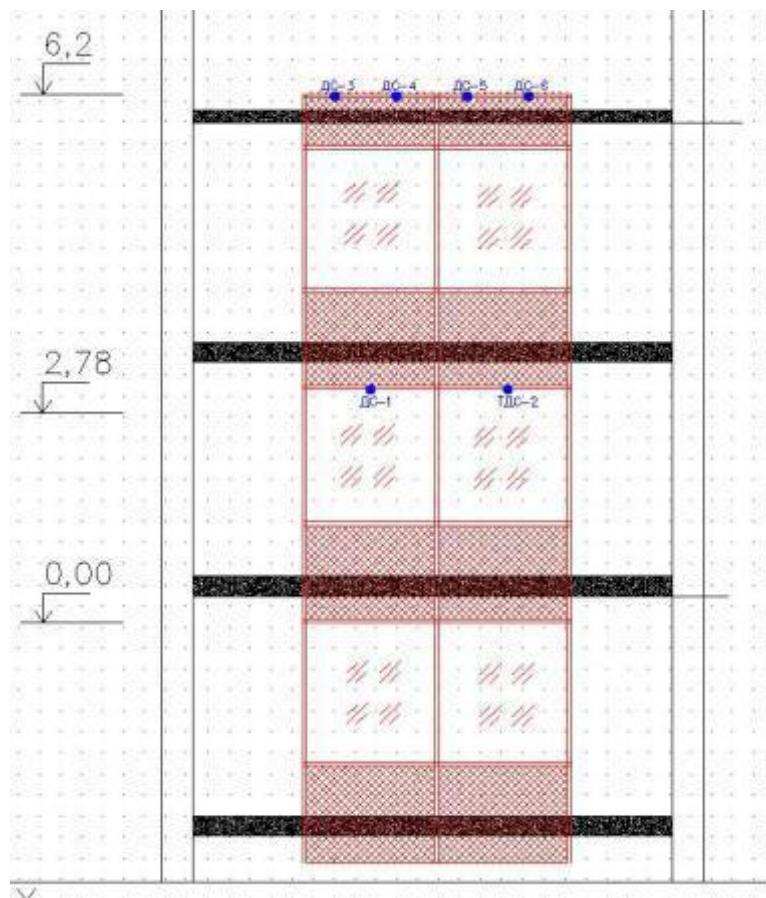


Рисунок 3.10 – Схема установки датчиков скорости ветровых потоков

Особые условия испытаний:

- 1) для исключения начальной стадии пожара, в качестве первичного источника пожара принимается очаг площадью проекции $0,75 \text{ м}^2$, размещаемый в центре помещения;
- 2) для розжига используется 1 л керосина, которым смачивается очаг пожара;

3) температура окружающей среды, направление и скорость ветра фиксируются с интервалом в 15 минут;

4) визуально оценивается и протоколируется время разрушения каждого листа стеклопакетов фасада. В ходе испытаний визуально оценивается характер поведения светопрозрачного фасада здания.

5) команда на прекращение эксперимента подается через 1 час после начала эксперимента, либо при переходе пожара в стадию затухания.

Результаты испытания оформляются в виде протоколов и актов испытания.

3.2 Результаты испытания и их анализ

Теоретические исследования показали, что пожары в высотных зданиях могут распространяться с наружной стороны фасада. В целях получения экспериментальных данных, позволяющих прогнозировать воздействие пожара на светопрозрачные конструкции фасадов зданий и оценить их устойчивость в условиях пожара, было подготовлено и проведено натурное огневое испытание.

Исследовалась устойчивость навесной светопрозрачной стены производства компании ООО «ФОТОТЕХ», на базе профильной системы ALT F50 с глухим междуэтажным поясом высотой 1,2 м и светопрозрачным заполнением стеклопакетами из листового стекла (формула стеклопакета 6+12+4+12+6). Глухой междуэтажный пояс выполнен в соответствии с альбомами технических решений компании АЛЮТЕХ.

В ходе испытания определялись следующие величины и параметры: критерии разрушения стеклопакетов при внутреннем и наружном пожаре; влияние площади оконного проема на размер пламени и высоту температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада; температура и мощность тепловых потоков, создаваемых в непосредственной близости от светопрозрачного заполнения внутри помещения, расположенного над помещением очага пожара; влияние ветровых (конвективных) потоков, направленных вдоль фасада здания на размеры температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада.

Результаты испытания

Соответствие проведенного испытания разработанной программе и методике подтверждается комиссией присутствующей на испытании (приложение Б). Комиссия отмечает, что испытание выполнено на высоком научно-техническом уровне. Полученные результаты обладают научной новизной, направление исследований актуально и требует дополнительных исследований по оценке способов защиты светопрозрачных фасадов в условиях пожара.

Результаты измерений и визуальные наблюдения представлены в протоколе испытаний (приложение В).

Факторы внешней среды во время испытаний.

Скорость воздушных потоков вдоль плоскости фасада, определяемая на уровне светопрозрачного заполнения первого этажа, составляла 3 м/с.

Температура окружающей среды в ходе всего испытания была в пределах 5,9–7,3 °С, скорость ветра не превышала 0,6 м/с.

Результаты измерений контролируемых параметров.

Результаты измерений среднеобъемной температуры пожара представлены на рисунке 3.11. Аппроксимируя полученные результаты, представим их в виде линейной зависимости, с некоторым коэффициентом достоверности R^2 .

Рост температуры внутри помещения во времени:

$$T = 25,3t + T_n; R^2 = 0,97 \quad (3.1)$$

где T – температура, °С; t – время, мин; T_n – начальная температура, °С;

Поведение стеклопакета при нарастающей динамике пожара было следующим: первые трещины на внутреннем стекле появились на 8 минуте, на 11 минуте появляются трещины на втором стекле, а на 16 минуте происходит выпадение фрагментов внутреннего стекла и появляется трещина на наружном стекле, на 25 минуте трещина расходится по всей ширине стекла и из нее начинает проникать дым, на 33 минуте происходит выпадение фрагментов наружного стекла (размер фрагментов 5×5 см), а на 38 минуте выпадает фрагмент стекла, образуя сквозное отверстие площадью 0,5 м², через которое происходит выброс пламени наружу. Разрушение стеклопакета оконного заполнения

произошло при достижении среднеобъемной температуры внутри помещения очага пожара 830 °С.

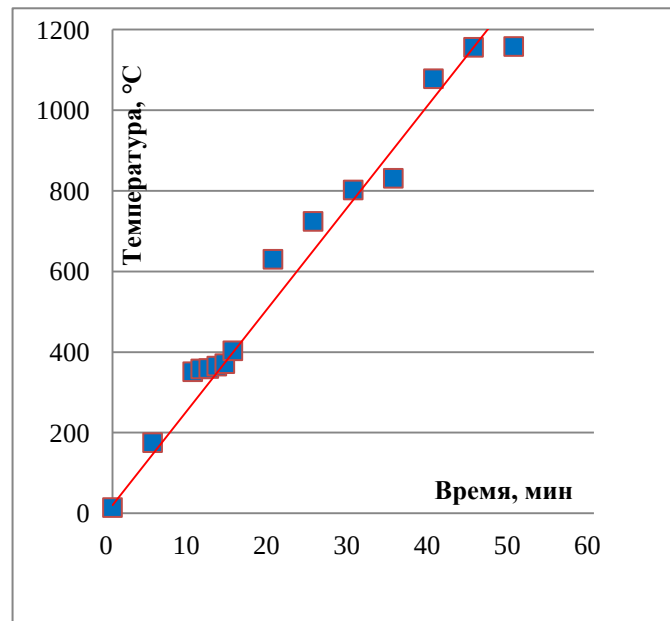


Рисунок 3.11 – Параметры развития пожара: температурный режим

Анализ динамики роста температурных полей вдоль плоскости фасада начинается с момента выхода пламени из помещения очага пожара наружу. Результаты измерения значений температур, распределенных по высоте вдоль плоскости фасада с течением времени представлены в протоколе (приложении Г).

Анализ видеоряда позволил установить характер поведения стеклопакета после выхода пламени на фасад здания. В результате резкого роста температуры вдоль плоскости фасада стеклопакеты фасада начинают разрушаться уже через четыре минуты после выхода пламени наружу. Так, на 41 минуте разрушается наружное закаленное стекло междуэтажного пояса, на 42 минуте наружное стекло второго этажа трескается по всей ширине, на 43 минуте наружное стекло второго этажа разрушается и выпадает, а на 45 минуте стеклопакет второго этажа разрушается полностью, образуется сквозной проем, через который пожар переходит на второй этаж. На втором этаже загорается ситцевая занавеска, размещенная на расстоянии 200 мм от плоскости оконного проема.

Проведенный эксперимент позволил установить существенные различия в характере поведения светопрозрачных конструкций при тепловом воздействии от пожара, развивающегося внутри помещения и пожара, выходящего из оконного

проема, в период максимального развития пожара. В период максимального развития пожара пламя, выходящее наружу, имеет высокий импульс воздействия на фасад здания. Температура и тепловой поток уже на выходе имеют критические для светопрозрачных конструкций значения, что приводит к динамичному нагреву стеклопакетов, их разрушению и переходу пламени на вышележащие этажи.

Установлено, что высота пламени пожара в ходе эксперимента составила 3 м, в отдельные непродолжительные моменты выброс пламени фиксировался на уровне 5 м (рисунок 3.12).

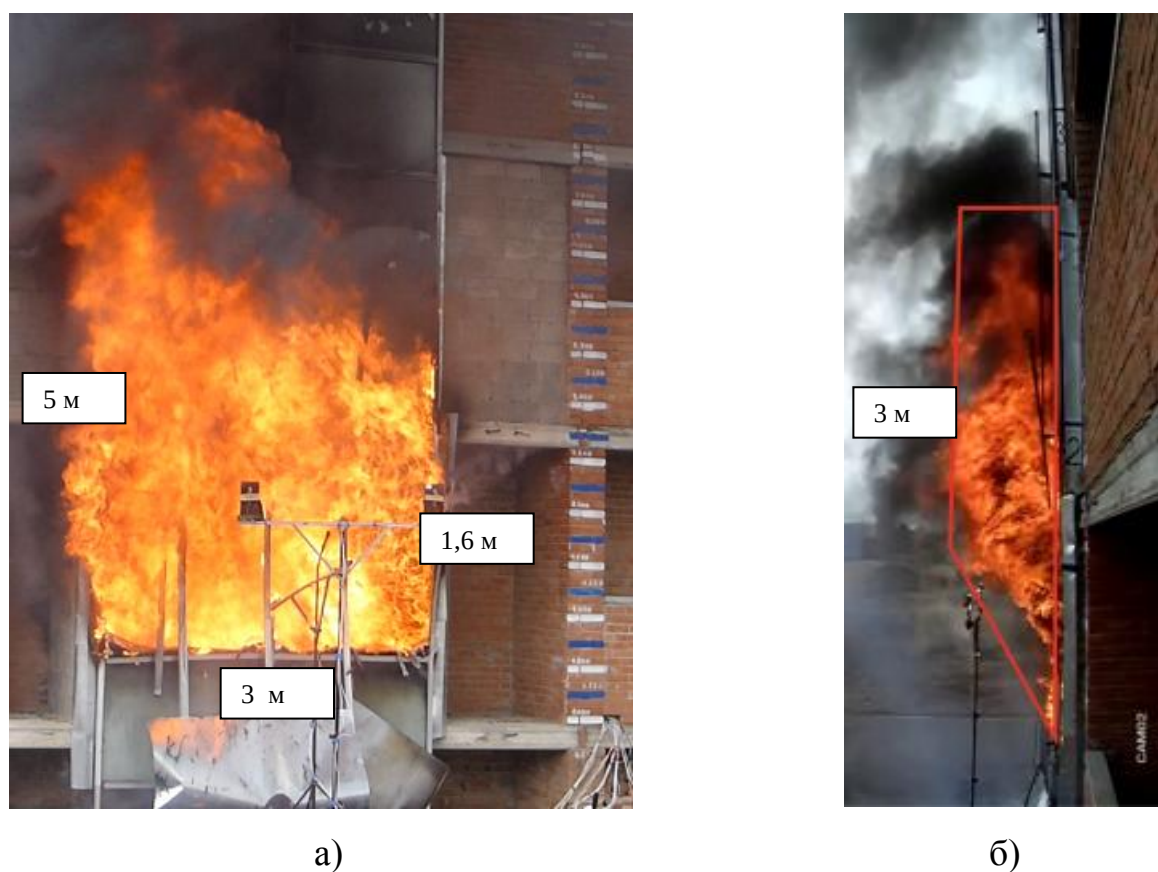


Рисунок 3.12 – Характерные размеры пламени при выходе из проема $3 \times 1,6$ м:
а) максимальный выброс 5 м; б) стабильное пламя на уровне 3 м

По результатам измерений температурных полей, распределяемых вдоль плоскости фасада здания, установлено, что температура в районе оконного заполнения второго этажа изменяется от 600 до 650 °C (рисунок 3.13).

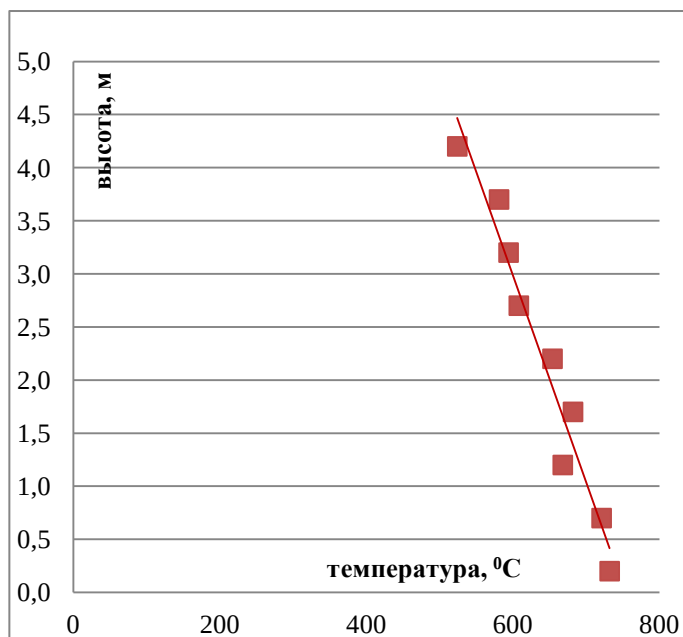


Рисунок 3.13 – Распределение температуры вдоль плоскости фасада при выходе пламени наружу в период максимального развития пожара

После выхода пламени через оконный проем первого этажа началось интенсивное температурное воздействие на светопрозрачное заполнение второго этажа, что привело к его полному разрушению уже через семь минут температурного воздействия. Динамика нарастания температуры в зоне воздействия на стеклопакет второго этажа представлена в таблице 3.1. Аппроксимируя полученные значения температуры по времени получим функцию критического нагрева стеклопакета при наружном температурном воздействии (рисунок 3.14). Согласно полученным данным, температурный режим пожара, выраженный зависимостью (3.2) и обеспечивающий в течение пяти минут нарастание температуры в зоне воздействия на стеклопакет температуры 650 °C, будет являться критическим для стеклопакета, выполненного из обычного листового стекла.

Таблица 3.1 – Динамика нарастания температуры в зоне воздействия на стеклопакет

Время воздействия, мин	0	1	2	3	4	5	6	7
Температура, °C	10	320	395	536	620	645	662	682

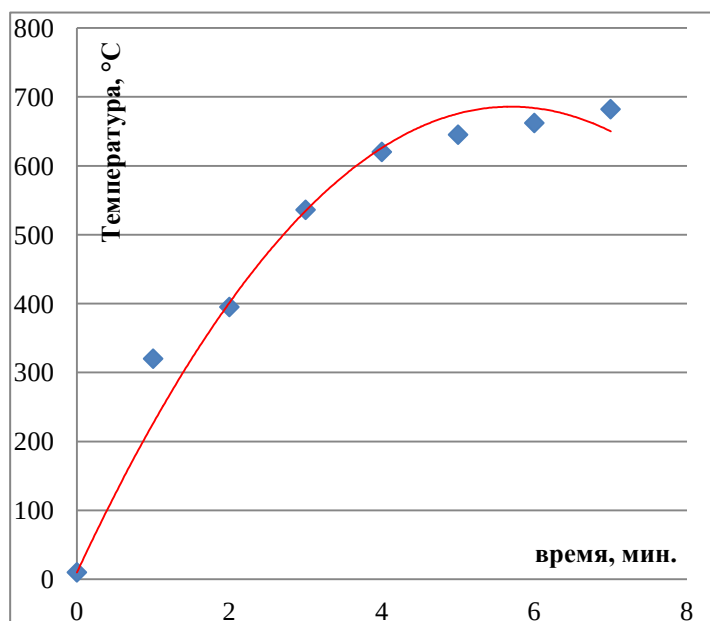


Рисунок 3.14 – Критическая зависимость роста температуры в зоне воздействия на светопрозрачную конструкцию

$$T = 237,5 \tau - 20,9 \tau^2 + T_n; R^2 = 0,97, \quad (3.2)$$

где T – температура в области оконного заполнения, °C; τ – время, мин; T_n – температура окружающей среды, °C.

Анализ результатов измерений позволил установить, что величина температурных полей зависит от площади проема, через который пламя пожара выходит на фасад здания. В таблице 3.2 представлены максимальные температурные поля при различной площади проема, через который выходит пламя пожара.

Таблица 3.2 – Характер изменения температурных полей в зависимости от площади проема

Высота, м	Температура, °C, при площади, м ²		
	$S = 0,5$	$S = 1,8$	$S = 5,1$
0,20	503	548	732
0,70	545	627	721
1,20	510	570	668
1,70	395	536	682
2,20	386	589	654
2,70	336	501	608
3,20	316	475	594
3,70	253	432	581
4,20	262	421	524

Для практического применения данные таблицы 3.2 представим в виде изотерм (рисунок 3.15), наглядно показывающие характер распределения температурных полей вдоль плоскости фасада при различных проемах для выхода пламени.

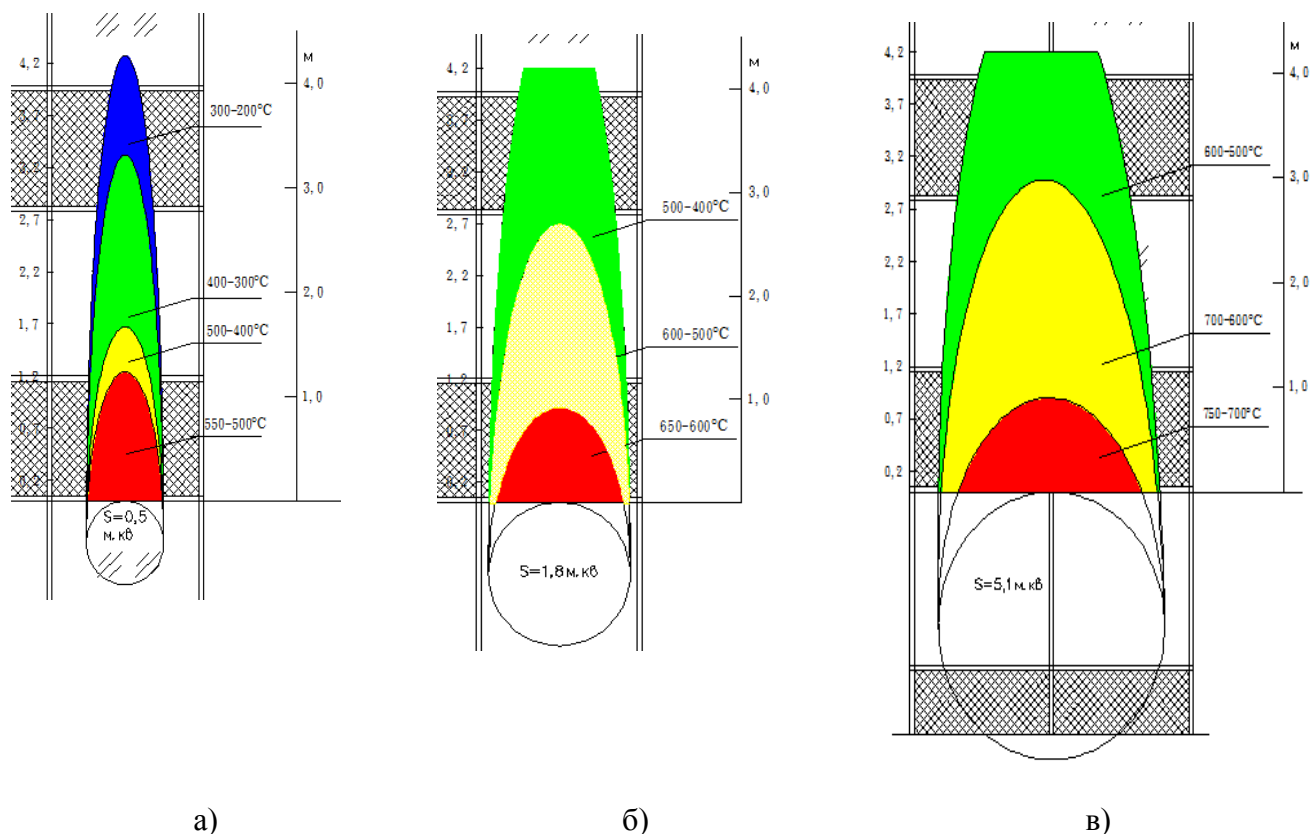


Рисунок 3.15 – Поля температур вдоль плоскости фасада здания при различных площадях разрушения оконного проема на этаже пожара: а) $0,5 \text{ м}^2$; б) $1,8 \text{ м}^2$; в) $5,1 \text{ м}^2$

Результаты измерений динамики прогрева стеклопакетов представлены в приложении Д. На рисунках 3.16–3.17 представлены зависимости, характеризующие скорость прогрева стеклопакетов при развивающемся пожаре в помещении (рисунок 3.16) и при резком нагреве от развитого пожара, вышедшего наружу (рисунок 3.17). Данные результаты подтверждают, что главным критерием разрушения стекла является динамика его нагрева.

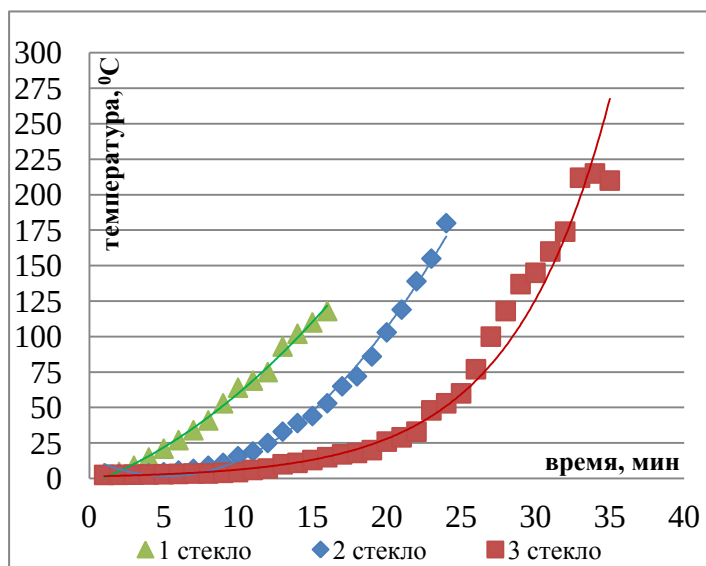


Рисунок 3.16 – Прогрев стеклопакета оконного заполнения фасада здания при развивающемся пожаре внутри помещения

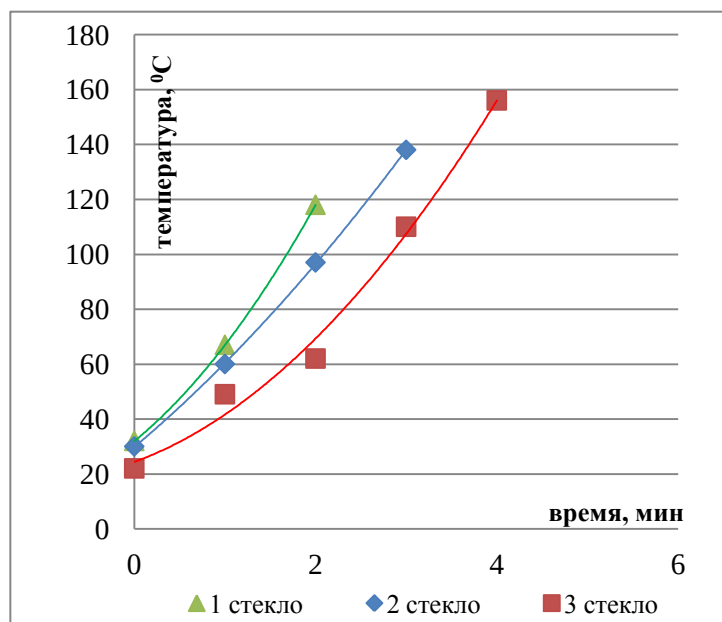


Рисунок 3.17 – Прогрев стеклопакета оконного заполнения фасада здания при развитии пожара, вышедшем наружу

При плавном нарастании среднеобъемной температуры в помещении очага пожара потеря устойчивости стеклопакета произошла при достижении среднеобъемной температуры 830 °C через 37 минут, в то же время при резком тепловом воздействии, создавшем через 5 минут в зоне стеклопакета температуру 650 °C, потеря устойчивости стеклопакета наступила через 7 минут.

При этом критерием разрушения листового стекла можно считать достижение им температуры 120 °C.

Результаты измерений динамики изменения скорости конвективных ветровых потоков, направленных вдоль плоскости фасада здания, изложены в приложении Е. На рисунке 3.18 наглядно представлена динамика роста скорости конвективных потоков на различных высотах с течением времени.

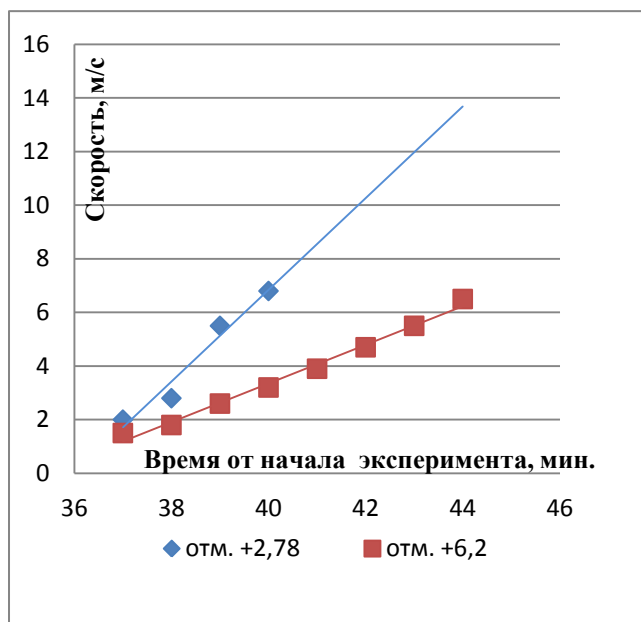


Рисунок 3.18 – Динамика изменения скоростей конвективных потоков вдоль фасада

На рисунке 3.19 представлен общий вид светопрозрачного фасада после испытаний. По характеру повреждений можно сделать вывод о неспособности междуэтажного пояса обеспечивать устойчивость светопрозрачного фасада в условиях реального пожара и препятствовать распространению пожара на вышележащие этажи. Данное обстоятельство требует дополнительных мероприятий, направленных на ограничение распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания.

Для обоснования и оценки эффективности средств и способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду необходима подготовка и проведение дополнительных исследований, в том числе с проведением огневого эксперимента.



Рисунок 3.19 – Общий вид светопрозрачного фасада после испытаний

Проведенный эксперимент позволил установить существенные различия в характере поведения светопрозрачных конструкций при развивающемся пожаре и резком воздействии на стеклопакет развитого пожара, вышедшего наружу. В отличие от внутреннего, пожар, вышедший наружу, имеет высокий импульс воздействия на фасад здания. Температура и тепловой поток уже на выходе имеют критические для светопрозрачных конструкций значения, что приводит к динамичному нагреву стеклопакетов, их разрушению и переходу пламени на вышележащие этажи.

В испытаниях, проводимых другими учеными, не оценивалось шоковое воздействие пламени на светопрозрачные конструкции. Данный факт является главным критерием, который требуется учитывать при разработке нового метода оценки устойчивости светопрозрачных конструкций при пожаре.

Достоверность теоретического расчета с учетом влияния вертикально направленного ветрового потока на высоту пламени и зону температурных полей вдоль плоскости фасада определяется по результатам сравнительного расчета теоретических и экспериментальных данных.

3.3 Достоверность теоретических данных и методики расчета устойчивости светопрозрачного фасада здания

Выполненный в разделе 2.5 настоящей работы расчет температурных полей вдоль плоскости фасада значительно отличается от результатов, полученных в ходе натурного эксперимента. В таблице 3.3 приводится сравнение полученных результатов.

Таблица 3.3 – Данные по теоретической и фактической температуре

Высота, м	Температура теоретическая, °С	Температура фактическая, °С
1,2	632,6	668
1,7	559,3	682
2,2	485	654

Данные теоретического расчета имеют допустимую сходимость с результатами эксперимента только на уровне 1,2 м, с увеличением высоты расхождение результатов значительно. Очевидно, что обусловлено это влиянием вертикально направленного конвективного потока поднимающего температурные поля на большую высоту.

Результаты, полученные в ходе настоящего огневого эксперимента, позволяют определить эмпирические зависимости для проведения практических расчетов распределения температурных полей при пожаре вдоль плоскости фасада в высотных жилых зданиях.

Для применения в теоретических расчетах определим зависимость температуры $T_{\max}$ на высоте h вдоль плоскости фасада здания от среднеобъемной температуры пожара.

На рисунке 3.20 представлена аппроксимация полученных температурных полей в зависимости от высоты и коэффициента корреляции среднеобъемной температуры в помещении очага пожара и температуры вдоль плоскости фасада.

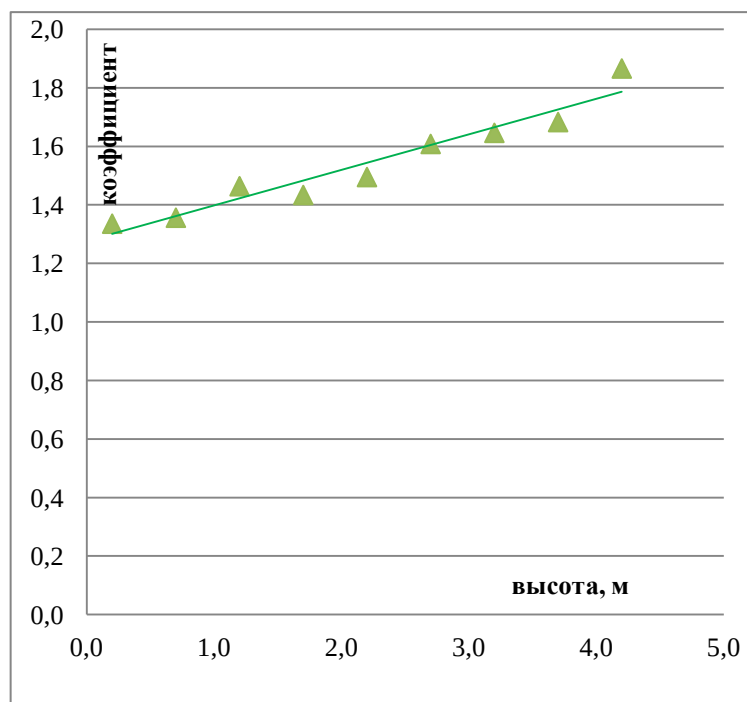


Рисунок 3.20 – Коэффициент распределения температурного потока по высоте

Получена зависимость коэффициента распределения температурного потока по высоте здания – K , с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,93$ (3.3). Данная зависимость справедлива для высоты от 0 до 5 м.

$$K = 0,12h + 1,3, \quad (3.3)$$

где h – высота вдоль плоскости фасада относительно верхнего среза оконного проема, м.

Зная среднеобъемную температуру внутри помещения очага пожара в жилом высотном здании, можно установить температурное поле, формируемое выходящим пламенем вдоль плоскости фасада, по формуле:

$$T_h = \frac{T_{\text{ср}}}{0,12h + 1,3} \quad (3.4)$$

где T_h – температура вдоль плоскости фасада на высоте h , °C, $T_{\text{ср}}$ – среднеобъемная температура внутри помещения очага пожара, °C

Значения, получаемые по формуле (3.4), справедливы при скорости внешнего конвективного потока не более 5 м/с.

В целях определения допустимости применения предложенных эмпирических зависимостей в практических расчетах выполним проверочный

расчет распределения температурных полей вдоль плоскости фасада. Алгоритм расчета определен в разделе 2.4 настоящей работы (рисунок 2.2).

Расчет:

$$1. \Pi = \frac{\sum A_i \sqrt{h_i}}{\sqrt[3]{V^2}} = 0,33$$

$$2. q_{уд} = \frac{\sum m_i Q_i}{(F_{общ} - A_{общ}) Q_{др}} = 14,43 \text{ кг/м}^2$$

$$3. q_{кр} = \frac{\sqrt[3]{V}}{6V_B} + \frac{4500\Pi^3}{1+500\Pi^3} = 8,52 \text{ кг/м}^2$$

$$4. q_{уд} > q_{кр} \rightarrow \text{ПРВ}$$

$$5. T_{max} = T_0 + 940 \cdot e^{(0,047 q_{уд}^{\Pi} - 0,141)} = 1336,2 \text{ К} = 1063,2^{\circ}\text{C}$$

$$6. \text{Температура на высоте 1,2 м: } T_h = \frac{T_{ср}}{0,12h+1,3} = \frac{1063,2}{0,12 \cdot 1,2+1,3} = 736^{\circ}\text{C}$$

$$7. \text{Температура на высоте 1,7 м: } T_h = \frac{T_{ср}}{0,12h+1,3} = \frac{1063,2}{0,12 \cdot 1,7+1,3} = 706^{\circ}\text{C}$$

$$8. \text{Температура на высоте 2,2 м: } T_h = \frac{T_{ср}}{0,12h+1,3} = \frac{1063,2}{0,12 \cdot 1,7+1,3} = 679^{\circ}\text{C}$$

Расхождение результатов теоретического расчета с результатами, полученными в ходе эксперимента, составляет на 1,2 м – 10%, на 1,7 м – 3,5%, на 2,2 м – 3,8%. Это подтверждает возможность использования зависимостей (3.4)–(3.6) в практических расчетах для высотных жилых зданий при наличии вертикально направленного конвективного потока до 5 м/с. Область применения настоящих зависимостей ограничивается возможностью определения температурных полей на высоте до 5 метров от верхнего края оконного проема этажа пожара и максимальной площади разрушения оконного проема более $1,82 \text{ м}^2$.

3.4 Выводы по результатам натурного огневого испытания

1. Междуетажный пояс высотой 1,2 м не способен препятствовать распространению пожара на вышележащие этажи при площади разрушения оконного проема более $1,82 \text{ м}^2$ (светопрозрачное заполнение второго этажа разрушено, тканевые шторы, размещенные у окна, воспламенились).

2. Потеря устойчивости стеклопакета, размером $1551 \times 1676 \text{ мм}$, выполненного из листового стекла по формуле $6+12+4+12+6$ при внутреннем пожаре наступила через 33 мин. Критериями разрушения стеклопакета при внутреннем пожаре является среднеобъемная температура, равная 830°C (рисунок 3.11).

3. Потеря устойчивости светопрозрачного заполнения над этажом пожара наступила через 5 минут воздействия пламени (43 минута испытания). Критическим режимом нагрева стеклопакета является режим, выраженный зависимостью (3.3), обеспечивающий в течение 5 минут температуру в зоне воздействия на стеклопакет 650°C .

4. Установлено, что при разрушении светопрозрачного оконного заполнения площадью $4,8 \text{ м}^2$ и внешнем вертикальном воздушном потоке скоростью 3 м/с, высота пламени пожара, вышедшего на фасад здания, достигает 3 м, а максимальная температура в области светопрозрачного заполнения второго этажа распределяется от 550 до 650°C .

5. Установлена зависимость (3.5) для определения температуры T_h на высоте h от среднеобъемной температуры пожара для жилых высотных зданий.

6. Также установлено, что закаленное стекло не способно выдерживать резкого нагрева. Закаленные стекла размером $1551 \times 1126 \text{ мм}$, толщиной 4 мм разрушились при трехминутном нагреве температурой от 500 до 700°C .

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЛОЩАДИ ОКОННОГО ПРОЕМА НА ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ФАСАДУ

4.1 Методика натурного огневого испытания по оценке эффективности средств и способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий

По результатам проведенного натурного огневого испытания, направленного на определение устойчивости при пожаре светопрозрачного фасада высотного здания (результаты испытания представлены в главе 3 настоящей работы) установлено, что конвективный поток, возникающий вдоль плоскости фасада здания, увеличивает высоту пламени, выходящего из горящего помещения, до 3 метров. При этом применяемый в фасадном остеклении огнестойкий междуэтажный пояс высотой 1,2 м не способен предотвратить распространение пожара по светопрозрачным фасадам высотных зданий, что подтверждается результатами проведенного испытания. Это обстоятельство требует поиска новых технических решений, направленных на ограничение распространения пожара по фасаду здания.

Анализ известных способов ограничения распространения пожаров по светопрозрачным фасадам зданий указывает на необходимость поиска новых технических решений, отвечающих требованиям архитектуры и условиям безопасности высотных зданий, представляющих собой объекты повышенной опасности.

Механизм распространения пожара по светопрозрачному фасаду заключается в выходе пламени на фасад здания и его разрушающем воздействии на светопрозрачные конструкции вышележащего этажа. Для сохранения целостности светопрозрачных конструкций необходимо: предусмотреть стеклопакеты, имеющие критерий разрушения, превышающий ожидаемые температурные и тепловые воздействия от пожара, либо снизить температурные поля в зоне светопрозрачного заполнения над этажом пожара.

В работе [68] установлено, что на высоту и температуру пламени, выходящего из окна, оказывает влияние площадь оконного проема. Очевидно, что уменьшение площади оконного проема способствует снижению высоты пламени, его температурных полей и, как следствие, предотвращению разрушения оконного заполнения вышележащего этажа и ограничению распространения пожара по фасаду здания. Следовательно, определив технически надежный и эффективный способ, реализующий снижение площади оконного проема при пожаре, можно решить задачу предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду высотного здания.

Эффективность найденного способа предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания можно определить только в условиях натурального огневого испытания.

С целью оценки эффективности предлагаемого способа предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий (далее – способ предотвращения пожара) была разработана методика натурального огневого испытания, учитывающая следующие положения:

1) условия развития пожара должны быть максимально приближены к условиям, реализуемым в предыдущем натурном испытании;

2) для оценки эффективности рассматриваемого способа необходимо разработать техническое решение, позволяющее при пожаре уменьшить площадь оконного проема, одновременно увеличить высоту междуэтажного пояса и снизить высоту пламени, выходящего из оконного проема, и температуру в области светопрозрачного заполнения вышележащего этажа.

Методика проведения натурального огневого испытания по оценке эффективности средств и способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий.

Целью испытания является определение степени влияния площади оконного проема на высоту пламени вдоль плоскости фасада здания.

В ходе испытания необходимо решить следующие задачи:

- 1) определить скорость прогрева стеклопакета и критическую температуру, при которой происходит разрушение листового стекла и потеря целостности стеклопакета в целом;
- 2) определить распределение температурных полей вдоль плоскости фасада при различной площади оконных проемов горящего помещения;
- 3) определить влияние площади оконного проема на пожароустойчивость светопрозрачной конструкции фасада.

Описание технического решения, позволяющего при пожаре уменьшить площадь оконного проема, одновременно увеличить высоту междуэтажного пояса и снизить высоту пламени, выходящего из оконного проема, и температуру в области светопрозрачного заполнения вышележащего этажа.

В качестве модели технического решения предлагается применение защитного экрана из негорящего материала, опускающегося при пожаре под действием собственной силы тяжести до уровня, необходимого для ограничения дальнейшего распространения пожара. Принцип действия защитного экрана показан на рисунке 4.1. Защитный экран устанавливается в исходном положении «закрыто» на конструкцию ригеля светопрозрачного фасада, при этом удержание экрана осуществляется термоплавкими замками. При возникновении пожара термоплавкие замки разрушаются, позволяя защитному экрану опуститься в положение «открыто».

Указанная модель технического решения по снижению площади оконного проема не может быть отнесена к объемно-планировочным решениям здания, а является инженерно-техническим устройством, направленным на повышение уровня пожарной безопасности высотных зданий.

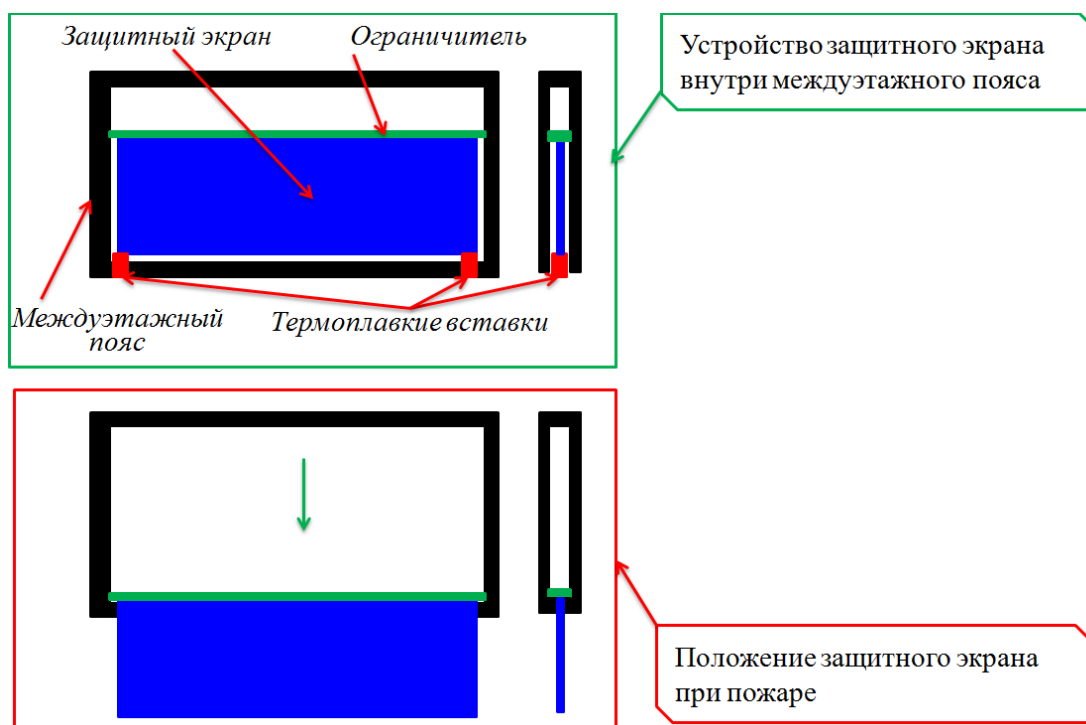


Рисунок 4.1 – Принципиальная модель защитного экрана

Подготовка и проведение испытания

Испытание проведено на пятиэтажном здании, расположенном на территории испытательного полигона Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Описание параметров здания представлено в главе 3 настоящей работы.

Огневому воздействию подлежит фрагмент навесной светопрозрачной стены, выполненной на три этажа здания, общей высотой 9125 мм, шириной 3200 мм, в местах примыкания стены к перекрытиям здания предусмотрены глухие огнестойкие междуэтажные пояса высотой 1,2 м, выполненные в соответствии с альбомами технических решений компании АЛЮТЕХ. Оконные остекления стены выполнены стеклопакетами из листового стекла (формула стеклопакета 6+12+4+12+6). Светопрозрачная стена запроектирована и изготовлена компанией ООО «ФОТОТЕХ».

Для достижения целей и задач натурного огневого испытания выполняется монтаж защитного экрана из негорючего материала. Для реализации условий работы предложенной модели защитного экрана вплотную к оконному ригелю светопрозрачной навесной стены по всей его длине монтируется защитный экран,

выполненный из стального оцинкованного листа металла толщиной 0,7 мм, шириной равной ширине оконного проема, высотой 1 м, обеспечивающий перекрытие $\frac{2}{3}$ высоты окна. Принципиальная схема установки защитного экрана представлена на рисунке 4.2.

Для сохранения устойчивости защитного экрана на протяжении всего периода испытаний необходимо:

- по высоте экрана выполнить ребра жесткости (не менее 3 шт.);
- крепление экрана осуществить с помощью металлических шарниров к специально изготовленному и закрепленному на кирпичной стене здания несущему каркасу. Несущий каркас выполнить из профилированной стальной трубы сечением 40×40 мм, с толщиной стенки 6 мм.

Удержание защитного экрана в открытом положении и перевод его в рабочее положение осуществляется дистанционно при помощи тросового соединения.

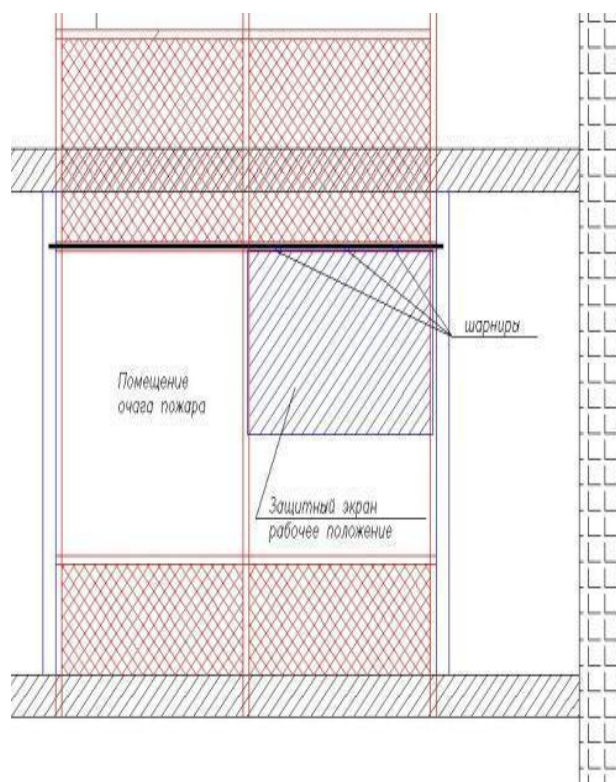


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема установки защитного экрана

Общий вид светопрозрачного фасада с защитным экраном представлен на рисунке 4.3. Технические параметры стены соответствуют параметрам стены, подвергаемой испытанию, представленному в главе 3 настоящей работы.



Рисунок 4.3 – Общий вид светопрозрачного фасада с защитным экраном

Для реализации условий развития пожара, максимально приближенных к условиям натурного огневого испытания, результаты которого представлены в главе 3, настоящей работы, в помещении первого этажа площадью 33 м² размещается горючая нагрузка, в виде древесины, соответствующая параметрам и способу размещения горючей нагрузки, представленным в разделе 3.1 настоящей работы. Характер распределения горючей нагрузки отражает условия размещения мебели и предметов интерьера в жилых помещениях. Общий вид размещения горючей нагрузки представлен на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Общий вид размещения горючей нагрузки

Воздухообмен в помещении очага пожара во время горения обеспечивается следующим образом:

- приток воздуха осуществляется через дверной проем, соединенный с лестничной клеткой, имеющей выход непосредственно на улицу. Дверной проем зафиксирован в максимально открытом положении;
- выброс продуктов горения организован через шахту дымоудаления размером 300×400 мм, дымоприемное устройство расположено в перекрытии первого этажа.

Вдоль плоскости фасада создается вертикально направленный воздушный поток, формируемый вентиляционной установкой, выполненной в соответствии с положениями раздела 3.1 (рисунок 3.4), и обеспечивающей скорость воздушного потока на уровне оконного проема первого этажа 3 м/с.

Средства и способы измерения контролируемых параметров.

В соответствии с задачами испытания необходимо осуществить сбор данных, позволяющих оценить эффективность исследуемого способа ограничения распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания.

При испытаниях контролируются следующие величины и параметры:

- среднеобъемная температура внутри помещения при пожаре;

- распределение температурных полей вдоль фасада здания;
- высота пламени, выходящего с этажа пожара;
- динамика прогрева стеклопакета (определяется температура на наружном стекле стеклопакета);
- температура наружного воздуха;
- направление и скорость ветра в ходе испытаний;
- осуществляется видеозапись процесса развития пожара снаружи здания;
- по окончании эксперимента оцениваются последствия воздействия пожара на конструкции фасада, характер и размеры зон повреждения.

Среднеобъемная температура определяется как среднеарифметическое значение параметров температуры, полученных от термопар, расставленных в 12 точках помещения, согласно схеме измерения, представленной на рисунке 3.6 главы 3 настоящей работы. Тип термопар и способ записи контролируемых параметров изложены в разделе 3.1 настоящей работы.

Для получения сведений о значениях температурных полей, формируемых пламенем пожара вдоль плоскости фасада, осуществляется расстановка термопар по вертикали здания с внешней стороны в соответствии с рисунком 4.5. Расстояние от плоскости фасада до термочувствительного элемента датчика – 150 мм.

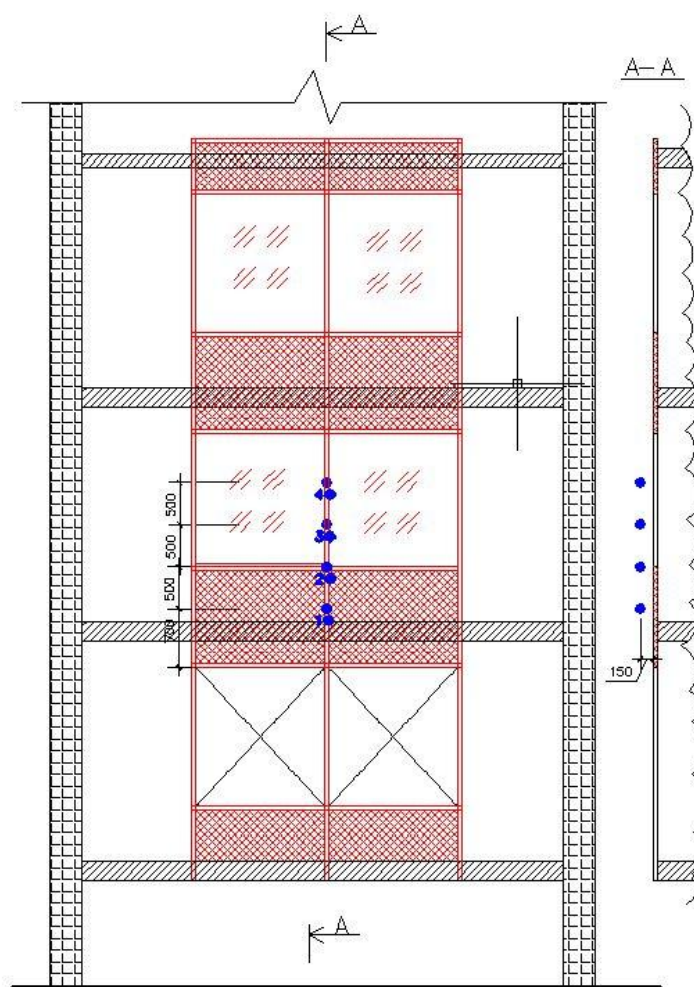


Рисунок 4.5 – Схема расстановки термопар снаружи здания по вертикали фасада

Для измерения высоты пламени, вырывающегося с этажа пожара, на внешней стороне фасада нанесена линейка от 0 до 6 м. За нулевую отметку принят верхний край светопрозрачного заполнения первого этажа. При проведении эксперимента осуществляется видеофиксация с фронтальной стороны фасада.

Для получения данных о динамике прогрева стеклопакета на этаже пожара необходимо осуществить измерение температуры на необогреваемой стороне наружного стекла стеклопакета. Схема расстановки термопар представлена на рисунке 4.6.

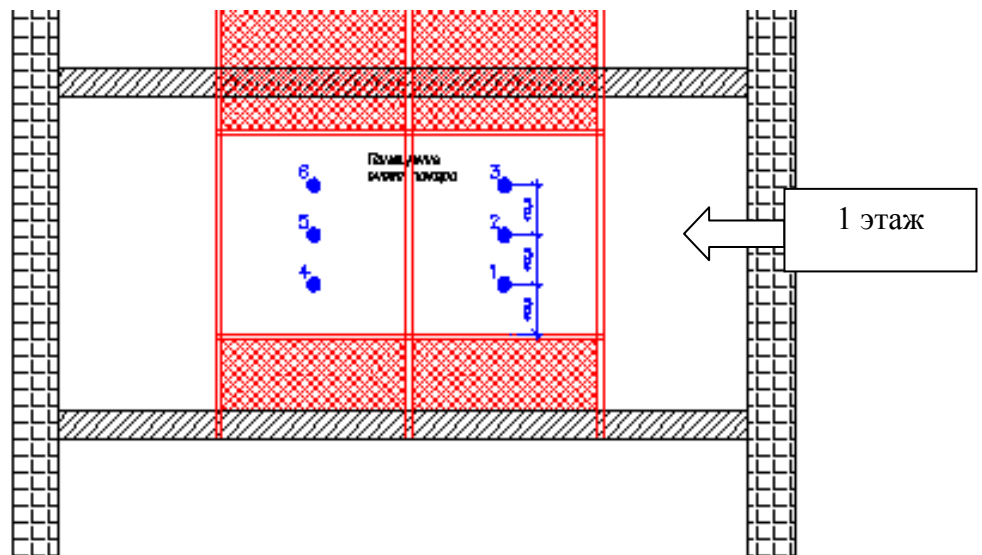


Рисунок 4.6 – Схема расстановки термопар на наружном стекле стеклопакета

Для измерения температуры применяются термопары с диаметром электродов 0,75–1,2 мм, подключенные к измерителям-регуляторам ТРМ-138 производства компании «Овен», передающим показания на ПК. Интерфейс протокола компьютерной программы Owen Report Viewer, осуществляющей запись данных с ТРМ-138 на ПК, представлен на рисунке 4.7.

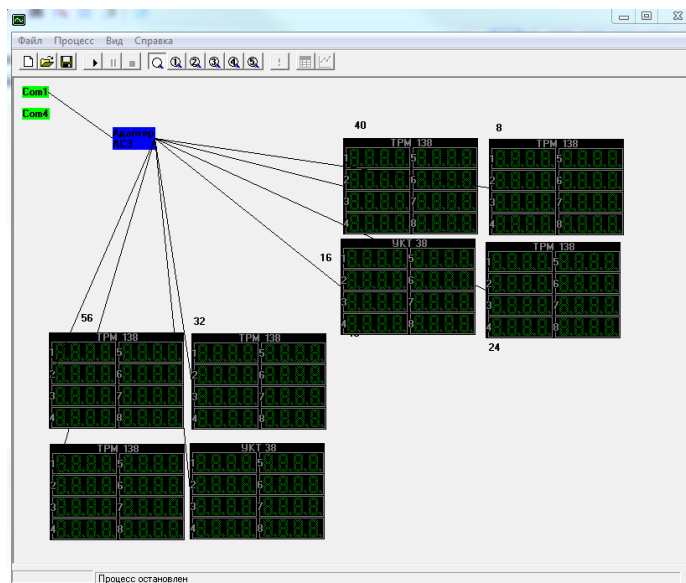


Рисунок 4.7 – Интерфейс протокола программы Owen Report Viewer

Особые условия испытаний

1) для исключения начальной стадии пожара, в качестве первичного источника пожара был принят очаг площадью проекции 0,75 м², размещаемый в центре помещения;

- 2) для розжига используется 1 л керосина, которым смачивается очаг пожара;
- 3) температура окружающей среды, направление и скорость ветра фиксируются с интервалом в 15 минут;
- 4) визуально оценивается и протоколируется время разрушения каждого листа стеклопакетов фасада. В ходе испытаний визуально оценивается характер поведения светопрозрачного фасада здания;
- 5) при разрушении стеклопакетов на этаже пожара и выходе пламени на фасад здания подается команда на опускание защитного экрана в рабочее положение в целях снижения площади проема на этаже пожара;
- 6) команда на прекращение эксперимента подается через 1 час после начала эксперимента либо при переходе пожара в стадию затухания.

Результаты испытания оформляются в виде протоколов и актов испытания.

4.2 Результаты испытания и их анализ

Натурное огневое испытание по исследованию устойчивости при пожаре светопрозрачных фасадов высотных жилых зданиях позволило установить характер развития пожара с внешней стороны здания. Испытание показало, что пламя пожара, выходящее из горящего помещения, под действием внешнего конвективного потока поднимается на высоту 3 м, разрушая оконное заполнение вышерасположенного этажа, вовлекая в пожар горючую нагрузку, расположенную на этаже.

Для снижения температурных полей, распределяемых вдоль плоскости фасада, и, как следствие, предотвращения распространения пожара по фасаду здания нами предложен новый способ и сформулирована модель технического устройства, основанная на принципе снижения площади оконного проема во время пожара. В целях оценки эффективности предложенного способа была разработана специальная программа и методика натурного огневого испытания (раздел 4.1 настоящей работы), в соответствии с которой подготовлен и проведен огневой эксперимент.

В ходе испытаний исследовалось влияние защитного экрана, снижающего площадь проема для выхода пламени, на устойчивость светопрозрачного фасада здания.

Для достижения поставленных целей и задач испытания определялись следующие величины и параметры: характер развития пожара внутри помещения; динамика нагрева и разрушения оконного заполнения на этаже пожара; влияние площади оконного проема на размер пламени и высоту температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада; направление и скорость ветра и конвективных потоков.

Результаты испытания

Соответствие проведенного испытания разработанной программе и методике подтверждается комиссией присутствующей на испытании (приложение Ж). Комиссия отмечает, что испытание выполнено на высоком научно-техническом уровне. Полученные результаты обладают научной новизной. Установлена необходимость разработки методик оценки средств и способов защиты от разрушения светопрозрачных конструкций с учетом условий их применения в зданиях. Установлено, что режим «стандартного пожара» не охватывает возможные тепловые воздействия, которые имеют место при реальных пожарах в высотных зданиях, при которых происходит разрушение светопрозрачных фасадных конструкций, что требует разработки нового метода (ГОСТа) по оценке пожароустойчивости фасадных светопрозрачных конструкций.

Описание визуального наблюдения поведения светопрозрачного фасада при огневом воздействии приведено в протоколе испытаний, представленном в приложении 3.

Факторы внешней среды во время испытаний.

Скорость воздушных потоков вдоль плоскости фасада, определяемая на уровне светопрозрачного заполнения первого этажа, составляла 3 м/с.

Температура окружающей среды в ходе всего испытания была в пределах 31,7–35,3 °С, скорость ветра изменялась от 2,8 до 4,8 м/с.

Результаты измерений контролируемых параметров.

Запись всех контролируемых параметров выполнена в память компьютера при помощи специальной программы Owen Report Viewer. Полученные результаты были обработаны путем отбора необходимых данных из протокола событий (рисунок 4.8) и представлены в приложениях к настоящей работе.

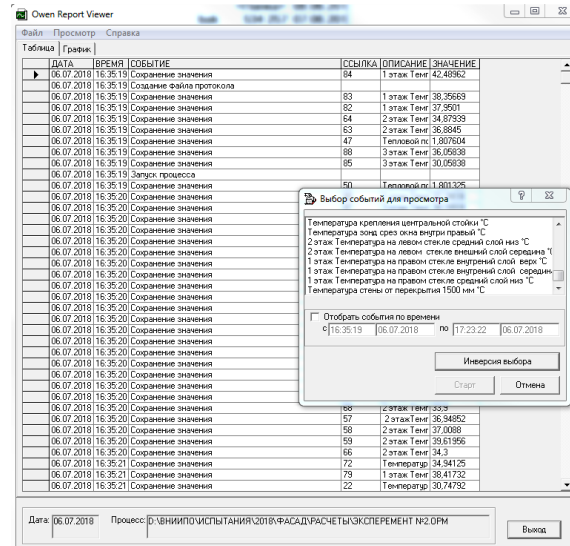


Рисунок 4.8 – Интерфейс протокола событий в программе Owen Report Viewer

Полученные результаты измерений среднеобъемной температуры пожара представлены на рисунке 4.9. Аппроксимируя полученные результаты, представим их в виде линейной зависимости с некоторым коэффициентом достоверности R^2 .

Рост температуры во времени:

$$T = 27,7t + T_n \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,94$$

где T – температура, °C, t – время, мин.

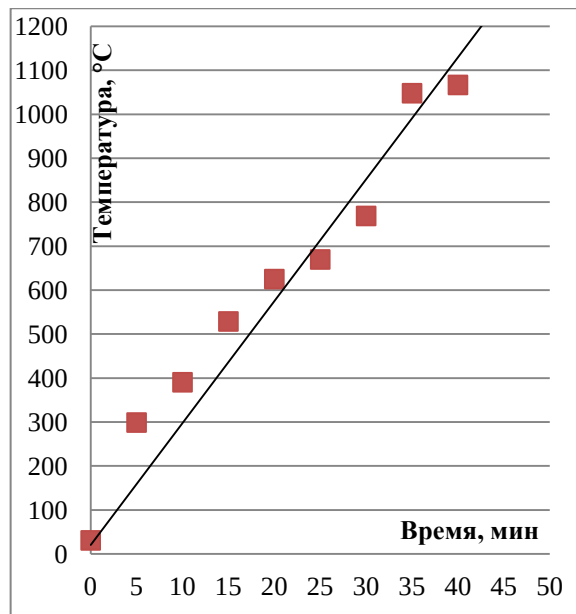


Рисунок 4.9 – Динамика роста среднеобъемной температуры пожара

Динамика роста среднеобъемной температуры во втором испытании обладает высокой сходимостью с динамикой роста температуры первого испытания. Результаты обоих натурных огневых испытаний позволяют делать обоснованные выводы о критериях разрушения двухкамерных стеклопакетов; значении среднеобъемной температуры пожара, при которой происходит потеря целостности оконного заполнения, выполненного в виде двухкамерного стеклопакета, а также о влиянии площади оконного проема на высоту температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада здания.

Поведение стеклопакетов при тепловом воздействии пожара во втором испытании было следующим: через семь минут от начала огневого воздействия на внутреннем стекле возникают первые трещины, на 12 минуте выпадают незначительные фрагменты первого стекла, и появляются трещины на втором стекле, на 14 минуте выпадают фрагменты второго стекла, на 19 минуте появляются трещины, а на 23 минуте начинают выпадать незначительные фрагменты наружного стекла, при этом пламя пожара не выходит наружу, на 34 минуте происходит последовательное разрушение стеклопакетов на этаже пожара и пламя выходит наружу. Полное разрушение стеклопакетов произошло при среднеобъемной температуре 880 °C, при резком разрушении стеклопакетов в помещении поступает большое количество свежего воздуха, способствующее

объемному выгоранию всей горючей нагрузки, среднеобъемная температура повышается до 1048 °С (на 35 минуте, см. рисунок 4.9).

Сравнение характера разрушения светопрозрачной конструкции фасада на уровне этажа пожара представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Динамика разрушения стеклопакетов при испытаниях

Номер испытания	Трещина 1 стекло	Разрушение 1 стекло	Трещины 2 стекло	Разрушение 2 стекло	Трещины 3 стекло	Разрушение 3 стекло	Среднеобъемная температура, °С
№ 1	8	12	11	16	16	33	830
№ 2	7	12	12	14	19	34	880

Полученные данные однозначно указывают на новый критерий разгерметизации оконных проемов с двухкамерными стеклопакетами – 830 °С.

Динамика прогрева стеклопакета в интервале с начала испытания до 35 минуты с шагом 5 мин. представлена в приложении И. На рисунке 4.10 представлены зависимости прогрева каждого стекла при развивающемся пожаре в помещении. Данные результаты подтверждают тот факт, что динамика прогрева стекла оказывает существенное влияние на критическую температуру его разрушения. Так, при плавном нагреве стекло выстаивает более продолжительный период времени с нагревом до более высоких температур.

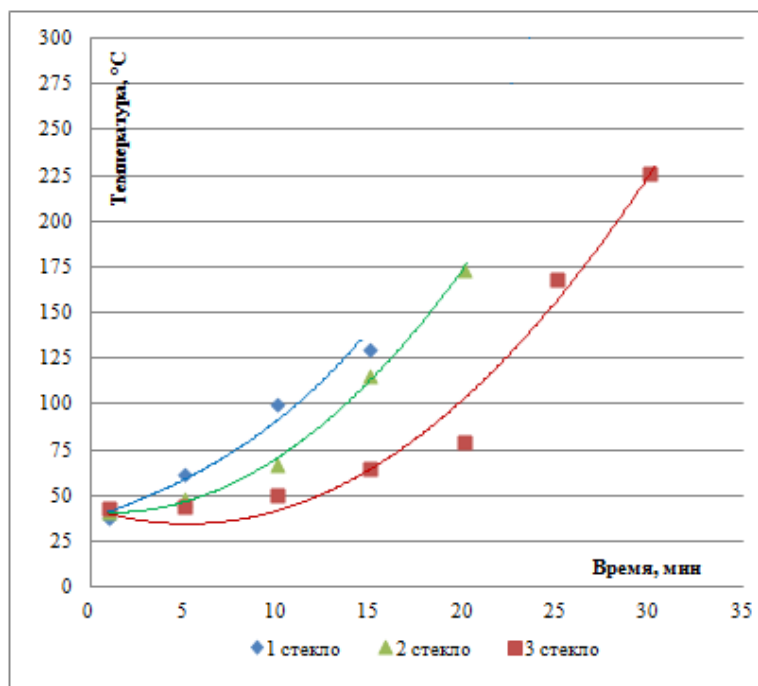


Рисунок 4.10 – Прогрев стеклопакета оконного заполнения фасада здания при развивающемся пожаре внутри помещения

Разрушение закаленных стекол междуэтажного пояса произошло через 3 мин. после выхода пожара на фасад здания, что подтверждает низкую устойчивость закаленного стекла при динамичном его нагреве.

В течение одной минуты после разрушения оконного проема на этаже пожара и выхода пламени на фасад здания был опущен защитный экран на уровне оконного проема первого этажа. Анализ материалов фото-видеофиксации показал, что при опущенном защитном экране высота пламени снижается и не превышает 1,5 м (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Фиксация высоты пламени при опущенном защитном экране

Результаты измерений температурных полей, формируемых вдоль плоскости фасада здания, представлены в приложении К. На рисунке 4.12 представлена графическая зависимость изменения температуры во времени на уровне светопрозрачного заполнения оконного проема второго этажа.

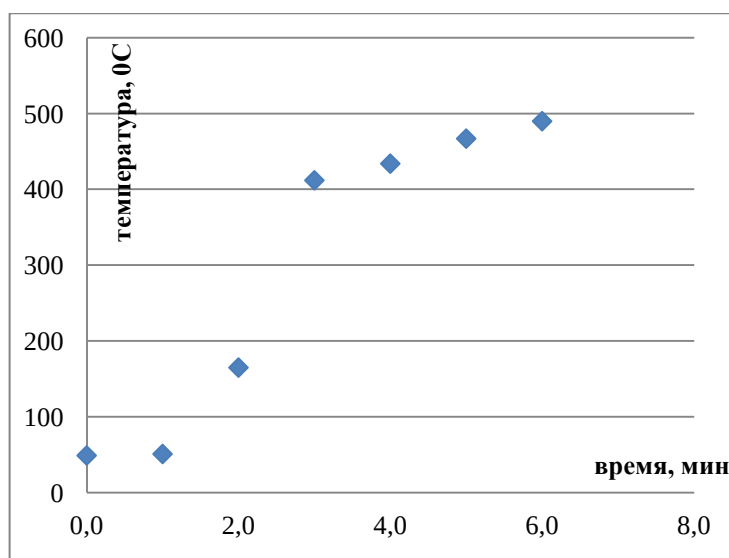


Рисунок 4.12 – Динамика роста температуры в области светопрозрачного заполнения второго этажа

Анализируя полученные данные и сравнивая их с результатами первого испытания (рисунок 3.14) можно сделать вывод о снижении величины температуры, воздействующей на светопрозрачное заполнение второго этажа. Сравнение результатов первого и второго испытаний представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Сравнительная таблица значений температуры в зоне светопрозрачного заполнения второго этажа

Номер испытания	Изменение температуры, °C, во времени испытания, мин.						
	1	2	3	4	5	6	7
№1	320	395	536	620	645	662	682
№2	165	412	434	467	490	404	324

Графическая зависимость двух испытаний представлена на рисунке 4.13. Экспериментально установлено, что критическая температура в области светопрозрачного заполнения оконного проема, расположенного над этажом пожара, не превысила критических значений (650 °C), фактически достигнута температура 490 °C (рисунки 4.13).

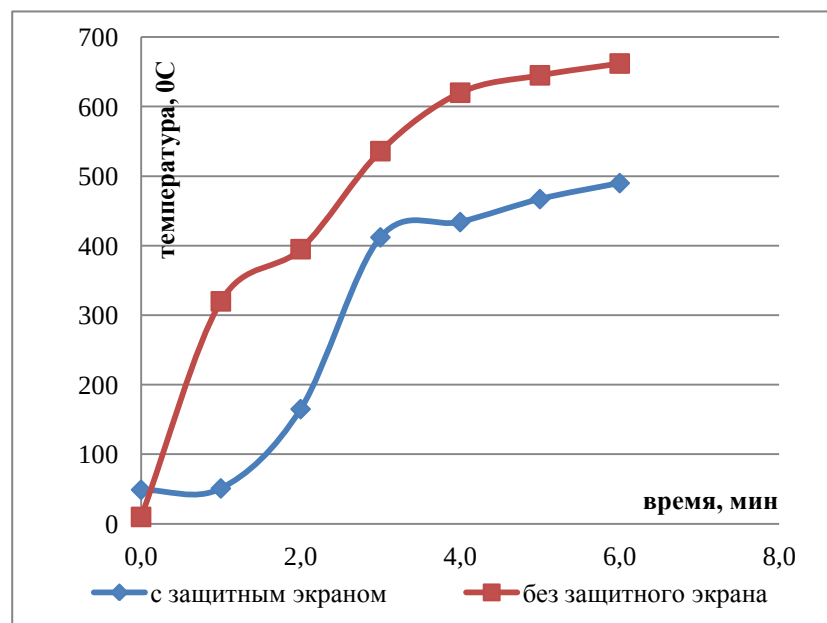


Рисунок 4.13 – Динамика роста температуры на фасаде без защитного экрана и с ним

Значения температурных полей в зоне светопрозрачного заполнения оконного проема второго этажа не способствовали полному разрушению стеклопакета, что визуально подтверждает рисунок 4.14.

Фотографии фасадов после огневых испытаний без защиты и с защитой, представленные на рисунке 4.14, наглядно показывают эффективность предлагаемых способов ограничения распространения пожаров по светопрозрачным фасадам зданий.



а)



б)

Рисунок 4.14 – Последствия воздействия пожара на светопрозрачный фасад здания
а) без защиты б) с защитой, ограничивающей распространение пожара

Очевидно, что предлагаемый способ ограничения распространения пожара, основанный на снижении площади оконного проема, через который пламя пожара выходит на фасад здания, показал свою эффективность, что подтверждено результатами натурного огневого испытания.

4.3 Выводы по результатам натурного огневого испытания

1. Критерий разрушения стеклопакета зависит от количества листов в стеклопакете. Увеличение количества листов увеличивает, как критическую температуру разрушения каждого стекла, так и время потери целостности стеклопакета при пожаре.

2. Защитный экран из несгораемого материала, уменьшающий площадь оконного проема, снижает температурное воздействие на светопрозрачное заполнение этажа, расположенного над пожаром.

3. Установлено, что снижение площади разрушенного оконного проема более чем на $2/3$ снижает высоту выходящего пламени в 2 раза, что обеспечивает сохранение устойчивости светопрозрачного заполнения и нераспространение пожара по фасаду высотного жилого здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан алгоритм расчета необходимой и достаточной устойчивости светопрозрачного заполнения на вышележащем этаже относительно этажа пожара, применимый к высотным зданиям.

2. Разработана методика натурального огневого испытания по оценке пожароустойчивости светопрозрачных фасадных конструкций. Методика основывается на максимальном температурном режиме пожара, площади разрушения оконного ограждения помещения очага пожара и учитывает скорость восходящих воздушных потоков по высоте фасада здания.

3. Определен характер распределения температурных полей при максимальном развитии пожара и полном разрушении оконного остекления на этаже пожара. Установлено, что при разрушении светопрозрачного оконного заполнения площадью $4,8 \text{ м}^2$ и внешнем вертикальном воздушном потоке скоростью 3 м/с высота пламени пожара, вышедшего на фасад здания, достигает более 3-х м , а максимальная температура в области светопрозрачного заполнения второго этажа достигает $650 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. Нарастание температуры в области светопрозрачного заполнения второго этажа на максимальной стадии развития пожара (в течении 10 минут) выражается зависимостью $t = 214,4\tau + 53,7 - 18,3\tau^2$.

5. Экспериментально установлена математическая зависимость и характер распределения температуры по высоте здания над этажом пожара ($T_h = \frac{T_{\text{ср}}}{0,12h+1,3}$) при известной температуре в помещении очага пожара, что позволяет проводить расчет времени разрушения светопрозрачного фасада. Результаты расчета показали удовлетворительную сходимость (85%) с данными натурального эксперимента.

6. Межэтажный пояс высотой $1,2 \text{ м}$ не препятствует распространению пожара при площади разрушения оконного проема более $1,82 \text{ м}^2$.

7. Установлено влияние площади вскрытого оконного проема на температурные поля по высоте фасада над этажом пожара.

8. Доказана эффективность опускающегося защитного экрана как способа снижения (перекрывания) площади оконного проема помещения очага пожара с целью снижения высоты пламени и снижения интенсивности теплового воздействия на оконные конструкции вышележащего этажа. Установлено, что перекрытие разрушенного оконного проема на $\frac{2}{3}$ его высоты снижает высоту пламени над этажом пожара в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов, Н.П. О влиянии ветра на величину тепловых потоков [Текст] / Н.П. Копылов, Г.М. Гроздов // Пожарная профилактика. Сб. трудов. – М.: ВНИИПО, 1980. – № 16. – С. 68–73.
2. ГОСТ 33079-2014. Конструкции фасадные светопрозрачные навесные. Классификация. Термины и определения: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118287> (дата обращения 04.02.2019)
3. Анализ рынка светопрозрачных фасадных алюминиевых конструкций [Электронный ресурс] // Конгресс фасадного рынка «Фасады России» интернет-портал. – Режим доступа: http://fasad-rus.ru/for3/news_end.php?id=120 (дата обращения 10.03.2019)
4. Статистика пожаров. Обстановка с пожарами в Российской Федерации [Текст] // Пожарная безопасность. – № 1. – 1997–2018.
5. Казиев, М.М. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара [Текст] / М.М. Казиев, А.В. Подгрушный, А.В. Дудунов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 2. – С. 5–10.
6. Liu, W. Evaluation of calculation methods of mean skin temperature for use in thermal comfort study / W. Liu, Q. Deng, Z. Lian, Y. Liu // Building and Environment. – 2011. – No. 2. – Vol. 46. – Pp. 478–488.
7. Табунщиков, Ю.А. Аэродинамика высотных зданий [Электронный ресурс] / Ю.А. Табунщиков, Н.В. Шилкин // «АВОК» – некоммерческое партнерство инженеров: сайт. – Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2662 (дата обращения 15.03.2019)
8. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия: свод правил // НСИС ПБ: электронная база данных документов по пожарной безопасности. – 2015. – № 2

(56). – Режим доступа: http://nsis.cleper.ru/Sp/13330/20_13330_2011.pdf (дата обращения 16.03.2019).

9. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения [Текст] / Э. Симиу, Р. Скаклан. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с.

10. Серебровский, Ф.Л. Аэрация жилой застройки [Текст] / Ф.Л. Серебровский. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 114 с.

11. Ариель, Н.З. Ветер в условиях города [Текст] / Н.З. Ариель, Л.А. Ключникова. – Л.: Труды ГГО, 1960. – Вып.94. – 29 с.

12. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Эл. дан. – М., 2018. – Доступ из лок-ной сети б-ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 23.04.2019)

13. 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. – 182 с.

14. Локшин, М.З. Горючесть алюминиевых конструкций: миф и реальность [Электронный ресурс] / М.З. Локшин, Г.С. Макаров // СтройПРОФИль. – 2006. – №7-06. – Режим доступа: <http://stroyprofile.com/archive/2374> (дата обращения 23.04.2019)

15. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9055248> (дата обращения 14.03.2019).

16. СП 2.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты [Электронный вариант]: свод правил // НСИС ПБ: электронная база данных документов по пожарной безопасности. – 2015. – № 2 (56). – Режим доступа: http://nsis.cleper.ru/Sp/13130/02_13130_2012.pdf (дата обращения 16.03.2019)

17. Хасанов, И.Р. Тепловые воздействия на наружные конструкции при пожаре [Текст] / И.Р. Хасанов // Пожарная безопасность. – 2013. – № 4. – С. 16–26.

18. Longhua, Hu. An experimental investigation and statistical characterization of intermittent flame ejecting behavior of enclosure fires with an opening / Hu Longhua, Lu Kaihua, M. Delichatsios, He Linghui, Tang Fei // Combustion and Flame. – 2012. – Vol. 159. – Issue 3. – Pp. 1178–1184.

19. Oleszkiewicz, I. Vertical separation of windows using spandrel walls and horizontal projections / I. Oleszkiewicz // Fire Technology. – 1991. – Vol. 27. – Issue 4. – Pp. 334–340.

20. . Междуэтажный пояс высотой 1000 мм наружной ненесущей навесной ограждающей светопрозрачной конструкции из алюминиевых профилей системы ТП-5030 (ЗАО «Татпроф»), с непожаростойким светопрозрачным заполнением [Электронный ресурс]: протокол испытаний № 39 ск/и-2014 // Алюминиевые строительные конструкции: сайт. – Режим доступа: <http://www.ask-profi.ru/license/2/> (дата обращения 17.04.2019)

21. Фрагмент (междуэтажный пояс) наружной ненесущей навесной ограждающей светопрозрачной конструкции из алюминиевых профилей системы «ALT EF65» (AluminTechno), высотой 1295 мм, нижний свес 365 мм, верхняя часть 730 мм и шагом стоек 1455 мм [Электронный ресурс]: протокол испытаний № 12 ск/и-2014 // Группа компаний «АЛЮТЕХ»: сайт. – Режим доступа: <https://alutech-group.com/upload/iblock/245/protokol-isp-rf-ef65-mezhduehtazhnyj-royas-12-sk-i-2014.pdf> (дата обращения 11.03.2019)

22. Фрагмент (междуэтажный пояс) наружной ненесущей навесной ограждающей светопрозрачной конструкции из алюминиевых профилей системы «ALT F50» (AluminTechno), высотой 1100 мм, нижний свес 322 мм, верхняя часть 575 мм и шагом стоек 1475 мм [Электронный ресурс]: протокол испытаний № 14 ск/и-2014 // Компания «Горизонов»: сайт. – Режим доступа: <http://www.horizonov.ru/window-system/alutech/alt-f50/> (дата обращения 28.03.2019).

23. Техническое заключение по оценке пожарно-технических характеристик фрагментов (междуэтажных поясов) конструкций несущих навесных ограждающих светопрозрачных с каркасом из алюминиевых профилей системы «ALT F50» Alumin Techno» [Электронный ресурс]: Группа компаний «АЛЮТЕХ»: сайт. – Режим доступа: <https://alutech-group.com/content/news/2016/09/09/1.pdf> (дата обращения 16.03.2019)

24. О возможности уменьшения высоты фрагмента наружной несущей навесной ограждающей светопрозрачной конструкции (междуэтажный пояс) до 900 мм, без уменьшения высоты «нижнего свеса» относительно перекрытия [Электронный ресурс]: офиц. письмо №051/ЗАО-14 от 16.06.2014 г. // Группа компаний «АЛЮТЕХ»: сайт. – Режим доступа: <https://alutech-group.com/product/profiles/altf50system/CERTIFICATE/> (дата обращения 03.01.2019)

25. Yokoi, S. Study on the prevention of fire spread caused by hot upper current / S. Yokoi. – Tokyo: Building Research Institute, 1960.

26. Giraldo, M. Pilar. Computer-simulation research on building-facade geometry for fire spread control in buildings with wood claddings / M. Pilar Giraldo, J. Avellaneda, Ana M. Lacasta, V. Rodríguez // World Conference on Timber Engineering. Session 17, Issues 1 Engineering technical. – Auckland New Zealand, 15–19 July, 2012.

27. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. [Электронный ресурс]: свод правил // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2017. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456044284> (дата обращения 20.02.2019)

28. Bauman, M.R. Exposure protection by window sprinklers on double-glazed tempered plate glass / M.R. Bauman // Fire Journal. – 1970. – Vol. 64. – No. 5. – P. 54.

29. LPR-11:1999 Распространение огня в многоэтажных зданиях с остекленными навесными фасадами // ТР-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

30. Ламкин, О.Б. Экспериментальные и теоретические исследования показателей пожарной опасности фасадной системы «Техноком» [Электронный ресурс] / О.Б. Ламкин, М.В. Гравит, О.В. Недрышкин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 11 (38). – Режим доступа: http://unistroy.spbstu.ru/index_2015_38/4_lamkin_38.pdf (дата обращения 17.04.2019)

31. Казиев, М.М. Влияние водяного орошения на огнестойкость светопрозрачных строительных конструкций [Текст] / М.М. Казиев, Е.В. Зубкова // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2014. – № 1. – С. 28–33.

32. Зубкова, Е.В. Огнезащита светопрозрачных конструкций с помощью водяного орошения [Текст] / Е.В. Зубкова // Проблемы техносферной безопасности: Мат-лы 3-й Международной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 39–41.

33. Казиев, М.М. Эффективность водяного орошения для защиты листового и закаленного стекла [Электронный ресурс] / М.М. Казиев, Е.В. Зубкова, В.И. Безбородов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2014. – № 6 (58). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/18-06-14.ttb.pdf> (дата обращения 17.04.2019)

34. Казиев, М.М. Алгоритм защиты огнестойких светопрозрачных конструкций при пожаре [Текст] / М.М. Казиев, Е.В. Зубкова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2015. – № 3. – С. 71–78.

35. Chan-Wei, Wu. Full-scale evaluations on heat resistance of glass panes incorporated with water film or sprinkler in a room fire / Wu Chan-Wei, Lin Ta-Hui // Proceedings of the eighth international symposium on fire safety science. – 2005. – Pp. 327–339.

36. Kim, A.K. Fire protection of windows using sprinklers / A.K. Kim, G.D. Loughheed // Construction Technology Updates. – Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, December, 1997.

37. Кошмаров, Ю.А. Газообмен помещения при пожаре [Текст] / Ю.А. Кошмаров // Пожарная профилактика. Сб. трудов. – М.: ВНИИПО, 1979. – Вып. 15. – С. 3–29.

38. Кошмаров, Ю.А. Развитие пожара в помещении [Текст] / Ю.А. Кошмаров // Огнестойкость строительных конструкций. Сб. трудов. – М.: ВНИИПО, 1977. – Вып. 5. – С. 31–45.

39. Молчадский, И.С. Обоснование требуемой огнестойкости строительных конструкций на основе исследований теплового режима пожара [Текст] / И.С. Молчадский, В.Н. Гутов // Экспресс-информация. – М.: ВНИИПО, 1979. – Серия III. – Вып. 4/68.

40. Исследования продолжительности и температурного режима пожаров // Инф. бюлл. ЦНИИПО. – 1957. – № 15.

41. МДС 21-1.98. Предотвращение распространения пожара [Электронный ресурс]: пособие к СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений // Гарант: инф.-прав. об-ние. – Электрон. дан. – М., 2017. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/6179606/> (дата обращения 18.02.2019)

42. International Fire Engineering Guidelines. Edition 2005 [Электронный ресурс]: Australian Building Codes Board. – Режим доступа: <https://www.abcb.gov.au/Resources/Publications/Education-Training/International-Fire-Engineering-Guidelines> (дата обращения 11.01.2019)

43. EN 1991-1-2:2002 [88] Eurocode 1: Actions on structures —Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire [Электронный ресурс]: PhD Engenharia. – Режим доступа: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.2.2002.pdf> (дата обращения 18.02.2019)

44. Пожарная нагрузка. СИТИС-СПН-1 [Текст]: справочник. – Екатеринбург: СИТИС, 2014.

45. ГОСТ 53309. Здания и фрагменты зданий. Метод натурных огневых испытаний. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-

технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071873> (дата обращения 20.12.2018)

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

47. Казиев, М.М. Обоснование предельно допустимой пожарной опасности отделочных материалов для коридоров (на примере зданий гостиниц) [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Казиев Махач Магомедович. – М., 1988. – 158 с.

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

49. McCaffrey, B.J. Estimating room temperatures and the likelihood of flashover using fire data correlations / B.J. McCaffrey, J.G. Quintiere, M.F. Harkleroad // Fire Technology. – 1981. – Vol. 17. – Issue 2. – Pp. 98–119.

50. 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. Сб. науч. статей. – М.: НЭБ ПБС ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2009. – С. 161–171.

51. Ройтман, М.Я. Основы противопожарного нормирования в строительстве [Текст] / М.Я. Ройтман. – М., Издательство литературы по строительству, 1969. – 480 с.

52. Keski-Rahkonen, O. Breaking of window glass close to fire / O. Keski-Rahkonen // Fire and Materials. – 1988. – Vol. 12. – Pp. 61–69.

53. Pagni, P.J. Glass breaking in fires / P.J. Pagni, A.A. Joshi // Fire Safety Science-Proc. Third Int. Symp., Elsevier Applied Science. – London, 1991. – Pp. 791–802.

54. Дудунов, А.В. Пожароустойчивость светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Дудунов Андрей Владимирович. – М., 2010. – 128 с.

55. Святкин, Г.К. Расчетная модель разрушения остекления при тепловом воздействии пожара [Текст] / Г.К. Святкин // Пожаровзрывобезопасность. – 1993. – № 4. – С. 54–57.

56. Святкин, Г.К. Расчетная модель разрушения остекления в виде тонкой свободной пластины при тепловом воздействии пожара [Текст] / Г.К. Святкин // Пожаровзрывобезопасность. – 1994. – № 4. – С. 76–77.

57. Карпов, А.В. Моделирование динамики распространения опасных факторов пожара вдоль фасада высотного здания [Текст] / А.В. Карпов, В.В. Лицкевич, А.В. Гомозов, Ю.С. Еремин // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тезисы докладов XXI Международной науч.-практ. конф. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России. – 2009. – Ч. 1. – С. 7–11.

58. Mowrer, F.W. Window breakage induced by exterior fires / F.W. Mowrer // Proc. 2nd Intl. Conf. on Fire Research and Engineering, Society of Fire Protection Engineers. – Bethesda: MD, 1998.

59. Shields, T.J. Performance of single glazing elements exposed to enclosure corner fires of increasing severity / T.J. Shields, G.W.H. Silcock, M.F. Flood // Fire and Materials. – 2001. – No. 25. – Pp. 123–152.

60. McArthur, N.A. The performance of aluminum building products in bushfires / N.A. McArthur // Fire and Materials. – 1991. – No. 15. – Pp. 117–125.

61. Cohen, J.D. Current results from structure ignition assessment model (siam) research / J.D. Cohen, P. Wilson // Fire Management in the Wildland / Urban Interface: Sharing Solutions, Kananaskis, Alberta, Canada (2–5 October 1994).

62. Qiyuan, Xie. Full-scale experimental study on crack and fallout of toughened glass with different thicknesses / Xie Qiyuan, Zhang Heping, Wan Yutian, Zhang Qingwen, Cheng Xudong // Fire and materials. – 2008. – Vol. 32. – Issue 5. – Pp. 293–306. DOI: 10.1002/fam.968

63. Зубкова, Е.В. Факторы разрушения листового стекла при пожаре [Электронный ресурс] / Е.В. Зубкова // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – № 4 (62). Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2015-4/2015-4.html> (дата обращения 01.04.2019)

64. Thomas, P.H. The projection of flames from buildings on fire / P.H. Thomas // Fire Prevention Science and Technology. – 1974. – Vol. 10. – Pp. 19–26.
65. Seigel, L.G. The projection of flames from burning buildings / L.G. Seigel // Fire Technology. – 1969. – Vol. 5(1). – Pp. 43–51.
66. ЕН 1363-1:2012 Испытания на огнестойкость. Общие требования // ТР-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.
67. Klopovic, S. Flames venting externally during full-scale flashover fires: two sample ventilation cases / S. Klopovic, O.F. Turan // Fire Safety Journal. – 1998. – No. 31. – Pp. 117–142.
68. Kolbrecki, A. Model of fire spread out on outer building surface / A. Kolbrecki // Bulletin of the polish academy of sciences technical sciences. – Vol. 63. – No. 1. – 2015. DOI: 10.1515/bpasts-2015-0015.
69. Peng, Lei Experimental study of window-ejected flame and plume on glass curtain walls / Lei Peng, Zhaopeng Ni // MATEC Web of Conferences 46, 05009 (2016). DOI: 10.1051/matecconf/20164605009
70. ГОСТ Р 53308-2009. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнения проемов [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200111334> (дата обращения 21.03.2019)
71. Временная методика огневых испытаний наружных несущих (в том числе навесных) стен со светопрозрачными элементами по определению их огнестойкости и пожарной опасности [Электронный ресурс]: методика // СНИПОВ.нет: сайт. – Режим доступа: http://snipov.net/c_4651_snip_113906.html (дата обращения 21.03.2019)
72. ГОСТ 30403-96. Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической

литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000240> (дата обращения 21.03.2019)

73. ГОСТ 55988-2014 Конструкции строительные. Расширенное применение результатов испытаний на огнестойкость светопрозрачных ограждающих несущих конструкций [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200109862> (дата обращения 13.02.2019)

74. ГОСТ 31251–2008. Стены наружные с внешней стороны. Метод испытаний на пожарную опасность [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200075104> (дата обращения 01.04.2019)

75. ГОСТ Р 56817–2015. Стены наружные несущие каркасного типа со светопропускающим заполнением проемов. Методы испытаний на огнестойкость и пожарную опасность [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200127451> (дата обращения 01.04.2019)

76. Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями на 25 февраля 2016 г.) [Электронный ресурс]: приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 апреля 2014 г. № 474 // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2018. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499090605> (дата обращения 01.04.2019)

77. EN 1363-1:2012 Испытания на огнестойкость. Общие требования // TP-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

78. ISO 834-75 Испытания на огнестойкость. Строительные конструкции. Часть 1: Общие требования [Электронный ресурс]: межгосударственный стандарт // НСИС ПБ: электронная база данных документов по пожарной безопасности. – Режим доступа: http://nsis.cleper.ru/Gost/30247_0-94.htm (дата обращения 16.01.2019)

79. EN 1363-2:1999 Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные процедуры // TP-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

80. ENV 1363-3:1999 Испытания на огнестойкость. Часть 3: Проверка эксплуатационных характеристик печей // TP-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

81. EN 1364-1:1999 Элементы зданий, не несущие нагрузки. Испытания на огнестойкость. Часть 1 Перегородки // TP-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

82. EN 1364-4:2007 Испытания ненесущих конструкций на огнестойкость. Часть 4: Навесные фасады. Частичная конфигурация // TP-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

83. ГОСТ Р EN 1363–2–2014. Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Часть 2. Альтернативные и дополнительные методы [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Консорциум КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической литературы. – Электрон. дан. – М., 2015. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200113419> (дата обращения 01.04.2019)

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

85. Рыжов, А.М. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях [Текст]: методические рекомендации / А.М. Рыжов, И.Р. Хасанов, А.В. Карпов и др. – М.: ВНИИПО, 2003. – 35 с.

86. 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 и др. – М.: ВНИИПО, 2012.

87. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении [Текст]: учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

88. Пехович, А.И. Расчеты теплового режима твердых тел [Текст] / А.И. Пехович, В.М. Жидких. – Л.: Энергия, 1976. – 352 с.

89. Романенко, П.Н. Теплопередача в пожарном деле [Текст] / П.Н. Романенко, Н.Ф. Бубырь, М.П. Башкирцев. – М., 1969. – 425 с.

90. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] / Х. Шенк; пер. с англ. Е.Г. Коваленко. – М.: Мир, 1972. – 376 с.

91. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных. В 2 т. [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1980. – 511 с.

92. Пономарев, В.Б. Математическая обработка результатов инженерного эксперимента [Текст]: учебное пособие / В.Б. Пономарев, А.Б. Лошкарев. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – 100 с.

93. prEN 15254-4. Расширенное применение результатов испытаний на огнестойкость. Ненесущие стены. Остекленные конструкции // TP-5043. Огнестойкость остекленных фасадов. Обзор зарубежных источников. – Екатеринбург: Ситис, 2009. – 82 с.

АКТЫ внедрения



Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Центральный научно-исследовательский и проектный институт
Министерства строительства и жилищно-коммунального
хозяйства Российской Федерации»



03.07.19 № 819

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель

генерального директора по развитию
ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»



Р.М. Маскулов
2019 г.

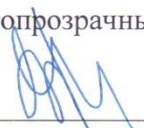
АКТ

**внедрения результатов диссертационного исследования
«Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций
высотных жилых зданий» Безбородова Владимира Игоревича**

Комиссия в составе: Председатель Научно-технического совета Акбиев Рустам Тоганович, Начальник Управления технического регулирования Пронин Денис Геннадиевич, заведующий лабораторией экспериментальных исследований и проектирования Грановский Аркадий Вульфович, Начальник Отдела технического аудита и экспертизы безопасности Акбиев Мурад Русланович, подтверждает, что результаты диссертационного исследования на тему «Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий» учтены при разработке противопожарных требований в проекте свода правил «Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности» и использованы в учебном процессе в ЦНИИП Минстроя России, в том числе при подготовке учебно-консультационных семинаров «КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ И СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ: НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, СТАНДАРТЫ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ, ИСПЫТАНИЯ,

СЕРТИФИКАЦИЯ, ЭКСПЕРТИЗА» 20 февраля 2019 года и «ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЕРТИЗЕ» 18 апреля 2019 года. При разработке проекта свода правил и докладов семинара были использованы результаты диссертационного исследования Безбородова В.И., касающиеся требований пожарной безопасности к светопрозрачным конструкциям, а также особенности разрушения светопрозрачных фасадов и распространения пожара по высоте здания. Также были учтены методы оценки пожароустойчивости и огнестойкости светопрозрачных конструкций.

Председатель комиссии:

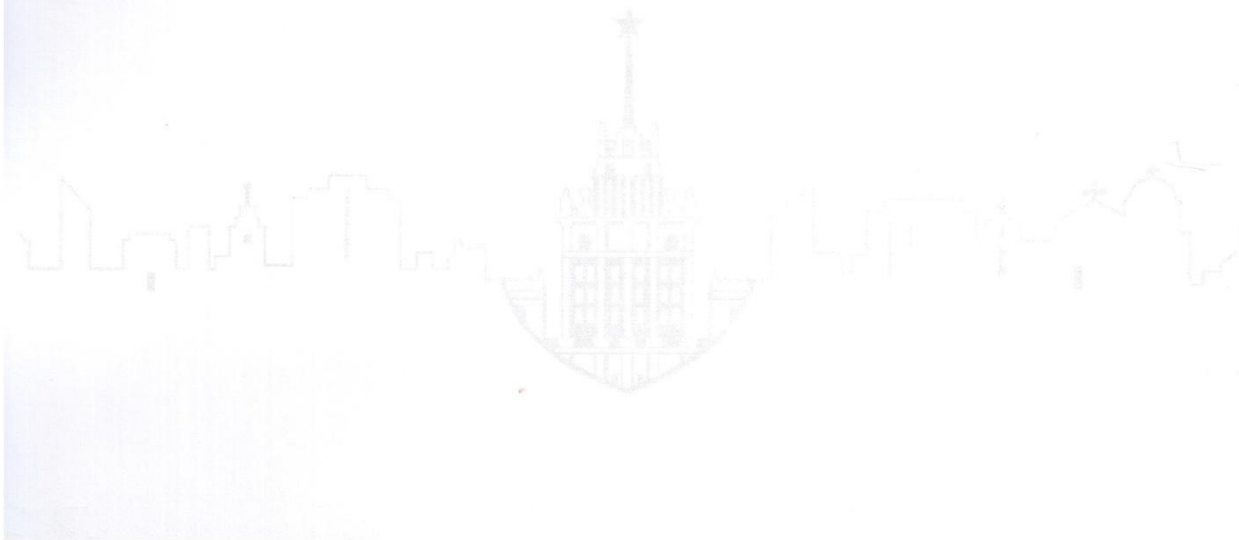
 Р.Т. Акбиев

Члены комиссии:

 Д.Г. Пронин

 А.Ф. Грановский

 М.Р. Акбиев



УТВЕРЖДАЮ

Начальник ФГБУ ВНИИПО МЧС России
генерал-майор внутренней службы

Д.М. Гордиенко

2019 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
«Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций
высотных жилых зданий» Безбородова Владимира Игоревича

Комиссия в составе: заместитель начальника института Лагозин Андрей Юрьевич, начальник отдела Пехотиков Андрей Владимирович, подтверждает, что результаты диссертационного исследования на тему «Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий» были внедрены при обосновании требований пожарной безопасности к светопрозрачным наружным стенам зданий при разработке новой редакции свода правил СП 2.13130 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

Члены комиссии:

А.Ю Лагозин

А.В. Пехотиков

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель
Директора Департамента
надзорной деятельности и
профилактической работы
МЧС России

 А.А. Макеев
«__» _____ 20__ г.

АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
«Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций
высотных жилых зданий» подполковника внутренней службы
Безбородова Владимира Игоревича

Комиссия в составе заместителя начальника отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России (далее – ДНПР МЧС России) С.Р. Шалкеева, старшего инспектора отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности ДНПР МЧС России В.Е. Фадеева, инспектора отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности ДНПР МЧС России М.Ю. Нестерова подтверждает, что при разработке методического пособия для инспекторского состава «Наружные светопрозрачные стены. Пожарная опасность», использовались результаты диссертационного исследования Безбородова В.И., касающиеся требований к огнестойкости и пожарной опасности, навесных светопрозрачных конструкций, в том числе методы оценки показателей пожарной опасности и огнестойкости светопрозрачных конструкций, конструктивные особенности изготовления светопрозрачных фасадных конструкций, в части соответствия их требованиям пожарной безопасности, а также особенности осуществления профилактических мероприятий на объектах защиты имеющих наружные светопрозрачные фасады.

Председатель комиссии:

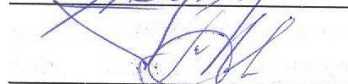


С.Р. Шалкеев

Члены комиссии:



В.Е. Фадеев



М.Ю. Нестеров



Проектируйте будущее с нами!

Акционерное общество
научно-производственное
объединение проектный институт
«Оренбурггражданпроект»
(АО НПО ПИ «ОГП»)
Россия, 460014, г. Оренбург,
ул. Кобозева, д. 1, корпус Д
Тел. (3532) 67-00-44,
ОГРН 1155658017976
ИНН 5612160930 КПП 561001001

УТВЕРЖДАЮ
АО НПО ПИ «ОГП»
Скуратов И.А.

2019 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
«Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых
зданий» Безбородова Владимира Игоревича

Комиссия в составе Директора Скуратова И.А., Главного специалиста по пожарной безопасности Подлевских Е.С., ГИПа Бухарина Т.А. подтверждает, что результаты диссертационного исследования на тему «Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий» были внедрены при проектировании «Жилой комплекс по ул. Березка в г. Оренбурге с нежилыми помещениями на 1 и 2 этаже». Использовались результаты диссертационного исследования Безбородова В.И., касающиеся методов оценки показателей пожарной опасности и огнестойкости светопрозрачных конструкций, конструктивные особенности изготовления светопрозрачных фасадных конструкций, в части соответствия их требованиям пожарной безопасности.

Председатель комиссии:

И.А. Скуратов

Члены комиссии:

Е.С. Подлевских

Т.А. Бухарина



АО «ГИПРОЗДРАВ»

Научно-проектный центр
по объектам здравоохранения
и отдыха

117246, г. Москва, Научный пр-д, 12. Тел.(499) 120-55-81, факс:(495)334-80-50, E-mail: giprozdraw@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

АО «Гипроздрав»

Левин Е.Б.

« 2019 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационного исследования
«Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий»
Безбородова Владимира Игоревича

Комиссия в составе Главный инженер Крюков С. Н., руководитель группы пожарной безопасности Вовченко К.В., руководитель группы конструкторов, к.т.н. Глазков Д. А. подтверждает, что результаты диссертационного исследования на тему «Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий» учтены при проектировании следующих объектов: «Детская поликлиника на 320 посещений в смену, ул. Академика Анохина, вл.40, район Тропарево-Никулино» (0173200001516000331/2016), Детская поликлиника на 320 посещений в смену, район Ховрино. ул. Зеленоградская, д.27, корп.1. При разработке проектов были и использованы результаты диссертационного исследования Безбородова В.И., касающиеся требований пожарной безопасности к светопрозрачным конструкциям, а также особенности разрушения светопрозрачных фасадов и распространения пожара по высоте здания. Также были учтены методы оценки пожароустойчивости и огнестойкости светопрозрачных конструкций.

Председатель комиссии:

(Крюков С. Н.)

Члены комиссии:

(Вовченко К.В.)

(Глазков Д.А.)



Российская Федерация
Общество с ограниченной ответственностью
«ТЕХСТРОМПРОЕКТ»

г. Оренбург

460021 г.Оренбург
ИНН 5610233679
ул. 60 лет Октября 11-а
тел. (3532)66-10-96
факс (3532)33-03-25
E-mail:info@orentsp.ru



УТВЕРЖДАЮ
ООО «Техстромпроект»
Панкеев В.В.
«15» ноября 2018г.

АКТ

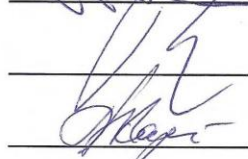
Внедрение результатов диссертационного исследования «Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий»
Безбородова Владимира Игоревича

Комиссия в составе директора Панкеева В.В., ГИП Каликов А.Г., ГИП Карякин А.И. подтверждает, что результаты диссертационного исследования на тему «Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий» были внедрены при проектировании «Автосалона Mercedes-Benz в городе Оренбург». Использовались результаты диссертационного исследования Безбородова В.И., касающиеся требований пожарной безопасности предъявляемые к светопрозрачным фасадным конструкциям, в том числе методы оценки показателей пожарной опасности и огнестойкости светопрозрачных конструкций, конструктивные особенности изготовления светопрозрачных фасадных конструкций, в части соответствия их требованиям пожарной безопасности.

Председатель комиссии:

 Панкеев В.В.

Члены комиссии:

 Каликов А.Г.

 Карякин А.И.

АКТ испытаний фасада 1-й этап

УТВЕРЖДАЮ
Начальник Оренбургского филиала
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

к.т.н.  Т.И. Сенчишак
«__» октября 2017 г.

АКТ

проведения натурных огневых испытаний по определению устойчивости при пожаре навесной светопрозрачной стены

г. Оренбург

21.10.2017г

Комиссия, назначенная приказом ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 54 от 18.10.2017 года, в составе:

председатель:	Безбородов В.И. - начальник отдела ПБТУ ОФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)
члены комиссии:	Вагенлейтнер Е.В. – ст. научный сотрудник ОФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)
	Ушанов В.В. - начальник сектора отдела 3.2 ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)
	Горшков В.С. - начальник сектора отдела 3.2 ФГБУ ВНИИПО МЧС России, к.т.н. (фамилия, имя, отчество, должность)
	Лежнев С.Т. - ст. научный сотрудник отдела 3.2 ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)
	Казиев М.М. - профессор кафедры ПБС Академии ГПС МЧС России, к.т.н. (фамилия, имя, отчество, должность)
	Митяев А.В. – руководитель инновационного проекта ООО «ФОТОТЕХ» (фамилия, имя, отчество, должность)
	Носов Д.С. - эксперт пожарной безопасности ООО «МИК Экспертиза» (фамилия, имя, отчество, должность)
секретарь комиссии:	Щеняев В.И. - ст. научный сотрудник ОФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)

приняла участие в подготовке и проведении натурных огневых испытаний по определению устойчивости при пожаре фрагмента навесной светопрозрачной стены производства ООО «ФОТОТЕХ» на базе профильной системы ALT F50 с глухим междуэтажным поясом высотой 1,2 метра и светопрозрачным заполнением стеклопакетов из листового стекла (формула стеклопакета 6+12+4+12+6). Фрагмент навесной светопрозрачной стены выполнен на три этажа здания, высотой 8,4 метра, шириной 3,2 метра.

Испытания проведены по разработанной и утвержденной программе и методике испытаний.

При испытаниях контролировались следующие величины и параметры:

- среднеобъемная температура внутри помещения пожара;
- распределение температурных полей по вертикали фасада с внешней стороны здания;
- распределение температур по высоте дверного проема;

АКТ проведения натурных огневых испытаний по определению устойчивости при пожаре навесной светопрозрачной стены

- высота пламени, вырывающейся с этажа пожара;
- температура на каждом листе стеклопакета на уровне этажа пожара;
- характер поведения светопрозрачного заполнения на уровне этажа пожара;
- динамика тепловых потоков в контрольных точках полей тепловых потоков;
- динамику конвективных потоков;
- температура наружного воздуха;
- направление и скорость ветра в период проведения испытаний;
- фото и видео съемка;
- по окончании испытаний оцениваются последствия воздействия пожара на конструкции фасада, характер и размеры зон повреждения, распространение пожара по вертикали здания с наружной стороны.

Комиссия отмечает:

Натурный огневой эксперимент был проведен в полном соответствии с утвержденной программой
Цели и задачи эксперименты были реализованы в полном объеме
В результате эксперимента были получены эмпирические данные позволяющие оценить степень
влияния пожара на ограждающие конструкции здания в частности конструктивные элементы
навесных светопрозрачных стен зданий.

Замечания и предложения комиссии:

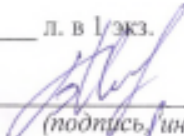
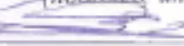
Заключение комиссии:

Эксперимент выполнен на высоком научно-техническом уровне. Полученные результаты обладают
научной новизной.
Направление исследований актуально и требует дополнительных экспериментов по оценке
способов защиты светопрозрачных стен в условиях пожара.

Приложения: Протоколы проведения испытаний на ___ л. в 1 экз.

Председатель комиссии

Члены комиссии

	В.И. Безбородов
(подпись, инициалы, фамилия)	
	Е.В. Вагенлейтнер
(подпись, инициалы, фамилия)	
	В.В. Ушанов
(подпись, инициалы, фамилия)	
	В.С. Горшков

АКТ проведения натурных огневых испытаний по определению устойчивости при пожаре навесной светопрозрачной стены

(подпись, инициалы, фамилия)

С.А. Дежнев

(подпись, инициалы, фамилия)

М.М. Казнев

(подпись, инициалы, фамилия)

А.В. Митяев

(подпись, инициалы, фамилия)

Д.С. Носов

(подпись, инициалы, фамилия)

Секретарь комиссии:

(подпись, инициалы, фамилия) В.И. Щеняев

(подпись, инициалы, фамилия)

Протокол испытания

(визуальные наблюдения и измерения. Первый эксперимент)

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°C	Q, кВт/м		°C	Q, кВт/м ²		°C	Q, кВт/м ²
12.14 (0,00)	Розжиг горючей нагрузки	14	0,36						
12.14.15 (15 с.)	Высота пламени 1 метр. Дым начинает растекаться по потолку	14,75	0,38/0,38			0,36/0,53			0,18/ 0,32
12.14.30 (30 с.)	Высота пламени 1,5 метра. Дым достиг стен и начинает опускаться вниз.	18,7	0,89/1,02			0,37/0,86			0,32/ 0,31
12.15.00 (1м .)	Дым начал выходить из шахты дымоудаления (отм. 15 м.)	28,75	1,78/2,19			0,4/ 1,14			0,36/ 0,31
12.15.20 (1 м. 20 с.)	Высота пламени 1,5 метра. Дымовой слой 80 см.	90	2,54/3,35			0,4/ 0,89			0,43/ 0,32
12.17 (3 мин.)	Высота пламени 1,5 метра. Дымовой слой 80 см., значительно увеличилась плотность дымового слоя. Горят первичные модельные очаги пожара, пламенем охвачена их верхняя половина.	155	7,21/7,48			0,34/0,78			0,47/ 0,32
12.19.00 (5 мин.)	Площадь пожара начинает увеличиваться, воспламеняются соседний штабеля. Высота пламени увеличивается до 2 метров. Дымовой слой от 80 до 100 см.	232	11,2/11,05	На стекле 180С (неизвестно на каком)		0,38/0,79			0,46/ 0,33
12.22 (8 мин.)		307	17,8/17,79	Первое стекло в обоих стеклопакетах лопается в верхней части		0,42/1,27			0,61/ 0,35
12.23 (9 мин.)	Высота дымового слоя (высокой плотности) на 1,5 м.	384	19,72/20,19	Температура на стекле 400С (не известно на каком)		0,38/0,97			0,66/ 0,36
12.25 (11 мин)	Дым опустился до пола помещения. Пожар интенсивно распространяется по площади.	427	24,7/24,45	Лопнуло второе стекло. (правое). Температура на стекле 540С (неизвестно на каком) Трещина		0,45/1,48			0,82/ 0,38

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°C	Q, кВт/м		°C	Q, кВт/м ²		°C	Q, кВт/м ²
	Пламя растикается по потолку.			на внутренних стеклах расползается по горизонтали					
12.28 (14 мин)		464	28,88/ 28,55	Лопнуло 2 стекло Температура на стекле середина 68 верх 830С (неизвестно какое)		0,5/ 2,04			1,18/ 0,41
12.30 (16 мин)	Пламенем охвачена центральная часть помещения.	545	33,04/ 32,17	Лопнуло наружное стекло		0,56/ 2,65			1,25/ 0,43
12.31 (17 мин)	Лопнуло защитное стекло на камере видеонаблюдения расположенной внутри помещения на полу	537	42,68/ 45,52	Выпадение фрагмента внутреннего стекла (на обоих стеклопакетах). На левом, в нижней части, треугольник со сторонами 10см. На правом щель шириной 3 см, длиной 10 см.		0,58/ 2,66			1,38/ 0,43
12.32 (18 мин)	В боковом окне принудительно открыли проем в верхней части, размером 0,2х1,4м	447	31,58/ 31,37			0,51/ 1,59			1,53/ 0,44
12.34 (20 мин)	Внутри помещения наблюдается эффект самовоспламенения газов и полный охват огнем горючей нагрузки. Перед воспламенением наблюдалось круговое движение газов, против часовой стрелки, сверху вниз.		38,38/ 38,42			0,59/ 2,74			1,55/ 0,46
12.34.4 5 (20 м. 45 сек)	Из бокового проема начинает интенсивно выходить тепловой поток, затем обильный черный дым. Давление внутри помещения повышается и дым выбрасывается на расстояние 1 метра по горизонтали.		87,93/ 68,43			1,09/ 6,65			1,48/ 0,47
12.35 (21 м.)	Внутри помещения видны очертания зоны интенсивного горения шириной 3,2 метра.	700	153,04 / 100,11			1,19/ 7,02			1,7/ 0,46
12.36 (22 мин)	С интервалом 1 минута наблюдается усиление и ослабление выбросов дыма из		197,95 / 100,18	Стекло внутри целиком покрылось сажой		0,96/ 5,11			1,72/ 0,47

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°C	Q, кВт/м		°C	Q, кВт/м ²		°C	Q, кВт/м ²
	бокового окна								
12.38 (24 мин)	В боковом окне наблюдается остановка выброса пламени. Небольшое разряжение (2 сек), дым втягивается в помещение, затем резкое увеличение черного дыма. Из соседнего с горящим помещением пошел обильный дым (возможно в этот момент произошла разгерметизация проема в центре стены). Далее происходит колебания с интервалом в 1 минуту с выбросом дыма.		226,93 / 103,2	Из стыковых узлов стоек конструкции фасада начинает выходить дым		1,27/ 7,54			2,01/ 0,49
12.39 (25 мин)			218,05 / 101,55	Наружное стекло левого стеклопакета лопнуло по всей ширине и из трещины начинает выходить дым		1,11/ 5,43			1,54/ 0,5
12.47 (33 мин)			194,98 / 95,56	В верхних углах обоих стеклопакетов, в местах примыкания к центральной стойке появляются сквозные отверстия, в виде треугольника со стороны стенки 5 см. Из отверстий обильно идет дым. Визуально наблюдается размягчение внутренних стекол и их пластическая деформация под воздействием избыточного давления внутри помещения очага пожара. В левом стеклопакете в у наружной части внизу образуется щель длиной 20 см и шириной 3 см. Из нее выходит дым.		2,93/ 23,9			1,76/ 0,49
12.51 (37 мин)			272,7/ 142,41	Слышен треск стекла. На правом стеклопакете вываливаются		3,7/ 26,81			0,96/ 0,43

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°С	Q, кВт/м		°С	Q, кВт/м ²		°С	Q, кВт/м ²
мин)				большие фрагменты образуя сквозное отверстие в виде треугольника со сторонами 1 метр. Через 15 секунд начинается горение по всей площади отверстия. Высота пламени до 0,5 метра, выброс по горизонтали 0,7 метра.					
12.53 (39 мин)	В боковом окне наблюдается остановка выброса пламени. Небольшое разряжение (2 сек), дым втягивается в помещение, затем начинает идти сизый дым, затем начинается горение, высота пламени до 1,2 м.. Дым прекращает идти		296,97 / 155,17	Высота пламени увеличивается и варьируется от 1,2 до 1,7 м., выброс по горизонтали до от 0,3 до 0,5 м. Разрушается стеклопакет правой секции, выпадает 50% площади остекления, происходит резкий выброс пламени. Высота пламени достигает до 3 метров, по горизонтали до 1 м.. Заметно влияние восходящих ветровых потоков на движение пламени и высоту его подъема. Пламя колеблется на уровне 1,2 – 1,5 метра.		4,89/ 45,83			1,2/ 0,42
12.54 (40 мин)	Все помещение объято пламенем. Из бокового окна пламя вырывается горизонтально на 1 м. по вертикали колеблется от 0,3 до 0,5 м.		310,57 / 180,84	Стеклопакет левой секции разрушается на все 100%. Происходит выброс пламени до 3,5 метров. Высота пламени устанавливается на высоте 1,5 метра, отдельные языки поднимаются до 2 м. выброс пламени по горизонтали 1-1,2 метра.		8,06/ 232,7			2,54/ 0,78
12.55 (41 мин)			199,08 / 142,59	Алюминиевые стойки фасада стали пластичными - алюминий начинает течь – происходит выброс расплавленного алюминия на расстояние до 1 м.		15,36/ 298,25	Разрушение междуэтажного узла примыкания между 1 и 2 этажами. Первым разрушается наружное закаленное стекло, сразу же выпадает листовое стекло и с		3,74/ 0,89

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°С	Q, кВт/м		°С	Q, кВт/м ²		°С	Q, кВт/м ²
				по горизонтали.			оцинкованным листом, они падают вертикально вниз, это свидетельствует о том что ригель на который они опирались потерял несущую способность. через стекло стеклопакет правого узла, за ним выпадает оцинкованный лист, утеплитель остается на месте. Через 15 секунд разрушается стеклопакет левого узла, оцинкованный лист также выпадает.		
12.56 (42 мин)	Внутри помещения наблюдается влияние восходящих ветровых потоков. В нижней части проема пламя направляется внутрь помещения, по потолку пламя движется на улицу, видно изменение конфигурации пламени нижним свесом междуэтажного пояса.		196,61 / 168,9	Алюминиевые стойки плавятся и стекают вниз.		104,95/ 1054,3	Наружные стекла стелопакетов на 2 этаже треснули по всей длине.		24,74/ 1,01
12.57 (43 мин)	В боковом окне наблюдается то втягивание пламени внутрь то выброс в течении всего последующего горения.		220,76 / 178,83	Происходит резкое увеличение интенсивности горения. Выброс пламени по горизонтали до 2 метров. Высота подъема до 3,5 метров. Отдельные языки поднимаются до 5,5м .		139,63/ 1023,97	Наружное стекло левой секции 2 этажа разрушается и выпадает.		12,64/ 0,76
13.00 (46 мин)			339,52 / 250,73			0,29/ 0,07	Разрушение и выпадение 70% стеклопакета левой секции. Сгорает ситцевая зановеска расположенная внутри помещения. Через 30 секунд разрушается правая секция.		93,19/ 2,24
13.01 (47 мин)	Резкое увеличение интенсивности выброса пламени через боковое окно. Пламя заворачивает по спирали,		319,82 / 318,92	Снижение интенсивности горения и уход пламени внутрь помещения. Через некоторое время снова интенсивный выброс		1,72/ 0,13	Утеплитель междуэтажного пояса в левой части вывалился. Оцинкованный лист становится прозрачным на высоту свеса на		225,24/ 2,43

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°С	q, кВт/м		°С	q, кВт/м ²		°С	q, кВт/м ²
	выбрасывает по горизонтали на 1,5 метра, в высоту поднимается до 2-2,5 метров. Затем снова снижение интенсивности и переход пламени на фасад			пламени			первом этаже.		
13.06 (53 мин)	Подача стволов на тушение.								

Протокол испытания
(распределение температур вдоль плоскости фасада
по высоте с течением времени)

Время с начала эксперимента – 38 мин.

Среднеобъемная температура - 920⁰С

Площадь разрушения окна – 0,5 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	448
0,70	462
1,20	386
1,70	320
2,20	280
2,70	275
3,20	270
3,70	214
4,20	218

Время с начала эксперимента – 39 мин.

Среднеобъемная температура - 933⁰С

Площадь разрушения окна – 0,5 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	503
0,70	545
1,20	510
1,70	395
2,20	386
2,70	336
3,20	316
3,70	253
4,20	262

Время с начала эксперимента – 40 мин.

Среднеобъемная температура - 945⁰С

Площадь разрушения окна – 1,5 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	523
0,70	568
1,20	534
1,70	486
2,20	495
2,70	449
3,20	401
3,70	394
4,20	404

Время с начала эксперимента – 41 мин.

Среднеобъемная температура - 955⁰С

Площадь разрушения окна – 1,5 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	548
0,70	627
1,20	570
1,70	536
2,20	589
2,70	501
3,20	475
3,70	432
4,20	421

Время с начала эксперимента – 42 мин.

Среднеобъемная температура - 964⁰С

Площадь разрушения окна – 4,8 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	633
0,70	671
1,20	628
1,70	620
2,20	598
2,70	532
3,20	430
3,70	462
4,20	445

Время с начала эксперимента – 43 мин.

Среднеобъемная температура - 971⁰С

Площадь разрушения окна – 4,8 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	641
0,70	685
1,20	636
1,70	645
2,20	622
2,70	580
3,20	538
3,70	530
4,20	492

Время с начала эксперимента – 44 мин.

Среднеобъемная температура - 976⁰С

Площадь разрушения окна – 4,8 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	650
0,70	708
1,20	641
1,70	662
2,20	634
2,70	589
3,20	545
3,70	552
4,20	507

Время с начала эксперимента – 45 мин.

Среднеобъемная температура - 978⁰С

Площадь разрушения окна – 4,8 м²

Высота, м	Температура, ⁰ С
0,20	732
0,70	721
1,20	668
1,70	682
2,20	654
2,70	608
3,20	594
3,70	581
4,20	524

Протокол испытания

(измерений температуры прогрева стеклопакетов)

Стеклопакет: размер 1551x1676 мм, формула 6+12+4+12+6

Место установки – первый этаж (этаж пожара)

Порядок нумерации стекол: первое (1) стекло с обогреваемой стороны

Время, мин	Температура на необогреваемой стороне стекла, °С			Время, мин	Температура на необогреваемой стороне стекла, °С		
	1 стекло	2 стекло	3 стекло		1 стекло	2 стекло	3 стекло
1	3,5	3	2,5	21		119	29
2	4,6	3	2,6	22		139	33
3	9	3,4	2,7	23		155	48
4	14,8	3,7	2,8	24		180	53
5	21	4,4	3	25			60
6	27	5,6	3,2	26			77
7	34	6,8	3,5	27			100
8	40,9	9	3,5	28			118
9	53	11	4	29			137
10	64	15,7	4,5	30			145
11	69	19	6	31			160
12	75	25	7	32			174
13	93	33	10	33			212
14	102	39	11	34			215
15	110	44	13	35			210
16	118	53	15	36			228
17		65	17	37			240
18		72	18				
19		86	20				
20		103	26				

Стеклопакет: размер 1551x1676 мм, формула 6+12+4+12+6

Место установки – второй этаж

Порядок нумерации стекол: первое (1) стекло с обогреваемой стороны

Время, мин	Температура на необогреваемой стороне стекла, °С		
	1 стекло	2 стекло	3 стекло
0	32	30	22
1	67	60	49
2	118	97	62
3		138	110
4			156

Протокол испытания

(измерения скорости конвективных потоков направленных вдоль плоскости
светопрозрачного фасада)

Значения скорости ветровых потоков вдоль плоскости фасада на отметке +2,78 метра (уровень верхнего края светопрозрачного заполнения второго этажа)

Время от начала эксперимента, мин	Скорость воздушного потока в точках измерения, м/с отм. +2,7	
	ДС-1	ДС-2
37	2	2
38	2,8	2,7
39	5,5	5,5
40	6,7	6,8

Значения скорости ветровых потоков вдоль плоскости фасада на отметке +6,2 метра (уровень верхнего края светопрозрачного заполнения третьего этажа)

Время от начала эксперимента, мин	Скорость воздушного потока в точках измерения, м/с отм. +6,2			
	ДС-3	ДС-4	ДС-5	ДС-6
37	1,5	1,4	1,5	1,5
38	1,8	1,7	1,8	1,6
39	2,5	2,6	2,4	2,5
40	3,1	3,0	3,2	3,1
41	3,8	3,7	3,9	3,9
42	4,6	4,5	4,7	4,6
43	5,5	5,4	5,3	5,5
44	6,3	6,5	6,5	6,4

АКТ проведения испытаний 2-й этап

УТВЕРЖДАЮ
Начальник Оренбургского филиала
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

К.Т.Н.

«__» июля 2018 г.

Т.И. Сенчишак

АКТ

проведения натурного испытания по оценке эффективности способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания

г. Оренбург

06.07.2018 г.

Комиссия, назначенная приказом ФГБУ ВНИИПО МЧС России № 31 от 28.06.2018 года, в составе:

председатель:	Безбородов В.И. - начальник отдела ПБТУ ОФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)
члены комиссии:	Щербина А.В. – начальник управления надзорной деятельности ГУ МЧС России по Оренбургской области (фамилия, имя, отчество, должность)
	Вагенлейтнер Е.В. – ст. научный сотрудник ОФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)
	Казиев М.М. - профессор кафедры ПБС Академии ГПС МЧС России, к.т.н (фамилия, имя, отчество, должность)
	Зубкова Е.В. – научный сотрудник, кафедры ПБС Академии ГПС МЧС России, к.т.н (фамилия, имя, отчество, должность)
	Митяев А.В. – руководитель инновационного проекта ООО «ФОТОТЕХ» (фамилия, имя, отчество, должность)
	Носов Д.С. - эксперт пожарной безопасности ООО «МИК Экспертиза» (фамилия, имя, отчество, должность)
секретарь комиссии:	Щеняев В.И. - ст. научный сотрудник ОФ ФГБУ ВНИИПО МЧС России (фамилия, имя, отчество, должность)

приняла участие в подготовке и проведении натурного огневого испытания по оценке эффективности способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания.

В ходе испытаний оценивалась эффективность:

1. Способа предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий основанного на применении водяной завесы формируемой спринклерным оросителем;
2. Способа предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий основанного на снижении площади оконного проема светопрозрачной фасадной конструкции.
3. Способа предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий основанного на применении специальных стеклопакетов обладающих свойствами отражения тепловой энергии.

Испытания проведены по разработанной и утвержденной программе и методике испытаний.

При испытаниях контролировались следующие величины и параметры:

АКТ проведения натурного испытания по оценке эффективности способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания

- среднеобъемная температура внутри помещения при пожаре;
- распределение температурных полей по вертикали фасада с внешней стороны здания;
- высота пламени, вырывающегося с этажа пожара;
- динамика прогрева стеклопакета с электропроводящим слоем;
- динамика прогрева стеклопакетов оконного заполнения над этажом пожара;
- мощность теплового потока падающего на стеклопакет оконного заполнения над этажом пожара;
- температура наружного воздуха, направление и скорость ветра в ходе испытаний;
- по окончании эксперимента оцениваются последствия воздействия пожара на конструкции фасада, характер и размеры зон повреждения;
- по окончании эксперимента оценивается степень повреждения составных элементов исследуемых способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачным фасадам зданий.

Комиссия отмечает:

Натурный огневой эксперимент был проведен в соответствии с утвержденной программой подготовки и проведения натурного испытания.

Цели и задачи испытания были реализованы в полном объеме.

В результате испытания были получены данные, позволяющие установить:

- температурный режим пожара;
- взаимосвязь площади светопрозрачного проема помещения очага пожара и пожарной нагрузки на распределение температурных полей и высоту пламени по фасаду здания;
- устойчивость при пожаре стеклопакета с электропроводящим слоем;
- влияние и эффективность экрана (занавеса) на снижение значений температурных полей и высоты пламени на фасаде здания;
- влияние водяного орошения на устойчивость оконного остекления на вышележащем этаже.

Замечания и предложения комиссии:

Заключение комиссии:

Направление исследований актуально и требует дальнейшего развития. Эксперимент выполнен на высоком научно-техническом уровне. Полученные результаты обладают научной новизной. Выявлена необходимость разработки методик оценки эффективности средств и способов защиты от разрушения светопрозрачных конструкций с учетом условий их применения в зданиях и сооружениях. Установлено, что режим «стандартного пожара» не охватывает возможные тепловые воздействия, которые имеют место при реальных пожарах в высотных зданиях, при которых происходит разрушение светопрозрачных фасадных конструкций, что требует разработки нового метода (ГОСТа) по оценке пожароустойчивости фасадных светопрозрачных конструкций.

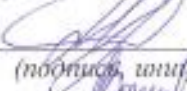
АКТ проведения натурного испытания по оценке эффективности способов предотвращения распространения пожара по светопрозрачному фасаду здания

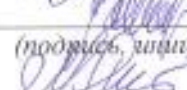
Приложения: Протоколы проведения испытаний на ____ л. в 1 экз.

Председатель комиссии

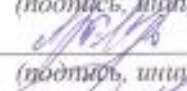

В.И. Безбородов
(подпись, инициалы, фамилия)

Члены комиссии

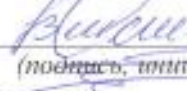

А.В. Щербина
(подпись, инициалы, фамилия)


Е.В. Вагенлейтнер
(подпись, инициалы, фамилия)


М.М. Казиев
(подпись, инициалы, фамилия)


Е.В. Зубкова
(подпись, инициалы, фамилия)


А.В. Митяев
(подпись, инициалы, фамилия)


Д.С. Носов
(подпись, инициалы, фамилия)

Секретарь комиссии:


В.И. Щеняев
(подпись, инициалы, фамилия)

Протокол испытания

(визуальные наблюдения и измерения. Второй эксперимент)

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°C			°C			°C	
16.35 (0,00)	Начало эксперимента	25							
16.41 (6 мин.)	Пламя распространяется по полу в сторону окна	620							
16.42 (7 мин.)	Температура в помещении стабилизируется и начинает снижаться	645		Появляется трещина на первом стекле левой и правой секции					
16.49 (12 мин)		560		Выпадение фрагментов первого стекла левой секции					
16.50 (13 мин)				Выпадение фрагмента первого стекла правой и левой секции.					
16.51 (14 мин)				Выпадение фрагмента второго стекла левой секции.					
16.52 (15 мин)	Открыто оконное отверстие в стене с левой стороны. Температура начинает подниматься	690							
16.53 (16 мин)		746		Разрушение, выпадение внутрь второго стекла левой секции.					
16.55 (18 мин)				Выходит дым в месте примыкания противопожарного пояса. Цвет правого стекла отличается.					
16.56 (19 мин)				Лопнуло правое и левое наружное стекло.					
16.57 (20 мин)		713		Выходит белый дым из стоек.					
16.58 (21 мин)				Вышло первое пламя из окна с левой стороны здания.					
16.59 (22 мин)				Треснуло внешнее стекло правой секции.					
17.00 (23 мин)				Выпадение фрагмента стекла левой секции.					
17.02 (25 мин)		790		Выпадение фрагмента стекла правой секции наружу.					
17.05				Выпадение фрагмента стекла					

Время	Общее наблюдаемое событие	Параметры очага пожара		Событие Фасад 1-го этажа	Параметры теплового воздействия		Событие Фасад 2-3-го этажа	Параметры теплового воздействия	
		°C			°C			°C	
(28 мин)				правой секции наружу.					
17.06 (29 мин)				Трескается стекло правой секции, с характерным звуком.					
17.07 (30 мин)				Разрушение левой секции внутри.					
17.08 (31 мин)				Выход пламя наружу из стойки справа.					
17.08 (31 мин)				Трещины по всей поверхности наружного стекла правой секции.					
17.10 (33 мин)		880		Последовательное разрушение, выпадение стекла правой секции, затем левой секции.					
17.11 (34 мин)				Разрушение пояса.					
17.12 (35 мин)		1048		Подача воды в сплинкерные оросители и опускание защитного экрана					
17.12 (35 мин)							Лопнуло стекло правой секции в уровне второго этажа.		
17.13 (36 мин)							Из стоек в уровне второго этажа выходит пламя.		
17.13 (36 мин)							Разрушено внешнее стекло правой секции в уровне второго этажа.		
17.15 (38 мин)							Выпадение фрагментов внешнего стекла левой секции в уровне второго этажа.		
17.19 (42 мин)	Температура падает, команда на окончание эксперимента.	747							
17.20 (43 мин)	Подача первого ствола воды на тушение.								

Протокол испытания

(изменение температуры на стеклах стеклопакета расположенного на уровне
этажа пожара)

Время, мин	Температура на необогреваемой стороне стекла, °С		
	1 стекло	2 стекло	3 стекло
1	38	41	43
5	62	48	44
10	100	67	50
15	130	115	65
20		173	79
25			168
30			226

Протокол испытания

(максимальные значения температур в нижней части оконного проема второго этажа с течением времени)

	Температура средняя стойка верхний срез +0,5 м °С	Температура средняя стойка верхний срез +1 м °С	Температура средняя стойка верхний срез +1,5 м °С
33 мин.	70	55	49
34 мин.	79	61	51
35 мин.	230	207	412
36 мин.	702	530	434
37 мин.	750	648	467
38 мин.	790	680	490
39 мин.	628	614	404
40 мин.	592	537	412
41 мин.	505	427	324
42 мин.	451	414	352
43 мин.	371	291	232
44 мин.	365	299	246
45 мин.	404	387	332
46 мин.	398	354	289
47 мин.	399	330	268
48 мин.	375	309	253