

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ФАСАДОВ ЗДАНИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОЖАРА ПО НАРУЖНЫМ ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ НА ВЫШЕЛЕЖАЩИЕ ЭТАЖИ

Ботян С.С., Нехань Д.С., Полевода И.И., Шатило Э.Э.

Цель. На основании комплекса теоретических и экспериментальных исследований разработать методику проведения испытаний по оценке влияния конструктивных решений фасадов зданий, на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи.

Методы. Обзор, анализ и сравнение результатов проведенных экспериментальных и теоретических исследований в области распространения пожара по наружным ограждающим конструкциям зданий и сооружений.

Результаты. Проведен обзор научной и нормативной литературы по устройству конструктивных решений фасадов, влияющих на распространение пожара на вышележащие этажи, а также обзор методик оценки их огнестойкости и пожарной опасности. Определены классификационные показатели конструктивных решений, влияющие на распространение пожара по фасадам зданий. На основании полученных данных разработана методика проведения испытаний по оценке влияния конструктивных решений фасадов зданий на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи. Сформулированы общие положения, цель и задачи методики испытаний. Определены параметры испытательных фрагментов здания. Определены расчетные сценарии пожаров (время огневого воздействия, место расположения очага пожара, вид и количество пожарной нагрузки, источник зажигания). Проведена оценка параметров, влияющих на динамику пожара, и определены параметры, которые следует регистрировать в ходе испытаний, а также критерии достижения предельного состояния по пожароустойчивости конструктивных решений фасадов.

Область применения исследований. Разработка и совершенствование требований строительных норм. Проектирование и строительство многоэтажных и высотных зданий.

Ключевые слова: конструктивные решения, фасад, методика, огневые испытания, пожар, пожарная опасность, пожароустойчивость.

(Поступила в редакцию 14 января 2025 г.)

Введение

Современный опыт проектирования и строительства зданий повышенной этажности показывает, что горючие утеплители, а также светопрозрачные конструкции фасадов с применением стеклянных изделий широко применяются и используются при разработке современных ограждающих конструкций зданий.

Пожары в многоэтажных зданиях характеризуются быстрым распространением по наружным ограждающим конструкциям (фасадам) в вертикальном направлении через оконные проемы или по светопрозрачным элементам как при использовании конструкций и/или систем утепления с горючим наполнителем, так и с негорючими материалами. Развитию пожара по фасаду способствуют такие факторы, как мощность очага пожара, горючая отделка фасада, внешние условия (ветер, конвективные потоки, неограниченное количество кислорода, разница давлений внутри и снаружи здания).

В качестве примеров резонансных пожаров (рис. 1) можно привести следующие:

– пожар, произошедший 19 мая 2015 г. в многоэтажном доме в г. Баку (Азербайджанская Республика), в результате которого погибли 15 человек, а также 63 человека были госпитализированы. Особенностью указанного пожара являлось то, что пламенем был охвачен весь фасад здания в первые минуты с момента возгорания;



а – г. Грозный (РФ)



б – г. Баку (Азербайджанская Республика)

Рисунок 1. – Внешний вид фасадов при пожаре в высотных зданиях

– пожар, произошедший 3 апреля 2013 г., в одном из высотных зданий комплекса «Грозный-Сити» в г. Грозный (Российская Федерация), в результате которого нанесен материальный ущерб на сумму более 5 млн долларов США¹, погибших и пострадавших нет.

Особенностью пожаров снаружи зданий является наличие вертикально направленных ветровых потоков, формирующих мощные тепловые потоки вдоль плоскости фасада. Это становится причиной разрушения светопрозрачного заполнения на вышерасположенных этажах и перехода пожара на верхние этажи, а также по горизонтали.

Основная часть

Обзор научной и нормативной литературы по устройству конструктивных решений, влияющих на распространение пожара на вышележащие этажи. К наружным конструкциям зданий (фасадам) предъявляется ряд требований к обеспечению огнестойкости и пожарной опасности, а также перечень конструктивных решений, направленных на ограничение распространения пожара на вышерасположенные этажи. К конструктивным решениям относят:

- устройство противопожарных штор;
- устройство междуэтажных поясов из негорючих материалов;
- устройство козырьков из негорючих материалов;
- нормирование расположения оконных проемов относительно друг друга;
- нормирование огнестойкости заполнений оконных проемов и др.

Анализ требований технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА) и научной литературы по рассматриваемой тематике показывает, что данным вопросом занималось достаточно большое количество ученых из разных стран мира.

Согласно национальным требованиям, изложенным в СН 2.02.05-2020², в наружных стенах зданий для ограничения распространения пожара через оконные проемы на вышерасположенные этажи расстояние по вертикали между проемами должно быть не менее чем

¹ Ущерб от пожара в комплексе «Грозный-сити» оценен в 200 миллионов рублей // belta.by – БелТа / Новости Беларуси. – 2013. – 8 апр. – URL: <https://belta.by/world/view/uscherb-ot-pozhara-v-komplekse-groznyj-siti-otsenen-v-200-millionov-rublej-12188-2013/> (дата обращения: 03.01.2025).

² Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 2.02.05-2020. – Взамен СН 2.02.01-2019, ТКП 45-2.02-315-2018 (33020). – Введ. 04.04.2021. – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 70 с.

1,2 м. Примечательно, что указанные расстояния не нормируются, если перекрытие или другая конструкция из негорючих материалов выступает на расстояние не менее 0,2 м за наружную ограждающую конструкцию или облицовку на отnose классов пожарной опасности КН2 и КН3 либо помещения с указанными проемами оснащены установками автоматического пожаротушения. Вместе с тем, если перекрытие у наружной стены является противопожарным, то оно должно пересекать и выступать не менее чем на 0,3 м за плоскость наружных стен (вентилируемого фасада) зданий, но только если стены и (или) система утепления с внешней стороны (облицовка) выполнены из конструкций классов пожарной опасности К1–К3 и КН1–КН3 соответственно. При этом с помощью такого конструктива решается одна и та же задача.

Привлекает внимание тот факт, что в случае несоблюдения указанного расстояния величиной в 1,2 м действующие требования нормируют не предел огнестойкости конструкций, которые пересекают наружную ограждающую конструкцию или облицовку, а лишь их горючесть. Обеспечит ли выступающая на 0,2 м за наружную ограждающую конструкцию или облицовку на отnose конструкция, выполненная из негорючих материалов, но не обладающая нормированной огнестойкостью? Вопрос остается до конца не изученным и научно необоснованным. Следует отметить также, что в ранее действовавшем ТКП 45-2.02-315-2018³ расстояние 1,2 м не нормировалось, если перекрытие или другая конструкция обеспечивает требуемые пожарно-технические характеристики узлов сопряжения строительных конструкций (предел огнестойкости и класс пожарной опасности) и выступает за наружную стену (облицовку, фасадную систему) на расстояние не менее 0,2 м либо при заполнении проемов противопожарными окнами.

Требования к высоте междуэтажного пояса в разных странах отличаются: в США высота его должна составлять не менее 36 дюймов (0,914 м), в Великобритании – не менее 1 м, в Австралии – не менее 0,9 м, в России, как и в Швеции – не менее 1,2 м [1, с. 25].

Требования по устройству так называемых козырьков существуют в ТНПА некоторых стран мира. Так, в США длина козырька должна быть не менее 30 дюймов (0,762 м), в Австралии – не менее 1,1 м [1, с. 25]. По требованиям действующего в Российской Федерации СП 2.13130.2020⁴ противопожарные перекрытия должны разделять здание и выступать на 30 см от плоскости, допускается заменять такие козырьки междуэтажными поясами высотой 1,2 м с пределом огнестойкости не менее Е60. Вместе с тем результаты экспериментальных исследований и численного моделирования, представленные в работе [2], показали, что перпендикулярный стене козырек, выступающий на 0,74 м за плоскость наружных стен, не позволяет пламени разрушить вышележащее окно.

Результаты проведенных экспериментальных исследований [3] показали, что междуэтажный пояс высотой 1,2 м не способен препятствовать распространению пожара на вышележащие этажи при площади разрушения оконного проема более 1,82 м². Также указанные исследования позволили установить существенные различия в характере поведения светопрозрачных конструкций при развивающемся пожаре и резком воздействии на стеклопакет языков пламени пожара, вышедших наружу. В отличие от внутреннего пожара, наружный интенсивнее воздействует на фасад здания. Значения температуры выходящего пламени, а также тепловых потоков достигают критических для светопрозрачных конструкций, что приводит к их разрушению и переходу пламени на вышележащие этажи.

³ Пожарная безопасность зданий и сооружений. Строительные нормы Республики Беларусь: ТКП 45-2.02-315-2018. – Взамен ТКП 45-2.02-92-2007 (02250), ТКП 45-2.02-142-2011 (02250), ТКП 45-2.02-242-2011 (02250), ТКП 45-2.02-279-2013 (02250), СНиП 2.01.02-85*, СНиП 2.01.02-85*. – Введ. 01.09.2018. – Минск: Минстройархитектуры, 2018. – 57 с.

⁴ Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты: СП 2.13130.2020. – Взамен СП 2.13130.2012. – Введ. 12.09.2020. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2020. – 29 с.

Касательно фасадов, выполненных из стеклянных изделий, следует отметить, что они характеризуются низкими значениями огнестойкости. Данный факт связан с низкой устойчивостью при повышенных и высоких температурах как каркаса фасада (критическая температура алюминиевых профильных систем в зависимости от марки сплавов и нагрузок находятся в интервале от 200 до 350 °С⁵, а стальных комбинированных профилей – 350 °С⁶), так и светопрозрачного заполнения стекла. Стекло характеризуется низкой прочностью при воздействии повышенных и высоких температур, что приводит к его разрушению на начальной стадии пожара и дальнейшему распространению пожара на вышележащие этажи. Разрушение стекла происходит, когда скорость нарастания внутренних напряжений превышает скорость их релаксации. При нагреве внутри стекла так же, как и при ударе, возникают внутренние напряжения, скорость их нарастания зависит от характера развития пожара, свойств стекла, геометрических параметров стеклянной пластины.

Существующая теория разрушения стекла в условиях пожара отталкивается от результатов экспериментальных исследований. Теоретический анализ работ [4–8], посвященных характеру разрушения стекла в условиях пожара, позволяет выделить критерии, при которых происходит его разрушение (потеря целостности):

– достижение критического значения поверхностной плотности падающего теплового потока (20...30 кВт/м² – для одно- и двухкамерных стеклопакетов размером 0,61×0,61 м и 0,91×1,5 м, 9 кВт/м² – листовое стекло размером 0,5×0,5 м толщиной 3 мм);

– разница температур между открытой (подверженной огневому воздействию) и закрытой поверхностью стеклянной пластины (для образцов размером 370×270 мм 60 °С при толщине стеклянной пластины 4 мм; 95 °С – при 5 мм; 129 °С – при 6 мм)⁷;

– температура на поверхности стекла (110 °С – для листового стекла толщиной 6 мм, 330...380 °С – для закаленного стекла толщиной 6 мм, 470...590 °С – для закаленного стекла толщиной 10 мм).

Огнестойкие светопрозрачные фасады характеризуются высокой стоимостью, что объясняет их ограниченное применение. Широкое распространение получили фасады со светопрозрачным заполнением без нормируемого предела огнестойкости, с учетом выполнения ряда конструктивных мер и требований по ограничению распространения пожара в них. Однако, как показывает практика проектирования и строительства фасадов со светопрозрачным заполнением без нормируемого предела огнестойкости, не учитываются особенности развития пожара при выходе пламени на фасад здания и его переход на вышерасположенные этажи, не оцениваются особенности высотного строительства в части появления мощных ветровых и, как следствие, тепловых потоков.

В нормативных документах Российской Федерации⁸ для наружных стен зданий, имеющих светопрозрачные участки с ненормируемым пределом огнестойкости, а также оконные проемы или ленточное остекление, должны выполняться следующие конструктивные требования:

– участки наружных стен в местах примыкания к перекрытиям (междуэтажные пояса) следует выполнять глухими (неоткрывающимися), высотой не менее 1,2 м;

– предел огнестойкости междуэтажных поясов (в том числе узлов примыкания и крепления) должен приниматься с численными значениями: по потере целостности (Е) – как для примыкающего перекрытия, по потере теплоизолирующей способности (И) и достижению

⁵ Еврокод 9. Проектирование алюминиевых конструкций. Часть 1–2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1999-1-2-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 91 с.

⁶ Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1–2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1993-1-2-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Минстройархитектуры, 2010. – 77 с.

⁷ О. Keski-Rahkonen установлено, что критической является разница температур примерно в 80...100 °С между нагреваемой и ненагреваемой поверхностью стекла.

⁸ См. сноску 4.

предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии (W) – как для наружных стен.

В Республике Беларусь существует ряд стандартов СТБ EN 1364-3-2009⁹, СТБ EN 1364-4-2009¹⁰, СТБ 1761-2007¹¹, СТБ 1961-2009¹², используемых для оценки огнестойкости и пожарной опасности фасадов и облицовки зданий, а также эффективности их конструктивных решений в части ограничения распространения пожара на вышерасположенные этажи.

Экспериментальный метод оценки реакции облицовки фасада на воздействие пламени, выходящего через оконный проем, в соответствии с СТБ 1761-2007 (ISO 13785-2:2002) гармонизирован с методикой оценки пожарной опасности систем утепления и облицовок наружных стен зданий согласно СТБ 1961-2009. Следует отметить, что рассмотренные методы применимы для сплошных облицовок и фасадов зданий, в которых возможно устройство оконных проемов. Поскольку светопрозрачное заполнение характеризуется быстрым разрушением при воздействии пожара, что, в свою очередь, приводит к его быстрому распространению на вышележащие этажи, при экспериментальной оценке пожарной опасности учитывается ограничение перехода пожара на смежные этажи. Особенностью исследуемых образцов является обязательный простенок высотой не менее 1 м между верхом оконного проема нижележащего этажа и низом оконного проема вышележащего этажа, что, в свою очередь, не до конца согласуется с устройством междуэтажного пояса, рассмотренного ранее, высотой не менее чем 1,2 м.

Методы оценки огнестойкости систем светопрозрачных навесных фасадов, изложенные в СТБ EN 1364-3-2009, СТБ EN 1364-4-2009, являются аутентичными международным стандартам EN 1364-3:2006, EN 1364-4:2007. Эти методы позволяют провести оценку огнестойкости светопрозрачных фасадов (с огнестойким и не огнестойким остеклением) при размещении пожарной нагрузки с внутренней и наружной стороны, с учетом особенностей разрушения конструкций фасадов (надоконных/подоконных панелей, горизонтальных и вертикальных уплотнений швов строительных элементов, а также креплений для присоединения навесного фасада к элементу перекрытия). Из сказанного следует, что методы испытаний на огнестойкость и пожарную опасность фасадов, изложенные в национальных стандартах Республики Беларусь, не в полной мере учитывают особенности конструктивного исполнения и поведения светопрозрачного фасада при высокотемпературном воздействии, что не позволяет объективно оценить влияние конструктивного исполнения на распространение пожара между этажами, а также огнестойкость светопрозрачного фасада с применением стеклянных изделий. Стандарты, гармонизированные с европейскими, и изложенные в них методики испытаний отражают условия развития пожара внутри помещений и позволяют оценить способность конструкции к предотвращению перехода пожара на смежные этажи.

При оценке огнестойкости отдельной светопрозрачной конструкции учитывается достижение предельного состояния на необогреваемой поверхности конструкции и не учитывается выход пламени из помещения и дальнейшее его распространение на вышележащий этаж. При этом результаты научных теоретических и экспериментальных трудов [4; 5; 9] показывают, что пламя, выходящее из окна горящего помещения, способно разрушить светопрозрачное остекление, расположенное над этажом пожара, и привести к ускорению процесса распространения пожара по зданию.

⁹ Испытания на огнестойкость. Элементы зданий, не несущие нагрузки. Часть 3. Наружные фасады. Полная конфигурация: СТБ EN 1364-3-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2010. – 54 с.

¹⁰ Испытания на огнестойкость. Элементы зданий, не несущие нагрузки. Часть 4. Наружные фасады. Частичная конфигурация: СТБ EN 1364-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2010. – 82 с.

¹¹ Испытания фасадов на воздействие пожара. Часть 2. Крупномасштабные испытания: СТБ 1761-2007 (ISO 13785-2:2002). – Введ. 01.01.2008. – Минск: РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2008. – 24 с.

¹² Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности: СТБ 1961-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: РУП «СТРОЙТЕХНОРМ», 2009. – 26 с.

Таким образом, выполненный анализ классификационных показателей и конструктивных решений фасадов зданий, а также особенностей методик оценки их огнестойкости и пожарной опасности (рис. 2) позволяет сделать вывод о необходимости комплексной и всесторонней экспериментальной оценки эффективности применяемых решений, влияющих на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи.



Рисунок 2. – Классификационные показатели, влияющие на распространение пожара по фасаду здания

Результаты планируемых экспериментальных исследований позволят оценить критерии безопасности рассматриваемых решений, гармонизировать методы экспериментальной оценки огнестойкости с национальными требованиями ТНПА, а также усовершенствовать противопожарные требования, предъявляемые к фасадам зданий.

Методика проведения экспериментальных исследований. Цель испытаний – оценить эффективность применяемых в Республике Беларусь конструктивных решений фасадов зданий в части ограничения распространения пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи зданий.

Сущность методики испытаний на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи зданий заключается в определении времени от начала теплового воздействия в соответствии с настоящей методикой до наступления одного или последовательно нескольких предельных состояний по пожароустойчивости¹³.

Область применения методики. Методика определяет алгоритм и общие требования к проведению испытаний по оценке влияния конструктивных решений фасадов зданий на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи зданий. Оценке эффективности подвергаются следующие конструктивные решения:

¹³ Пожароустойчивость фасада (конструктивного решения) – способность фасада (конструктивного решения) исключить разрушение и ограничивать переход пожара на смежные этажи в условиях создаваемого пожара.

- расположение оконных проемов на расстоянии по вертикали, не превышающем величину 1,2 м;
- устройство между оконными проемами козырьков из негорючих материалов величиной не менее 0,2 м;
- устройство глухого простенка величиной не менее 1,2 м для зон ожидания (отстоя) людей при пожаре в зданиях в части;
- устройство витражных фасадов зданий (выполненных из стеклянных изделий).

Параметры испытательного стенда. Для проведения натуральных огневых испытаний был спроектирован и возведен испытательный стенд, представляющий собой фрагмент трехэтажного здания размером 12×12×10 м. Испытательный стенд запроектирован с плоскими монолитными дисками перекрытия и монолитными стенами. Прочность, устойчивость и пространственная жесткость здания обеспечивается совместной работой вертикальных конструкций (монолитных стен) и монолитного перекрытия. Фундамент ленточный из бетона класса $C^{25}/_{30}$. Вертикальные несущие конструкции здания – стены из монолитного бетона класса $C^{25}/_{30}$, толщиной 220 мм. Перекрытия – сплошные монолитные диски из бетона класса $C^{25}/_{30}$, толщиной 220 мм. Лестничные марши и площадки выполнены монолитными из бетона класса $C^{25}/_{30}$. Для защиты железобетонных конструкций от трещинообразования в бетоне и возможности проведения многократных опытов в соответствующих зонах перед проведением испытаний выполняется защита внутренних поверхностей стен и перекрытий минераловатными плитами на негорючей основе.

Испытательный стенд включает три вида фрагментов:

Фрагмент № 1. Конструктивное решение, включающее выступающие элементы (козырьки, негорючие перекрытия или иные конструкции из негорючих материалов). Очаг пожара находится в помещении 1-го этажа. Одной из целей испытаний является оценка влияния указанного конструктивного решения на ограничение распространения пожара между этажами.

Фрагмент № 2. Конструктивное решение по нормированию расположения оконных проемов на расстоянии по вертикали 1,2 м, а также по устройству зоны для ожидания (отстоя) людей при пожаре в здании, в части устройства глухого простенка величиной 1,2 м. Очаг пожара находится в помещении 1-го этажа. В процессе указанных испытаний контролируется воспламенение пожарной нагрузки в смежных от пожара помещениях и распространение опасных факторов пожара на лоджию (зону отстоя людей при пожаре).

Фрагмент № 3. Конструктивное решение, по устройству витражного фасада здания (выполненного из стеклянных изделий). Очаг пожара находится в помещении 1-го этажа. Указанные испытания направлены на изучение поведения стеклянных фасадов на распространение пожара между этажами здания. Образец для испытаний должен состоять из системы навесного фасада и горизонтального продольного уплотнителя швов в местах соединений элементов и креплений к опорному перекрытию.

Расчетные сценарии пожара. Величина, способ размещения и характеристики применяемой для испытаний пожарной нагрузки основываются на нормативных подходах, условиях эксплуатации объекта, учитывают предпосылки наиболее неблагоприятных ситуаций воздействия опасных факторов пожара на исследуемые объекты.

Для проведения испытаний по фрагментам № 1 и 2 будет использована переменная пожарная нагрузка как для жилых помещений (согласно СН 2.01.03-2019¹⁴ и СТБ 2129¹⁵ удельная временная пожарная нагрузка составляет 948 МДж/м², в эквиваленте к древесине (с низшей теплотой сгорания 13,8 МДж/кг) – 69 кг/м²), для фрагмента № 3 – для офисных

¹⁴ Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости: СН 2.01.03-2019. – Введ. 08.09.2020. – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 43 с.

¹⁵ Здания и сооружения. Порядок определения пожарной нагрузки: СТБ 2129-2010. – Введ. 01.07.2011. – Минск: Минстройархитектуры, 2011. – 30 с.

(согласно СН 2.01.03-2019 и СТБ 2129 удельная временная пожарная нагрузка составляет 511 МДж/м^2 , в эквиваленте к древесине (с низшей теплотой сгорания $13,8 \text{ МДж/кг}$) – 37 кг/м^2). Указанные значения переменной пожарной определены из распределения Гумбеля, при этом они не превышаются в течение 80 % интервала времени эксплуатации пожарной нагрузки в рассматриваемых помещениях¹⁶.

Реальная пожарная нагрузка, как правило, заменяется эквивалентной пожарной нагрузкой на основе древесины. На скорость тепловыделения при пожаре существенное влияние оказывает влажность древесины. Для испытаний должна использоваться древесина с весовой влажностью не более 15 %, которую необходимо измерять непосредственно перед испытанием. В дальнейшем при анализе результатов испытаний фактическая влажность древесины должна быть принята во внимание. В качестве горючего материала рекомендуется использовать бруски хвойных пород не ниже 3-го сорта сечением $(40 \pm 5) \text{ мм}$ и длиной $(800 \pm 10) \text{ мм}$.

Использование древесины плотностью 500 кг/м^3 с теплотой сгорания $13,8 \text{ МДж/кг}$ требует создания от 9 до 16 модельных очагов (в зависимости от испытательного фрагмента), состоящих из 242 брусков (24 ряда по 10 брусков и два опорных бруска размером $40 \times 40 \times 800 \text{ мм}$), номинальным размером $800 \times 800 \times 1000 \text{ мм}$. Модельный очаг устанавливается на металлические балки, выполненные высотой 200 мм и длиной не менее 1000 мм. Рекомендуется металлические балки (для всех очагов пожарной нагрузки) сварить (собрать) в единый каркас. При испытании должны оцениваться изменения массы и скорости выгорания пожарной нагрузки¹⁷.

Место расположения и способы размещения горючей нагрузки должны обеспечивать условия создания наиболее критической ситуации с точки зрения воздействия пожара на наружные конструкции фасада здания, а также отражать условия ее размещения, характерные для жилых/офисных помещений.

В качестве первичного источника пожара принимается очаг площадью проекции около $1,0 \text{ м}^2$, размещаемый в центре помещения. Розжиг начинается с внутренней части штабелей, расположенных в центральной части помещения. Для его воспламенения применяется дизельное топливо или керосин объемом $0,25 \text{ л}$ на один штабель, которым около $\frac{1}{4}$ части штабеля, обращенной к центру помещения, обливается перед началом испытаний. Розжиг следует проводить не менее чем 2 операторами с помощью предварительно изготовленных факелов с ручкой длиной от $0,7$ до $1,0 \text{ м}$. Следует равномерно пролить бруски, дать жидкости впитаться в древесину в течение от 1 до 3 мин. Розжиг считается завершенным с момента воспламенения не менее $\frac{1}{4}$ части четырех штабелей.

За продолжительность испытаний принимается минимальное значение среди времени:

- достижения предельного состояния по пожароустойчивости фасада (конструктивного решения);
- полного выгорания пожарной нагрузки;
- до момента снижения среднеобъемной температуры в помещении пожара до $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

¹⁶ См. сноску 14.

¹⁷ Данные об изменении массы пожарной нагрузки позволяют контролировать ход протекания экспериментов (воспроизводимость в ходе натурных испытаний результатов предварительных расчетов), провести сравнительный анализ справочных данных (для ранее проводимых исследований и лабораторных экспериментов) с получаемыми в ходе планируемых экспериментов, установить время наступления установившейся скорости выгорания пожарной нагрузки в зависимости от ее характеристик, параметров помещения при пожаре и т.д.

Получение экспериментальных данных по изменению массы пожарной нагрузки с заданными характеристиками: удельная массовая скорость выгорания, теплота сгорания, линейная скорость распространения пламени (заранее определенными в лабораторных условиях), с учетом параметров натурального фрагмента, позволит начать работу по приведению результатов лабораторных данных к натурным с учетом масштабного фактора и характеристик помещения, пополнить банк справочных данных.

При отсутствии угрозы для испытателей и принятия мер по тушению пожара (в случае необходимости) после достижения предельного состояния по пожароустойчивости фасада (конструктивного решения) допускается не прекращать огневые испытания и проводить измерения требуемых параметров.

Критерии достижения предельного состояния по пожароустойчивости конструктивных решений фасадов по ограничению распространения пожара. Для корректной и объективной оценки результатов испытаний необходимо сформулировать критерии, используемые для оценки достижения предельного состояния по пожароустойчивости фасада (конструктивного решения) в зависимости от его назначения. Исходя из используемых показателей для оценки предельных состояний по огнестойкости и пожарной опасности строительных конструкций и систем утепления, в настоящей методике приняты следующие критерии достижения предельного состояния по пожароустойчивости фасада (конструктивного решения):

1. Разрушение, обрушение или выпадение фрагментов светопрозрачного заполнения фасада и/или проема вышележащего этажа (при наличии элементов систем утепления, навесных наружных панелей).

2. Пламенное горение длительностью 10 с и более при наличии элементов систем утепления, навесных наружных панелей, расположенных на фасаде.

3. Пламенное горение длительностью 10 с и более источника пожарной нагрузки¹⁸ на вышележащем этаже.

4. Достижение критической температуры в локальной зоне¹⁹ расположения источника пожарной нагрузки – температуры, превышающей температуру до начала испытания в среднем более чем на 140 °С или локально более чем на 180 °С.

Регистрируемые параметры. В ходе проведения испытаний необходимо регистрировать следующие параметры:

– среднеобъемная и локальная температура внутри помещения, в котором происходит сжигание пожарной нагрузки (установку термоэлектрических преобразователей (далее – ТП) производить не менее чем в трех горизонтальных плоскостях на расстоянии (500 ± 20) мм, (1400 ± 20) мм, (2300 ± 20) мм от уровня пола. В каждой из этих плоскостей ТП рекомендуется устанавливать следующим образом: одну в центре плоскости; остальные равномерно по плоскости на расстоянии друг от друга не более 2 м, но не ближе 0,2 м от поверхности стен. При этом общее количество ТП в каждой плоскости должно быть не менее 5);

– среднеобъемная и локальная температура в локальной зоне расположения источника пожарной нагрузки внутри помещения, расположенного выше этажа пожара (установку ТП производить не менее чем в трех горизонтальных плоскостях на расстоянии (500 ± 20) мм, (1400 ± 20) мм, (2300 ± 20) мм от уровня пола и не более 2 м от проема в помещении);

– распределение температурных полей вдоль фасада здания (установку ТП производить рассредоточено вдоль междуэтажного пояса на расстоянии друг от друга не более 500 мм по высоте, не более 1000 мм по ширине и не менее 100 мм от стены);

– температура на обогреваемой и необогреваемой поверхности стеклопакета оконных проемов помещений этажа пожара и вышележащего этажа (установку ТП производить в центре плоскостей (прямоугольников), образованных путем деления (плоскости) оконного проема на три равных по высоте части);

– температура окружающей среды;

– направление и скорость ветра с четырех сторон здания в ходе испытаний;

¹⁸ Под источником понимается расположенная на вышележащем этаже вблизи проема горючая пожарная нагрузка в виде предметов декора и отделки помещений.

¹⁹ Под локальной зоной понимается зона на расстоянии не более 2 м относительно проема на вышележащем этаже относительно помещения пожара.

– параметры среды в зоне для ожидания (отстоя) людей (лоджии) (температура, оптическая плотность дыма, концентрации продуктов горения и кислорода, время и место появления пламени в ней) (установку ТП производить в количестве не менее двух в каждой плоскости на высоте (500 ± 20) мм, (1400 ± 20) мм, (2300 ± 20) мм от уровня пола посередине ширины лоджии, предусмотреть установку датчиков угарного газа, углекислого газа, кислорода, оптической плотности (лазер-приемник, люксметр) на высоте (500 ± 20) мм и (1700 ± 20) мм от уровня пола);

Помимо указанных параметров должны осуществляться:

– фотосъемка и видеозапись процесса горения внутри помещения с очагом пожара (с передней и боковой сторон фасада);

– фото- и тепловизионная съемка²⁰ параметров пламени (с передней и боковой стороны фасада), в том числе выходящего на фасад экспериментального фрагмента (с последующей оценкой его температуры и размеров, с учетом предварительно отмеченных маркеров по высоте и показаний тепловизора);

– фиксация времени разрушения каждого листа стеклопакетов фасада и иных условий протекания испытаний (на основе визуальных наблюдений);

– визуальная оценка поведения светопрозрачного фасада здания.

Измерительные приборы должны обеспечивать непрерывную запись или дискретную регистрацию параметров с интервалом не более 60 с (рекомендуемое значение – 15...30 с). Все измеряемые параметры с заданной дискретностью должны быть указаны в протоколе испытаний или приложениях к нему.

Приборы и оборудование, используемые для испытаний, должны обеспечивать назначенную точность измерения и регистрации фиксируемых параметров, прошедшие специальный контроль и поверку.

Проводить повторные испытания фрагмента допускается только после его восстановления до уровня, соответствующего технической документации. После отдельного испытания проводится оценка и делается вывод о возможности повторного проведения испытаний.

Заключение

1. Пожары в многоэтажных зданиях характеризуются их быстрым распространением по наружным ограждающим конструкциям (фасадам) как при использовании конструкций и/или систем утепления с горючим наполнителем, так и с негорючими материалами с распространением в вертикальном направлении через проемы или по светопрозрачным элементам. Для ограничения распространения пожара по фасаду зданий регламентируются огнестойкость и пожарная опасность изделий фасадов, а также их конструктивные решения. К ним относятся: устройство противопожарных штор, устройство междуэтажных поясов из негорючих материалов, устройство козырьков из негорючих материалов, расположение оконных проемов относительно друг друга, огнестойкость заполнений оконных проемов.

2. Анализ требований ТНПА и научной литературы по регламентируемым классификационным показателям, конструктивным решениям фасадов зданий, а также особенностям методик оценки их огнестойкости и пожарной опасности позволяют сделать вывод о необходимости комплексной и всесторонней экспериментальной оценки эффективности применяемых решений, влияющих на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи. Результаты такой оценки позволят оценить критерии безопасности рассматриваемых решений и усовершенствовать противопожарные требования, предъявляемые к фасадам зданий.

²⁰ При этом место установки тепловизора должно позволять контролировать всю необогреваемую поверхность фрагмента в соответствии с техническими характеристиками тепловизора. Для корректного измерения температуры тепловизором следует учитывать степень черноты поверхности.

3. Разработана методика проведения испытаний по оценке влияния конструктивных решений фасадов зданий на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи. Сформулированы общие положения, цель и задачи методики испытаний. Классифицированы испытания, проводимые на испытательном стенде, представляющем собой фрагмент трехэтажного здания. Определены расчетные сценарии пожара (время огневого воздействия, место расположения, вид и количество пожарной нагрузки, источник зажигания пожара). Установлены перечень необходимых для измерения (оценки) в ходе испытаний параметров, а также критерии достижения предельного состояния по пожароустойчивости конструктивных решений фасадов, при котором не обеспечивается ограничение пожара по фасаду в вертикальном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хасанов, И.Р. Тепловые воздействия на наружные конструкции при пожаре / И.Р. Хасанов // Пожарная безопасность. – 2013. – № 4. – С. 16–26. – EDN: RPZWZZ.
2. Study on the Prevention of Fire-Spread Caused by Hot Upward Current: Report of the Building Research Institute / The Building Research Institute, Ministry of Construction; S. Yokoi. – Tokyo, 1960. – 137 p. – No. 34.
3. Безбородов, В.И. Устойчивость при пожаре фасадных светопрозрачных конструкций высотных жилых зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Безбородов Владимир Игоревич; Академия государственной противопожарной службы МЧС России. – Москва, 2019. – 161 л.
4. Keski-Rahkonen, O. Breaking of Window Glass Close to Fire / O. Keski-Rahkonen // Fire and Materials. – 1988. – Vol. 12. – P. 61–69. – DOI: 10.1002/fam.810120204.
5. Pagni, P.J. Glass Breaking in Fires / P.J. Pagni, A.A. Joshi // Proc. of 3rd Int. Science Symp. «Fire Safety Science», London, Elsevier Applied Science. – 1991. – P. 791–802. – DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.3-791.
6. Святкин, Г.К. Расчетная модель разрушения остекления при тепловом воздействии пожара / Г.К. Святкин // Пожаровзрывобезопасность. – 1993. – № 4. – С. 54–57.
7. Святкин, Г.К. Расчетная модель разрушения остекления в виде тонкой свободной пластины при тепловом воздействии пожара / Г.К. Святкин // Пожаровзрывобезопасность. – 1994. – № 4. – С. 76–77.
8. Дудунов, А.В. Пожароустойчивость светопрозрачного заполнения оконных строительных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Дудунов Андрей Владимирович; Академия государственной противопожарной службы МЧС России. – Москва, 2010. – 128 л.
9. Window Breakage Induced by Exterior Fires: Report of the Building and Fire Research Laboratory of the NIST / United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology; F.W. Mowrer. – Gaithersburg, MD, 1998. – 48 p. – No. NIST-GCR-98-751.

Методология оценки влияния конструктивных решений фасадов зданий на распространение пожара по наружным ограждающим конструкциям на вышележащие этажи

Methodology for assessing the impact of building facade design on fire propagation through exterior envelopes to overlying floors

Ботян Сергей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра пожарной безопасности, начальник кафедры
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, Беларусь, г. Минск
Email: aseckis@mail.ru
SPIN-код: 5948-1623

Sergey S. Botyan

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Fire Safety, Head of the Chair
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Belarus, Minsk
Email: aseckis@mail.ru
ORCID: 0000-0002-8593-4413

Нехань Денис Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», кафедра пожарной безопасности, доцент
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, Беларусь, г. Минск
Email: denis_nechany@mail.ru
SPIN-код: 3773-9964

Denis S. Nekhan'

PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Chair of Fire Safety, Associate Professor
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Belarus, Minsk
Email: denis_nechany@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7838-4663

Полевода Иван Иванович

доктор технических наук, доцент
Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», начальник университета
Адрес: ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Беларусь
Email: ip@ucp.by
SPIN-код: 1662-9457

Ivan I. Palevoda

Grand PhD in Technical Sciences, Associate Professor
State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Head of University
Address: Mashinostroiteley str., 25, 220118, Minsk, Belarus
Email: ip@ucp.by
ORCID: 0000-0003-2469-3553

Шатило Эдуард Эдуардович

Научно-проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «Стройтехнорм», заместитель генерального директора по оценке соответствия
Адрес: ул. Кропоткина, 89, 220002, г. Минск, Беларусь
Email: shatilo@stn.by

Eduard E. Shatilo

Scientific Designing-Manufacturing Republican Unitary Enterprise «STROYTEKH NORM», Deputy Director General for Conformity Assessment
Address: Kropotkina str., 89, 220002, Minsk, Belarus
Email: shatilo@stn.by

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE IMPACT OF BUILDING FACADE DESIGN ON FIRE PROPAGATION THROUGH EXTERIOR ENVELOPES TO OVERLYING FLOORS

Botyan S.S., Nekhan' D.S., Palevoda I.I., Shatilo E.E.

Purpose. On the basis of theoretical and experimental studies to develop a test methodology for assessing the impact of structural solutions of building facades on the spread of fire through the exterior envelope to the overlying floors.

Methods. Review, analysis and comparison of the results of experimental and theoretical studies conducted in the field of fire propagation through the exterior envelope of buildings and structures.

Findings. A review of scientific and regulatory literature on the design of facade structural solutions that affect the spread of fire to the overlying floors, as well as the features of methods for assessing their fire resistance and fire hazard has been carried out. Classification indicators of structural solutions affecting the fire spread on the facades of buildings were determined. On the basis of the obtained data the methodology of testing to assess the impact of structural solutions of building facades on the spread of fire through the exterior envelope structures on the overlying floors is developed. The general provisions, purpose and objectives of the test methodology are formulated. The parameters of the building test fragments are determined. Estimated fire scenarios (time of fire impact, location of the hearth, type and quantity of fire load, ignition source) are determined. The parameters influencing the fire dynamics were evaluated and the parameters to be recorded during the tests were determined, as well as the criteria for reaching the limit state of fire resistance of facade structural solutions.

Application field of research. Development and improvement of building code requirements. Design and construction of multi-storey and high-rise buildings.

Keywords: structural solutions, facade, methodology, fire tests, fire, fire hazard, fire resistance.

(The date of submitting: January 14, 2025)

REFERENCES

1. Khasanov I.R. Teplovye vozdeystviya na naruzhnye konstruksii pri pozhare [Heat effects on external designs at a fire]. *Fire Safety*, 2013. No 4. Pp. 16–26. (rus). EDN: RPZWZZ.
2. Yokoi S. Study on the Prevention of Fire-Spread Caused by Hot Upward Current: Report of the Building Research Institute. The Building Research Institute, Ministry of Construction. Tokyo, 1960. 137 p. No. 34.
3. Bezborodov V.I. *Ustoychivost' pri pozhare fasadnykh svetoprozrachnykh konstruksiy vysotnykh zhilykh zdaniy* [Fire stability of facade translucent structures of high-rise residential buildings]. PhD tech. sci. diss.: 05.26.03. Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Moscow, 2019. 161 p. (rus)
4. Keski-Rahkonen O. Breaking of Window Glass Close to Fire. *Fire and Materials*, 1988. Vol. 12. Pp. 61–69. DOI:10.1002/fam.810120204.
5. Pagni P.J., Joshi A.A. Glass Breaking in Fires. *Proc. of 3rd Int. Science Symp. «Fire Safety Science», Elsevier Applied Science*. London, 1991. Pp. 791–802. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.3-791.
6. Svyatkin G.K. Raschetnaya model' razrusheniya ostekleniya pri teplovom vozdeystvii pozhara [Calculation model of glazing destruction under the thermal effect of fire]. *Fire and Explosion Safety*, 1993. No. 4. Pp. 54–57. (rus)
7. Svyatkin G.K. Raschetnaya model' razrusheniya ostekleniya v vide tonkoy svobodnoy plastiny pri teplovom vozdeystvii pozhara [Calculation model of the glazing destruction in the form of a thin free plate under the thermal effect of a fire]. *Fire and Explosion Safety*, 1994. No. 4. Pp. 76–77. (rus)
8. Dudunov A.V. *Pozharoustoychivost' svetoprozrachnogo zapolneniya okonnykh stroitel'nykh konstruksiy* [Fire resistance of the translucent filling of the window building structures]. PhD tech. sci. diss.: 05.26.03. Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Moscow, 2010. 128 p. (rus)
9. Mowrer F.W. *Window Breakage Induced by Exterior Fires*: Report of the Building and Fire Research Laboratory of the NIST No. NIST-GCR-98-751. United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology. Gaithersburg, MD, 1998. 48 p.

Copyright © 2025 Botyan S.S., Nekhan' D.S., Palevoda I.I., Shatilo E.E.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.