



Экспериментальные и теоретические исследования показателей пожарной опасности фасадной системы «Техноком»

О.Б. Ламкин¹, М.В. Гравит², О.В. Недрышкин³

¹ООО "Центр строительного контроля, 295026, г. Симферополь, ул. Гагарина, д. 14

²⁻³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье

УДК 69.055.42-761

История

Подана в редакцию 3 мая 2015

Ключевые слова

светопрозрачная фасадная конструкция;
предел огнестойкости;
предельное состояние;
потеря целостности;
потеря несущей способности;
распространение пламени;
продукты горения;
компенсирующие мероприятия;

АННОТАЦИЯ

Объектом исследования является композиционная светопрозрачная фасадная система "Техноком" тип Alucobond A2 ТУ 562-006-51924160-2008. В процессе работы проводились экспериментальные и теоретические исследования показателей пожарной опасности и пределов огнестойкости фасадной системы. Задачами исследования является определение соответствия применяемой фасадной системы специальным техническим требованиям по пожарной безопасности. В результате исследования разработаны компенсирующие мероприятия, направленные на снижение пожарной опасности и повышение пределов огнестойкости фасадной системы.

Содержание

1.	Введение	43
2.	Обзор литературы	43
3.	Постановка целей и задач	43
4.	Описание исследования	44
5.	Описание фасадной системы	45
6.	Расчет площади и продолжительности возможного пожара на этаже	45
7.	Методика испытаний	46
8.	Результаты испытаний	46
9.	Орошение водой оконного проема на этаже пожара	47
10.	Устройство противопожарных отсеков в припотолочной части помещений	49
11.	Ограничение распространения горения по декоративным элементам блоков фасада	51
12.	Заключение	52

¹ Контактный автор:
+7(903) 776 1189, lab02@yandex.ru (Ламкин Олег Борисович, канд. техн. наук, директор)

² +7(921) 912 6407, marina.gravit@mail.ru (Гравит Марина Викторовна, канд. техн. наук, доц., заместитель заведующего кафедры по НИРС)

³ +7(999) 205 5852, nedryshkin@gmail.com (Недрышкин Олег Вячеславович, аспирант)

1. Введение

Технологии наружных фасадных систем зданий в России широко распространены и за последние 10 лет в нашей стране реализовано более 4 млн. м² таких конструкций [1].

Использование в практике строительства большого количества различных конструкций светопрозрачных фасадных систем требует повышения уровня пожарной безопасности зданий и сооружений, т.к. низкая огнестойкость стекла и несущих алюминиевых конструкций может приводить к быстрому переходу пожара с этажа на этаж в результате разрушения фасада, распространению пламени по горючим декоративным элементам (тушение которых затруднено из-за наличия протяженных скрытых полостей), гибели людей и существенному материальному ущербу.

Сложность решения проблемы обеспечения огнестойкости светопрозрачных фасадов определяется следующими факторами:

- закаленное стекло при пожаре имеет низкий предел огнестойкости;
- несущие или опорные конструкции фасада выполнены, как правило, из тонких стальных и алюминиевых элементов, прогреваемых в условиях пожара за 5 – 10 минут;
- возможностью распространения пламени пожара по полостям и возможно утеплителю, ветрогидрозащитным, декоративным горючим элементам и внешней отделке.

Таким образом, проблема обеспечения пожарной безопасности светопрозрачных и комбинированных фасадных систем является сложной научно-технической задачей.

Стойечно-ригельные светопрозрачные фасадные конструкции являются новым видом строительной продукции, при этом существующие методы позволяют объективно оценить огнестойкость и пожарную опасность [2 - 6].

В настоящее время проблема решается следующими путями:

- исследование условий распространения пламени по фасадным конструкциям и пожарной опасности их элементов;
- совершенствование методов испытаний фасадных систем;
- разработка методов снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости как систем в целом, так и их элементов во взаимосвязи со всем комплексом противопожарных мероприятий здания.

2. Обзор литературы

Разработка нормативных документов [2 - 6] по методам определения огнестойкости и пожарной опасности светопрозрачных систем и их отдельных элементов обусловлено результатами анализа крупных пожаров и теоретическими расчётами на их основе, исследованием процессов распространения опасных факторов пожара по светопрозрачным и вентилируемым фасадам, процессов теплопередачи и конвективного теплообмена. Однако, в связи с многообразием архитектурных, объемно-планировочных и конструктивных решений, а также различием в требованиях к огнестойкости конструкций зданий различных классов функциональной пожарной опасности не всегда удаётся стандартизировать динамику развития пожара.

В работе [7 - 11] авторы рассматривают естественную вентиляцию зданий и особенности остекленных вентилируемых фасадов, анализируются вопросы естественной вентиляции, теплопередачи и защиты от перегрева двойных вентилируемых фасадов. Проблемы огнестойкости остекленных конструкций исследуются в [12 – 16], в том числе с использованием различных методов математического моделирования [17 - 19].

3. Постановка целей и задач

Применение существующей нормативной базы, регламентирующей методы испытаний наружных ненесущих стен зданий на пожарную опасность [6] для рассматриваемой фасадной системы невозможно, так как требования данного документа не распространяются на исследуемый тип фасадной системы.

Решение данной задачи представляется за счет использования метода натуральных огневых испытаний конструкций с учетом расчетного сценария пожара в рассматриваемом здании (согласно п.1.4 [6]), [12].

В результате была поставлена задача определения соответствия применяемой на объекте – "41-этажное офисное здание" композиционной светопрозрачной фасадной системы "Техноком" типа Alucobond A2 ТУ 562-006-51924160-2008 требованиям специальных технических условий (далее – СТУ) "41-этажное офисное здание" по адресу: г. Москва, САО, Хорошевский пр-д., вл. 20", разработанным ООО "Противопожарная строительная компания "Покровка", и при необходимости, разработка комплекса мероприятий, направленных на её совершенствование.

Цели:

- исследование огнестойкости светопрозрачных комбинированных фасадных систем "Техноком" типа Alucobond A2 ТУ 562-006-51924160-2008 запроектированных на объекте – "41-этажное офисное здание" по адресу: г. Москва, САО, Хорошевский пр-д., вл 20, блок "В";
- определение возможности снижения пожарной опасности фасадной системы "Техноком" ТУ 562-006-51924160-2008 и разработка мероприятий, направленных на обеспечение выполнения требований СТУ.

4. Описание исследования

Предел огнестойкости светопрозрачных фасадов – время от начала теплового воздействия на конструкцию до наступления предельного состояния, которым считается потеря целостности (Е) при воздействии пламени стандартного и внешнего пожара. Предельное состояние может возникать как при потере целостности ограждающей конструкции, так и при потере несущей способности элементов ее крепления к несущим конструкциям здания [3, 20, 21].

Распространение пламени по декоративной отделке фасадной системы при воздействии теплового потока определяется по [22].

Особенностью светопрозрачных конструкций фасада зданий является низкая огнестойкость остекления и элементов его крепления к несущим конструкциям здания – как правило, Е 4 – Е 6 [7, 11, 12, 14, 20, 21 - 27]. При пожаре в здании со светопрозрачными ограждающими конструкциями через промежуток времени от начала пожара в помещении, равному пределу огнестойкости конструкции по признаку потери целостности, происходит разрушение остекления или элементов его крепления. Затем тепловой поток, образуемый горением, воздействует на конструкции фасада вышележащего этажа. В результате воздействия продуктов горения, выходящих через проем на этаже пожара, происходит разрушение остекления или элементов крепления фасада к конструкциям здания на вышележащем этаже, после чего пожар распространяется в его помещения. Если не принимать мер по обеспечению требуемого предела огнестойкости конструкции или созданию комплекса мероприятий, компенсирующих пожарную опасность конструкции и здания, то происходит полное выгорание здания.

Данные обстоятельства позволили сформулировать программу работ по определению возможности применения исследуемых светопрозрачных и комбинированных фасадных систем в здании и установления их соответствия требованиям СТУ. Работа состояла из следующих основных этапов:

1. Установление предела огнестойкости и механизма разрушения исходного фасада – фрагмента фасадной системы модульного типа, из ограждающих конструкций для фасадных систем "Техноком" ТУ 562-006-51924160-2008;

2. Установление возможности применения компенсирующих мероприятий:

- орошение остекления светопрозрачной конструкции с внутренней стороны на этаже пожара;
- обеспечение огнестойкости элементов и конструкций крепления стеклопакета;
- устройство отсечек, экранов, облицовок для огнезащиты крепёжных элементов фасада и снижения температуры пламени внешнего пожара;
- устройство во внутренних полостях декоративных элементов огнепреграждающих поясов и огнезащитная обработка данных полостей с целью предотвращения распространения пламени;
- определение целесообразности применения этих мероприятий и оптимизации их сочетания.

3. Проведение огневых испытаний фрагментов фасадной системы с компенсирующими мероприятиями и определение возможности применения исследуемой системы.

Установить возможность распространения пожара на этажи здания, соседние с этажом возникновения пожара, позволяет проведение натурных огневых испытаний светопрозрачных конструкций фасада. Результатом проведения таких огневых испытаний является получение экспериментальных данных о пределе огнестойкости светопрозрачных конструкций фасада и на этой основе установление возможности распространения пожара по фасаду в условиях, близких к условиям реальных пожаров.

В СТУ на проектирование противопожарной защиты объекта, как в нормативном документе на его проектирование, требования к фасадным системам сформулированы следующим образом:

- предусмотреть мероприятия, ограничивающие распространение пожара с этажа пожара на соседние этажи в течение 60 минут;
- применение средств огнезащиты крепёжных элементов светопрозрачных конструкций фасада, обеспечивающих предел огнестойкости не менее R 60;
- применение специальных огнезащитных покрытий и средств, ограничивающих распространение пламени пожара по внутренним поверхностям декоративных элементов светопрозрачных конструкций фасада;
- применение огнестойких стёкол с пределом огнестойкости не менее E 60;
- в случае применения в здании штатного остекления (не огнестойкого), разработать дополнительные мероприятия, обеспечивающие нераспространение пожара с одного этажа на другой в течение 60 минут;
- принятые решения обосновать проведением расчётов и огневых испытаний.

5. Описание фасадной системы

Фасадная система – модульного типа, из ограждающих конструкций для фасадных систем "Техноком", ТУ 562-006-51924160-2008. Остекление блоков осуществлено светопрозрачными однокамерными стеклопакетами толщиной 38 мм, выполненными по схеме: внешнее стекло – триплекс 6.6.2 Stopsol Supersilver Clear (SSC) (производства фирмы "Glaverbel", Бельгия), дистанционная рамка 16 мм, внутреннее стекло – прозрачное стекло "Pilkington" 10M1 закаленное (продукция произведена на территории России). Каркас блоков собран из алюминиевых профилей HUEK (производства фирмы "Eduard Huek GmbH & Co. KG", Германия).

Непрозрачное заполнение декоративного элемента выполнено по следующей схеме:

- панель слоистая "Технология Алюкобонд" типа Alucobond A2, толщиной 4 мм;
- тонколистовая оцинкованная сталь толщиной 0,55 мм;
- плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем КАВИТИ БАТТС по ТУ 5762-009-45757203-2000, толщиной 150 мм, плотностью 45 кг/м³.

По длинам стыковых соединений между блоками образца проложен резиновый уплотнитель.

6. Расчет площади и продолжительности возможного пожара на этаже

Возможная площадь пожара ($S_{п}$) [28] на момент разрушения остекления фасада на этаже рассчитывается по формуле:

$$S_{п} = \pi \frac{R^2}{2} \quad (1)$$

$$R = 5V_{л} + V_{л}T \quad (2)$$

$$V_{л} = 0,5V_{л}^{норм} \quad (3)$$

где: $S_{п}$ – площадь пожара, м²;

R – расстояние, на которое распространился фронт пламени, м;

$V_{л}$ – скорость распространения горения, м/мин;

$V_{л}^{норм}$ – нормированная скорость распространения горения (1 - 1,5 м/мин);

T – время свободного горения, мин.

Проведенные по формулам 1 - 3 расчёты показывают, что площадь пожара может достигать 480 - 500 м², в этом случае количество проемов светопрозрачной конструкции, на которые одновременно может воздействовать пожар, составит до 10 проемов на этаже пожара.

На основании обобщения многочисленных обследований и анализа проектных материалов [22, 25, 27] установлено, что средняя удельная пожарная нагрузка в рассматриваемом здании составляет 32 кг/м² в пересчете на древесину, а средняя пожарная нагрузка наиболее заполненных мебелью комнат – до 50 кг/м². Поэтому в жилых и офисных зданиях эта величина, как правило, принимается максимально возможной, т.е. равной 50 кг/м². К таким же выводам, на основании результатов многочисленных обследований [29], пришла и комиссия по жилищному строительству в США, которой установлено, что количество горючих материалов в большинстве помещений административных зданий и учебных заведений может быть принято равным 50 кг/м². Расчётным путём установлено, что в жилых и общественных зданиях, в которых количество горючих материалов принято равным $q = 50$ кг/м², соотношение площади помещения и площади окон – $F_{пом.}/F_{ок}=7$.

Тогда, расчетная продолжительность пожара T [28] составляет 60 мин:

$$T = \frac{0,16F_{пом}q}{F_{ок}n} \quad (4)$$

где: n – коэффициент, характеризующий скорость выгорания веществ (для древесины 50 кг/м² $n = 56$ кг/м² ч.

Таким образом, требование СТУ о необходимости обеспечения нераспространения пожара на другие этажи в течение 60 минут правомерно и обосновано.

7. Методика испытаний

Целью проведения огневых испытаний являлось установление времени от начала огневого воздействия до наступления предельного состояния по огнестойкости (потери целостности) светопрозрачной конструкции фасада и установление наличия распространения пламени по поверхности декоративного элемента.

Предполагалось, что целостность остекления фасада на этаже пожара нарушена и огневому воздействию подвергается фасад вышележащего этажа. Исследовалась огнестойкость фасадной системы в режиме внешнего пожара. Цель – установить пути распространения пожара с этажа на этаж и время от начала пожара до распространения его на вышележащий этаж здания.

Фрагмент светопрозрачной конструкции фасада с декоративным элементом устанавливался внешней стороной по направлению к огневому воздействию. После начала испытаний температурный режим в печи принимался по п.6.1 ГОСТ 30247.0-94 [3]:

$$T = 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20 \quad (5)$$

где: T – температура в печи, соответствующая времени t , °С;

t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

8. Результаты испытаний

Полное разрушение стеклопакета, т.е. наступление предельного состояния наблюдалось через 9 минут после начала огневого воздействия. Также было установлено, что декоративный элемент фасада способен к воспламенению после разрушения остекления и воздействия на него теплового потока испытательной печи. После прекращения огневого воздействия наблюдалось распространение пламени по внутренней поверхности декоративного элемента до полного его выгорания.

В результате проведения огневых испытаний установлено, что собственный предел огнестойкости светопрозрачной конструкции фасада по признаку потери целостности при внешнем пожаре без применения компенсирующих мероприятий составляет Е9. Причиной наступления предельного состояния

явилось разрушение остекления. Предельных состояний (потеря несущей способности) элементов стоечно-ригельной конструкции не наступило.

При испытаниях наблюдались следующие процессы:

- появление волосяных и магистральных трещин по всей площади остекления, повлекшее нарушение целостности;
- воспламенение и самостоятельное горение резинового уплотнения;
- потеря крепёжными элементами несущей способности;
- воспламенение и распространение пламени по внутренней поверхности декоративного элемента.

Исходя из соотношения температур внешнего и стандартного пожара, при пожаре внутри помещения предел огнестойкости конструкции по признаку потери целостности составит не более E4...E6 [3]. Полученные результаты дают право полагать, что пожар способен распространяться по фасаду здания со скоростью не менее чем 1 этаж за 13 - 15 мин.

Поскольку предел огнестойкости фасадной системы на этаже пожара не более 10% от требуемого, в дальнейших исследованиях полагали, что остекление на этаже пожара разрушается в момент его начала и основывали исследования на требовании СТУ "в случае применения в здании штатного остекления (не огнестойкого), разработать ряд дополнительных мероприятий, обеспечивающих нераспространение пожара с одного этажа на другой в течение 60 минут. Принятые решения обосновать проведением расчётов и огневых испытаний"

Анализ поведения конструкции в процессе испытаний позволил определить мероприятия по замедлению распространения пожара с этажа на этаж до соответствия требованиям СТУ:

- использование для остекления противопожарных стёкол с заданным пределом огнестойкости;
- орошение оконного проёма на этаже пожара сприклерной системой пожаротушения;
- устройство во внутренних полостях декоративных элементов огнепреграждающих поясов;
- обработка внутренней стороны декоративного элемента фасада интуменцентным огнезащитным составом для предотвращения распространения пламени по внутренним полостям отделки [24, 25, 30].

9. Орошение водой оконного проема на этаже пожара

Метод обеспечения требуемого предела огнестойкости светопрозрачной конструкции фасада орошением проема водой предусматривает использование штатного остекления с устройством спринклерного орошения по СП 4.13130.2013 [29].

Устройство для орошения стекла с внутренней стороны при пожаре имеет целью уменьшить тепловой поток, воздействующий на конструкцию и увеличить предел ее огнестойкости за счет снижения температуры в помещении и обеспечения прогрева остекления с меньшей скоростью. После разрушения стеклопакета на этаже пожара продолжающееся орошение водой позволяет снизить температуру пламени, воздействующего на вышележащий этаж.

Для подтверждения этого предположения и определения температуры продуктов горения (температуры внешнего пожара) проведен следующий расчет.

Допущения:

- возникновение и развитие пожара происходит на этаже непосредственно у оконного проёма [28, 30];
- количество продуктов горения, выходящих из горящего помещения в оконный проём, равномерно распределяется по всей его площади [30, 31];
- интенсивность подачи воды на площадь оконного проёма спринклерными оросителями составляет не менее 0,9 л/с [25, 32];
- вода, подаваемая на орошение, принимается в виде плоской стенки;
- физические свойства и характеристики воды принимаются при её температуре 20 °С [31];
- форма капель воды, подаваемой на орошение, принимается в виде шара, с радиусом 100 мкм [28, 33].

При проведении огневых испытаний для поддержания заданного режима пожара в печи применяется керосин КО-30 [27, 30, 31]. В печи установлено 5 горелок, постепенно подключаемых в работу для повышения температуры. Для расчёта принимаем работу максимального количества горелок с расходом керосина, который на 60 минуте стандартных огневых испытаний составляет 150 кг/ч.

Количество теплоты, выделяемое при сжигании керосина:

$$Q = q \times m = 46000000 \times 0,042 = 1,9 \text{ МДж/с} \quad (6)$$

где: q - удельная теплота сгорания керосина, МДж/кг [27];

m - расход керосина, кг/с.

Количество теплоты от факела пламени в единицу времени с учетом потерь тепла, приходящиеся на ограждающие конструкции (стена, пол, перекрытие) [29, 32]:

$$Q_{\Sigma} + Q_c + Q_n + Q_{\text{пер}} \quad (7)$$

$$Q_c = a_c(t_m - t_c)F_c \quad (8)$$

$$Q_n = a_n(t_m - t_n)F_n \quad (9)$$

$$Q_{\text{пер}} = a_{\text{пер}}(t_m - t_{\text{пер}})F_{\text{пер}} \quad (10)$$

где: Q – количество теплоты, Дж;

$a_{c,n,\text{пер}}$ – средние коэффициенты теплоотдачи, Вт/м² °С;

t_m – среднеобъёмная температура газовой среды в помещении, °С;

$t_{c,n,\text{пер}}$ – средние температуры поверхностей, соответственно стен, пола и перекрытия, °С.

$$a_c = 0,2\lambda/H(\text{GrPr})^{\frac{1}{3}} \left(\text{Pr}^{\frac{2}{3}} \left(2,14(1 + N) + \text{Pr}^{\frac{2}{3}} \right) \right)^{\frac{2}{3}} (1 + N) \quad (11)$$

где: Gr – число Грасгофа;

Pr – число Прандтля;

N – аналог числа Кирпичёва, характеризующего радиационно-кондуктивный перенос теплоты в пограничном слое;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/мК.

При орошении 90 % площади остекления с внутренней стороны, и расходе воды 0,9...1,1 л/с:

$$a_{\text{пер}} = 1,4 \left(\frac{\lambda}{r^*} \right) \text{Pr}^{\frac{1}{3}} \text{Re}^{0,5} + 13,3 \left(\frac{\sigma T_c}{B} \right) \quad (12)$$

где: $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8}$ – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, Вт/(м²К⁴);

B – аналог числа Бугера, характеризующий эффективную оптическую плотность в пограничном слое;

r^* – расстояние от лобовой точки на поверхности перекрытия, м;

Re – число Рейнольдса ($\text{Re} = 2350$).

$$a_n = 0,7a_c \quad (13)$$

Температура внешней поверхности плоской стенки:

$$t_{c2} = t_{c1} - Q_{\text{проем}} / \left(\frac{\lambda F \tau}{\sigma} \right) \quad (14)$$

где: λ – коэффициент теплопроводности, принимается общим при допущении, что плоская стенка состоит из смеси воды и воздуха, Вт/мК;

τ – время принимаемое в расчёте, с;

σ – толщина плоской стенки, м;

t_{c1} – максимальная температура внутри помещения, при пожаре, °С;

$Q_{\text{проём}}$ – количество теплоты поступающее через оконный проём, Дж;

F – условная площадь плоской стенки, увеличенная на суммарную площадь поверхности капель воды, подаваемыми на орошение, м^2 .

$$F = S_{\text{проём}} + \Sigma S^{\text{капель}} \quad (15)$$

$$N_k = V_{\text{воды}} / V_{\text{капли}} \quad (16)$$

$$V_{\text{капли}} = 4/3(\pi R^3) \quad (17)$$

$$\Sigma S^{\text{капель}} = 4\pi R^2 N_k \quad (18)$$

$$Q_{\text{проём}} = Q - Q\Sigma \quad (19)$$

где: $S_{\text{проёма}}$ – площадь оконного проёма, м^2 ;

$\Sigma S^{\text{капель}}$ – суммарная площадь поверхностей капель воды, подаваемых на орошение оконного проёма, м^2 ;

$V_{\text{воды}}$ – объём воды подаваемый на орошение в единицу времени, с;

$V_{\text{капли}}$ – объём одной капли воды, м^3 ;

$Q_{\text{проём}}$ – количество теплоты, переносимое через оконный проём в единицу времени, Дж/с м^2 .

Расчёт показал, что температура конвективного потока, проходящего через оконный проём, с учётом орошения разрушенного проема водой, у нижней отметки наружной поверхности фасада вышележащего этажа составляет 328,4 °С (см. рис. 1). Полученные данные не противоречат расчетам, выполненным другими методами [20, 34, 35]. В связи с тем, что температура пламени над проемом обратно пропорциональна вертикальной координате, распределение температуры по наружной, вертикальной части светопрозрачной конструкции фасада от этажа пожара, определять нет необходимости. Температура пламени внешнего пожара, воздействующего на фасадный блок этажа выше этажа пожара принимается максимальной и равной 328,4 °С.

Таким образом:

- температура пламени у остекления этажа, лежащего над этажом пожара после разрушения остекления на этаже пожара не будет превышать 328 °С.
- для проведения испытаний температура по всей поверхности испытываемого фрагмента (в огневой камере испытательной печи) принимается наиболее высокой (равной температуре у нижней части) – 330 ±5 °С.

При указанных условиях фасадная система модульного типа из конструкций, ограждающих для фасадных систем "Техноком" по ТУ 5262-006-51924160-2008, применяемая в административно-офисном блоке по адресу: г. Москва, Хорошевское шоссе, вл. 2-20, блок "В" при огневом воздействии пожара снаружи, орошении проема на этаже пожара водой с расходом 0,9...1,1 л/с составляет Е 65, что соответствует требованиям СТУ на проектирование противопожарной защиты объекта.

10. Устройство противопожарных отсеков в припотолочной части помещений

Расчёт показал, что применение штатного остекления с устройством спринклерного орошения позволяет снизить температуру пламени пожара, воздействующего на остекление вышележащего этажа до величины, ниже температуры потери несущей способности алюминиевой стоечно-ригельной конструкции.

Учитывая то обстоятельство, что вероятность безотказной работы спринклера, предназначенного для орошения проема на этаже пожара, составляет не менее 0,99 [29], для компенсации риска выхода оросителей из строя и снижения температуры пламени над проемом на этаже пожара предлагается дополнительное мероприятие, а именно установка противопожарных отсеков в припотолочной части каждого этажа.

Противопожарная отсечка (рис.1) выполняет функцию изменения направления движения газовых потоков в сторону нижней части проема на этаже пожара, что в свою очередь увеличивает расстояние от места выделения тепла наружу до остекления вышележащего этажа [22, 23, 28, 29]. При этом, для эффективного снижения температуры конвективного потока у нижней отметки остекления этажа,

расположенного выше этажа пожара, расстояние от нижней кромки противопожарной отсечки до перекрытия должно быть не менее 500 мм.

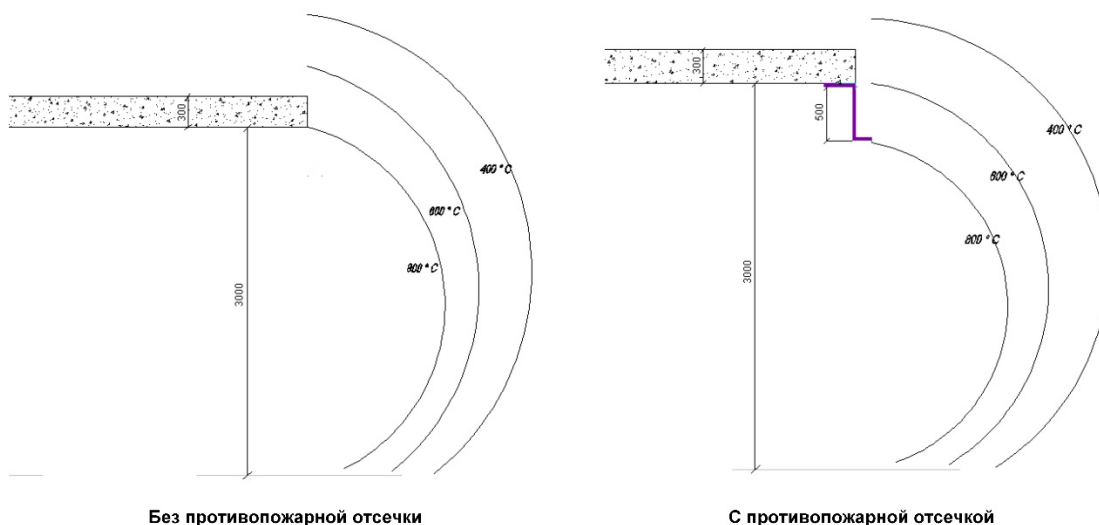


Рисунок 1. Распределение температуры конвективных потоков вблизи проема с разрушенным остеклением

Из рис.1 видно, что при таком расположении противопожарной отсечки, температура конвективного потока у нижней кромки остекления вышележащего этажа, даже при несработавшем оросителе не превышает 400 °С, т.е. температура в проеме печи при испытании конструкции светопрозрачного фасада выбрана правильно.

Кроме размера противопожарной отсечки, необходимо обеспечить сохранение ее геометрической неизменяемости в течение всего периода расчетного пожара, т.е. предел огнестойкости несущей конструкции отсечки следует определить не менее R 60.

Противопожарная отсечка выполнена из листовой стали общей толщиной 1 мм, обшитой по направлению от обогреваемой стороны двумя слоями гипсокартонных листов с повышенной сопротивляемостью воздействию открытого пламени ГКЛО по ГОСТ 6266-97, толщиной 12,5 мм.

В этом случае, расчетное распределение температуры вблизи проема с разрушенным остеклением при наличии противопожарной отсечки, компенсирующей выход из строя системы орошения, выглядит следующим образом:

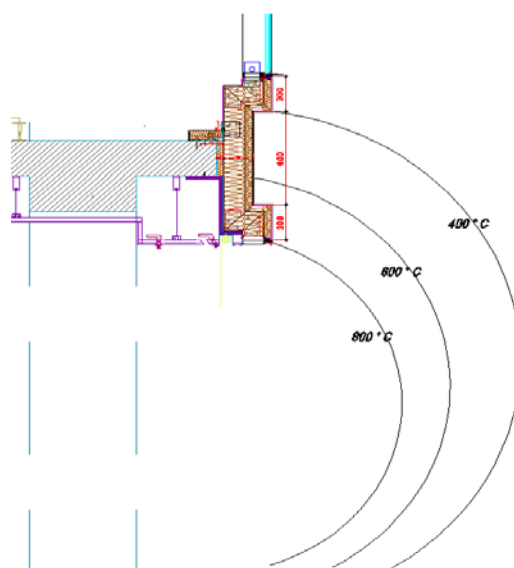


Рисунок 2. Распределение температуры конвективных потоков вблизи проема с разрушенным остеклением

Кроме устройства противопожарной отсечки необходимо обеспечить нераспространение пожара на вышележащий этаж по месту примыкания фасадной системы к перекрытию для предотвращения разрушения стеклопакета и несущей части фасада при прорыве нагретых продуктов горения к внутренней стороне стоечно-ригельной конструкции (нагреве ее излучением). Для сохранения целостности узла примыкания и его теплоизолирующей способности, а также защиты элементов крепления фасадной системы к несущим конструкциям здания, место примыкания заполнялось плитами из минеральной ваты, с плотностью 45 кг/м² и коэффициентом теплопроводности 0,04 - 0,05 Вт/м К.

Металлические крепёжные элементы светопрозрачных конструкций фасадов установлены на железобетонных консолях перекрытий в их верхней и нижней частях. Собственный предел огнестойкости элементов крепления составляет R 14 (приведенная толщина металла 9,6 мм) и их нагрев продуктами горения может привести к обрушению фасада. Поэтому необходимо принять меры для повышения предела огнестойкости элементов крепления не менее чем до R 60 [32 – 34]. В качестве огнезащиты крепёжного элемента, размещённого в припотолочной части, возможно применение минераловатных плит, закрытых металлическим листом-отсечкой, поверх которого устанавливаются гипсокартонные листы в два слоя. Крепёжный элемент светопрозрачной конструкции фасада, установленный на полу помещения, менее подвержен воздействию выделяемого тепла при пожаре, поэтому для обеспечения требуемой огнестойкости достаточно применения минераловатной плиты, закрываемой металлическим коробом. Съёмный металлический короб даёт возможность доступа, исключает повреждение и обеспечивает прилегание минераловатной плиты к элементу крепления [35 – 38].

Таким образом, при неработающем орошении проема:

- в случае отказа спринклерной системы, конструкция противопожарной отсечки обеспечивает условия воздействия пламени на остекление вышележащих этажей, существенно не отличающиеся от этих условий при работающем орошении. Однако отсечка является дополнительным мероприятием, компенсирующим вероятный выход из строя системы автоматического пожаротушения;
- заполнение узла примыкания фасадной системы к перекрытиям здания обеспечивает нераспространение пламени на соседние с этажом пожара этажи;
- элементы крепления фасадной системы имеют предел огнестойкости R 60 и обеспечивают геометрическую неизменяемость фасада в течение требуемого времени.

11. Ограничение распространения горения по декоративным элементам блоков фасада

Конструкция рассматриваемого светопрозрачного фасада предусматривает устройство декоративных элементов. При проведении огневых испытаний фрагмента без применения компенсирующих мероприятий, наблюдалось устойчивое самостоятельное горение декоративного элемента по внутренней стороне. Для ограничения распространения горения необходима установка огнепреграждающего пояса, предотвращающего распространение пламени. Пояс устанавливается в местах сопряжения сборных частей декоративного элемента и выполняется в виде металлической пластины, повторяющей сечение внутренней полости. Огнепреграждающие свойства пояса существенно зависят от качества монтажа, температурных, механических и других деформаций. Поэтому в качестве мероприятия, компенсирующего эти деформации, а также для уменьшения скорости распространения пламени в пределах ограниченной внутренней поверхностью и огнепреграждающим поясом, предлагается окраска внутренней поверхности декоративных элементов интумесцентным огнезащитным покрытием, которое при пожаре расширяется и образует негорючий пенококс. Толщина слоя огнезащитного покрытия должна обеспечивать заполнение пенококсом образующегося в результате деформаций зазора и переводить материал декоративного элемента в группу нераспространяющих пламя по поверхности (РП 1) [39 – 40].

В качестве огнезащитного покрытия был выбран огнезащитный состав интумесцентного типа. Выбор такого типа состава обусловлен также тем, что покрытие на его основе предназначено для эксплуатации в условиях открытой атмосферы и устойчиво к действию агрессивных сред. Коэффициент термического расширения покрытия – 60, т.е. при воздействии пламени 1 мм покрытия образует слой кокса толщиной 60 мм, что достаточно для заполнения любых деформационных зазоров декоративного элемента (максимальная толщина зазора между стеной и его внутренней поверхностью не превышает 460 мм).

Испытание на распространение пламени по материалу декоративного элемента показали эффективность применения огнезащитного покрытия. Действительно, декоративные элементы фасада

"Технология Алюкобонд" типа "Alukobond A2" толщиной 4 мм, обращенные при испытании по ГОСТ 51032 стороной, обработанной огнезащитным составом "Лидер", относятся к материалам, не распространяющим пламя по поверхности (РП1).

Таким образом:

Комплекс мероприятий, состоящий из устройства внутри декоративного элемента огнепреграждающего пояса из листовой стали толщиной 0,55 мм и окраски внутренней поверхности огнезащитным ин-тумесцентным составом толщиной 1 мм эффективен и предотвращает распространение пламени по де-коративному элементу фасада "Технология Алюкобонд" типа "Alukobond A2" толщиной 4 мм.

12. Заключение

Представленные на огневые испытания образцы светопрозрачной конструкции фасада не соответствуют требованиям СТУ по следующим причинам:

- собственный предел огнестойкости конструкции при внешнем пожаре Е 9, при пожаре внутри помещения Е 4...Е 6, т.е. с этажа на этаж здания пожар может распространиться в течение 13...15 мин;
- собственный предел огнестойкости металлических крепежных элементов фасадной конструкции составляет R 14, что может привести к обрушению стоечно-ригельной конструкции;
- декоративная отделка фасада может служить источником распространения пламени по скрытым полостям, что существенно затрудняет тушение пожара и способствует его распространению по фасаду.

Для обеспечения выполнения требований СТУ на проектирование противопожарной защиты 41-этажного офисного здания по адресу: г. Москва, САО, Хорошевский пр-д., вл.2-20, блок "В" разработаны следующие компенсирующие мероприятия:

- орошение не менее 90% площади светопрозрачного проема на каждом этаже водой при помощи автоматической системы пожаротушения с расходом 0,9...1,1 л/с;
- устройство в припотолочной части противопожарной отсечки шириной не менее 500 мм, предел огнестойкости отсечки должен составлять не менее REI 60;
- обеспечение предела огнестойкости узла примыкания фасадной системы к перекрытиям здания не менее REI 60;
- обеспечение предела огнестойкости элементов крепления фасадной системы не менее R 60;
- устройство внутри декоративного элемента огнепреграждающего пояса из листовой стали, толщиной 0,55 мм, окраски внутренней поверхности интумесцентным огнезащитным составом толщиной 1 мм.

Испытание светопрозрачных комбинированных фасадных систем "Техноком" ТУ 562-006-51924160-2008 с перечисленными компенсирующими мероприятиями показало, что выполнение указанных мероприятий обеспечивает соответствие фасадных систем требованиям СТУ.

Литература

- [1]. Nikitin, Yu., Murgul, V., Vatin, N., Pukhkal, V. Uses of glass in architecture: heat losses of buildings based on translucent structures (2014) *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 680, pp. 481-485.
- [2]. ГОСТ Р 53308–2009. Конструкции строительные. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнения проемов. Методы испытаний на огнестойкость [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015.
- [3]. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015.
- [4]. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015.
- [5]. Временная Методика огневых испытаний наружных ненесущих (в том числе навесных) стен со светопрозрачными элементами по определению их огнестойкости и пожарной опасности [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.alppp.ru/law/bezopasnost-i-ohrana-pravoporjadka/21/vremennaja-metodika-ognevuyh-ispytaniy-naruzhnyh-nenesuschih-v-tom-chisle-navesnyh-sten-so-svetoprozrachnymi-elementami-po-opredeleniyu-ih-ognestoykosti-i-pozharnoy-opasnosti>
- [6]. ГОСТ 31251-2008. Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Наружные стены с внешней стороны [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.-правовое обеспечение. – Электрон. дан. – М., 2015.
- [7]. Petrichenko M.R., Ostrovaia A.F., Statsenko E.A. The Glass Ventilated Facades. Research of an Air Gap. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. pp. 87-92.
- [8]. Nemova, D., Murgul, V., Golik, A., Chizhov, E., Pukhkal, V., Vatin, N. (2014): Reconstruction of administrative buildings of the 70s: the possibility of energy modernization, *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 12, No. 1, pp. 37-44.
- [9]. Hana Jun, Lua Lin, Penga Jinqing, Hongxing Yanga. Performance of ventilated double-sided PV facade compared with conventional clear glass facade. *Energy and Buildings*. 2013. Pp. 204–209.
- [10]. Gaillard L., Giroux-Julien S., Menezo C., Pabiou H. Experimental evaluation of a naturally ventilated PV double-skin building envelope in real operating conditions. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*. 2012. 5 p.
- [11]. Vatin, N.I., Gorshkov, A.S., Nemova, D.V., Staritsyna, A.A., Tarasova, D.S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades (2014) *Advanced Materials Research*, No. 941 – 944, pp. 905-920.
- [12]. Гусев А.А., Зигерн-Корн В.Н., Молчадский И.С. и др. Задачи огневых испытаний и проблемы нормирования огнестойкости и пожарной безопасности современных навесных стен. *Технологии строительства*. 2008. No. 4 (59). С. 20-24.
- [13]. Хасанов И.Р., Молчадский И.С., Гольцов К.Н., Пестрицкий А.В. Пожарная опасность навесных фасадных систем. "Пожарная безопасность", 2006, № 5. С. 36-47.
- [14]. Казиев М. М., Зубкова Е.В., Безбородов В.И. Эффективность водяного орошения для защиты листового и закаленного стекла [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. – 2014. - № 6 (58). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/18-06-14.ttb.pdf>.
- [15]. Казиев, М.М. Некоторые аспекты пожаробезопасного применения светопрозрачных строительных конструкций в зданиях и сооружениях // *Пожаровзрывобезопасность*. - 2002. - №4. - С.38-41.
- [16]. Гравит, М. В. Распространение результатов испытаний на огнестойкость светопрозрачных ограждающих ненесущих конструкций // *Пожаровзрывобезопасность* – 2014. – №11. - С. 42-45.
- [17]. Heinisuo, M., Laasonen, M., Outinen, J., Hietaniemi, J., Systematisation of design fire loads in an integrated fire design system (2011) *Application of Structural Fire Design*, Prague, Czech Republic, pp. 405-410.
- [18]. Salminen, M., Heinisuo, M. Numerical analysis of thin steel plates loaded in shear at non-uniform elevated temperatures (2014) *Journal of Constructional Steel Research*, 97, pp. 105-113.
- [19]. Lazarevska, M., Cvetkovska, M., Knezevic, M., Gavriloska, A. T., Milanovic, M., Murgul, V., Vatin, N. Neural Network Prognostic Model for Predicting the Fire Resistance of Eccentrically Loaded RC Columns (2014) *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 627, pp. 276-282.
- [20]. Романенков И.Г., Зигерн-Корн В.Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. М., Стройиздат 1984.

- [21]. Мосалков И.Л. и др. Учебник "Здания сооружения и их устойчивость при пожаре". М., 2003г.
- [22]. ГОСТ Р 51032-97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени
- [23]. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. М., Стройиздат 1991.
- [24]. Алюминиевые огнестойкие системы Schuco "Окна, двери, фасады". 2006. No. 17, С. 134 - 137.
- [25]. Соломонов В.В., Кузнецова И.С. Научно-технический отчет по теме: Аспекты пожарной безопасности высотных зданий в части обеспечения огнестойкости и огнесохранности. НИИЖБ – филиал ФГУП "НИЦ "Строительства", М., 2008.
- [26]. Зенков Н.И. Строительные материалы и поведение их в условиях пожара. М., ВИПТШ МВД СССР 1974.
- [27]. Терещин В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. – М.: Пожкнига, 2004, - 248с., ил.
- [28]. Пузач С.В. Математическое моделирование тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности. Монография. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. - 150 с.
- [29]. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям
- [30]. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. «Термодинамика и теплопередача в пожарном деле» - М.: Внешторгиздат 1987. – 441 с.
- [31]. Авчухов В.В., Паюсте Б.Я. Задачник по процессам тепломассообмена – М.: Энергоатомиздат 1986. С. 144.
- [32]. ГОСТ Р 50680 Установки водяного пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы ис-пытаний.
- [33]. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практиче-ских задач пожаровзрывобезопасности. Монография. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. - 336 с.
- [34]. Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 222 с.
- [35]. Пузач С.В., Зернов С.И., Богатищев А.И., Карпов С.Ю. Расчет фактических пределов огнестойкости строительных конструкций с учетом реальных параметров пожара, действий систем пожаротушения, механической вентили-зации и дымоудаления (математическая модель и методика расчета). - Саранск: Мордовское книжное издательство, 2004. - 80 с.
- [36]. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. Федер. закона № 117-ФЗ от 10.07.2012 г.): Федер. закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008 г.; одобр. Сов. Федерации 11.07.2008 г. // Российская газета. — 2008. — № 163.
- [37]. Методика испытаний на огнестойкость конструкций стен наружных навесных светопрозрачных. – Часть 1. Конструкции стен наружных навесных с огнестойким светопрозрачным заполнением. – Часть 2. Конструкции стен наружных навесных с неогнестойким светопрозрачным заполнением. М.: 26 ЦНИИ МО РФ, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко 2008 год, С. 38.
- [38]. Бартелими Б. Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций.М., Стройиздат 1985.
- [39]. Яковлев А.И. Расчёт огнестойкости строительных конструкций. М., Стройиздат 1988.
- [40]. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле – М.: Внешторгиздат 1987. С. 441.
- [41]. Строительные материалы. Учебник. Под ред. Микульского В.Г. –М.: Издательство АСВ, 1996 г.
- [42]. ГОСТ Р 51043-97 Установки водяного и пенного пожаротушения автоматические. Оросители спринклерные и дренчер-ные. Общие технические требования. Методы испытаний.
- [43]. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80). М., Стройиздат 1985.
- [44]. МДС 21-1.98 Предотвращение распространения пожара. Пособие к СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зда-ний и сооружений. URL: <http://base.garant.ru/6179606/>.

Experimental and theoretical research fire danger facade system «Technocom»

O.B. Lamkin¹, M.V. Gravit², O.V. Nedryshkin³

¹ LLC "Center of building control", 14, Gagarin st., Simferopol

²⁻³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi:

Article history

Received 03 May 2015

Keywords

transparent facade constructions;
fire resistance;
limit state;
loss of integrity;
loss of bearing capacity;
the spread of flame of products;
compensatory measures;

ABSTRACT

The object of the research is the composite translucent facade system "Technocom" type Alucobond A2 Technical Specification 562-006-51924160-2008. In the process, we carried out experimental and theoretical research fire danger and limits of fire resistance of facade system. The objectives of the research is definition compliance with the applicable front system special technical requirements for fire safety. The research developed compensatory measures aimed at reducing fire hazard and improve the fire resistance of the facade system.

¹ Corresponding author:

+7(903) 776 1189, lab02@yandex.ru (Lamkin Oleg Borisovich, CSc eng, director)

² +7(921) 912 6407, marina.gravit@mail. (Gravit Marina Viktorovna, CSc eng, Assoc. Prof, Deputy Head of the Department of Research Work)

³ +7(999) 205 5852, nedryshkin@gmail.com (Nedryshkin Oleg Viacheslavovich, PhD student)

References

- [1]. Nikitin, Yu., Murgul, V., Vatin, N., Pukhkal, V. Uses of glass in architecture: heat losses of buildings based on translucent structures (2014) *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 680, pp. 481-485.
- [2]. National Standard of Russian Federation R 53308 – 2009 *Konstruktsii stroitelnyye. Svetoprozrachnyye ograzhdayushchiye konstruktsii i zapolneniya proyemov. Metod ispytaniy na ognestoykost* [Building structures. Translucent walling and-complements openings. Method of Fire Test]. (rus)
- [3]. National Standard of Russian Federation 30247.0-94 *Konstruktsii stroitelnyye. Metody ispytaniya na ognestoykost. Obshchiye trebovaniya* [Building structures. Test methods for fire resistance. General Requirements], Moscow., 2015.
- [4]. National Standard of Russian Federation 30247.1-94. *Konstrukcii stroitel'nye. Metody ispytaniy na ognestoykost'. Nesushchie i ograzhdayushchie konstrukcii* [Building structures. Test methods for fire resistance. Support and walling], Moscow., 2015.
- [5]. *Vremennaya metodika ognevnykh ispytaniy naruzhnykh nenesushchih v tom chisel navesnykh sten so svetoprozrachnymi ehlementami po opredeleniyu ih ognestoykosti i pozharnoj opasnosti* [Temporary Methods of Fire Test exterior curtain (including attachments) with a translucent wall elements to determine their fire resistance and fire hazard], URL: <http://www.alppp.ru/law/bezopasnost-i-ohrana-pravoporjadka/21/vremennaja-metodika-ognevnykh-ispytaniy-naruzhnykh-nenesushchih-v-tom-chisle-navesny-h-sten-so-.pdf>.(rus)
- [6]. National Standard of Russian Federation 31251 – 2008 *Konstruktsii stroitelnyye. Metody opredeleniya pozharnoj opasnosti. Steny naruzhnyye s vneshney storony* [Building structures. Methods for determination of fire hazard. Exterior walls from the outside]. (rus)
- [7]. Petrichenko M.R., Ostrovaia A.F., Statsenko E.A. The Glass Ventilated Facades. Research of an Air Gap (2015) *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 725-726, pp. 87-92.
- [8]. Nemova, D., Murgul, V., Golik, A., Chizhov, E., Pukhkal, V., Vatin, N. Reconstruction of administrative buildings of the 70s: the possibility of energy modernization (2014) *Journal of Applied Engineering Science*, Vol. 12, No. 1, pp. 37-44.
- [9]. Hana Jun, Lua Lin, Penga Jinqing, Hongxing Yanga. Performance of ventilated double-sided PV facade compared with conventional clear glass facade (2013) *Energy and Buildings*, pp. 204–209.
- [10]. Gaillard L., Giroux-Julien S., Menezo C., Pabiou H. Experimental evaluation of a naturally ventilated PV double-skin building envelope in real operating conditions. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*. 2012. 5 p.
- [11]. Vatin, N.I., Gorshkov, A.S., Nemova, D.V., Staritcyna, A.A., Tarasova, D.S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades (2014) *Advanced Materials Research*, No. 941 – 944, pp. 905-920.
- [12]. Gusev A.A., Zigern-Korn V.N., Molchadskiy I.S.i dr. *Zadachi ognevnykh ispytaniy i problemy normirovaniya ognestoy-kosti i pozharnoj bezopasnosti sovremennykh navesnykh sten* [Tasks fire tests and fire resistance problems of rationing and modern fire safety curtain walls] (2008) *Tekhnologii stroitelstva*, No. 4 (59)., pp. 20-24. (rus)
- [13]. Khasanov I.R., Molchadskiy I.S., Goltsov K.N., Pestritskiy A.V. *Pozharnaya opasnost navesnykh fasadnykh sistem* [Fire danger hinged facade systems] (2006) "Fire safety", No. 5, pp. 36-47. (rus)
- [14]. Kaziev M.M., Zubkova E.V., Bezborodov V.I. *Effektivnost vodyanogo orosheniya dlya zashchity listovogo i zakalennogo stekla* [Efficiency of irrigation water for the protection sheet and tempered glass] (2014) *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*, No. 6 (58), URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/18-06-14.ttb.pdf>. (rus)
- [15]. Kaziev M.M. *Nekotorye aspekty pozharobezopasnogo primeneniya svetoprozrachnykh stroitelnykh konstrukcij v zdaniyah i sooruzheniyah* [Some aspects of the use of translucent fireproof building structures in buildings] (2002) *Pozharovzryvobezopasnost*, No. 4, pp. 38-41.(rus)
- [16]. Gravit M.V. *Extended application of results from fire resistance tests for glazed non-load-bearing curtain walling structures* (2014) *Fire and Explosion Safety*, No. 11, pp. 42-45.
- [17]. Heinisuo, M., Laasonen, M., Outinen, J., Hietaniemi, J., *Systematisation of design fire loads in an integrated fire design system* (2011) *Application of Structural Fire Design*, Prague, Czech Republic, pp. 405-410.
- [18]. Salminen, M., Heinisuo, M. *Numerical analysis of thin steel plates loaded in shear at non-uniform elevated temperatures* (2014) *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 97, pp. 105-113.
- [19]. Lazarevska, M., Cvetkovska, M., Knezevic, M., Gavriloska, A. T., Milanovic, M., Murgul, V., Vatin, N. *Neural Network Prognostic Model for Predicting the Fire Resistance of Eccentrically Loaded RC Columns* (2014) *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 627, pp. 276-282.

- [20]. Romanenkov I.G., Zigern-Korn V.N. Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy iz effektivnykh materialov [Fire resistance of building structures of effective materials] (1984), Moscow, Stroyizdat. (rus)
- [21]. Mosalkov I.L. i dr. Uchebnik "Zdaniya sooruzheniya i ikh ustoychivost pri pozhare" [The textbook "Building constructions and their stability in case of fire"] (2003), Moscow. (rus)
- [22]. National Standard of Russian Federation R 51032-97. Materialy stroitelnye. Metod ispytaniya na rasprostraneniye plameni [Building materials. Test method for flame spread]. (rus)
- [23]. Romanenkov I.G., Levites F.A. Ognезashchita stroitelnykh konstruksiy [Fire protection of building structures] (1991), Moscow, Stroyizdat. (rus)
- [24]. Alyuminiyevyye ognestoykiye sistemy Schuc "Okna, dveri, fasady" [Aluminium fire-resistant system Schuc " Windows, doors, facades"] (2006), No. 17., pp. 134 - 137. (rus)
- [25]. Solomonov V.V., Kuznetsova I.S. Nauchno-tehnicheskiiy otchet po teme: Aspekty pozharной bezopasnosti vysootnykh zdaniy v chasti obespecheniya ognestoykosti i ognesokhrannosti [Scientific and technical report on the topic: Aspects of fire safety of tall buildings in the part of the fire resistance and ognesokhrannosti] (2008), NIC "Stroitelstvo", Moscow. (rus)
- [26]. Zenkov N.I. Stroitelnyye materialy i povedeniye ikh v usloviyakh pozhara [Construction materials and their behavior in fire] (1974), Moscow. (rus)
- [27]. Terebnev V.V. Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara. Takticheskiye vozmozhnosti pozharных podrazdeleniy [Directory head of fire extinguishing. Tactical possibilities of fire units] (2004), Pozhkniga, p. 248. (rus)
- [28]. Puzach S.V. Matematicheskoye modelirovaniye teplomassoobmena pri reshenii zadach pozharovzryvo-bezopasnosti. Monografiya [Mathematical modeling of heat and mass transfer in solving fire security. Monograph] (2003), Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, p. 150. (rus)
- [29]. Set of rules 4.13130.2013 Sistemy protivopozharной zashchity. Ogranicheniye rasprostraneniya pozhara na ob'yektakh zashchity. Trebovaniya k obyemno-planirovochnym i konstruktivnym resheniyam [Fire protection systems. Limiting the spread of fire on objects of protection. Requirements for space planning and design solutions]. (rus)
- [30]. Koshmarov Yu.A., Bashkirtsev M.P. Termodinamika i teploperedacha v pozharном dele [Thermodynamics and heat transfer in the fire case] (1987), Moscow: Vneshtorgizdat, p. 441. (rus)
- [31]. Avchukhov V.V., Payuste B.Ya. Zadachnik po protsessam teplomassoobmena [Book of problems in the processes of heat and mass transfer] (1986), Moscow: Energoatomizdat, p. 144. (rus)
- [32]. National Standard of Russian Federation R 50680 Ustanovki vodyanogo pozharotusheniya avtomaticheskoye. Obshchiye tekhnicheskoye trebovaniya. Metody ispytaniy [Automatic installation of fire extinguishing. General technical requirements. Test methods]. (rus)
- [33]. Puzach S.V. Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti. Monografiya [Methods for calculating the heat and mass transfer in a fire in the room and their application in solving practical problems fire safety. Monograph] (2005), Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, p. 336. (rus)
- [34]. Puzach S.V., Smagin A.V., Lebedchenko O.S., Abakumov Ye.S. Novyye predstavleniya o raschete neobkhodimogo vremeni evakuatsii lyudey i ob effektivnosti ispolzovaniya portativnykh filtruyushchikh samospasateley pri evakuatsii na pozharakh. Mono-grafiya [New ideas about the calculation of the required time to evacuate people and the effectiveness of the use of portable filter self-rescuers for the evacuation fires. Monograph] (2007), Moscow: Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia, p. 222. (rus)
- [35]. Puzach S.V., Zernov S.I., Bogatishchev A.I., Karpov S.Yu. Raschet fakticheskikh predelov ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy s uchetom realnykh parametrov pozhara, deystviy sistem pozharotusheniya, mekhanicheskoy ventilyatsii i dymoudaleniya (matematicheskaya model i metodika rascheta) [Calculation of the actual limits of fire resistance of building structures with the real parameters of fire extinguishing systems operations, mechanical ventilation and smoke] (2004), Saransk: Mordovian, p. 80. (rus)
- [36]. Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law No. 123 (in red. Federal Law of 10.07.2012 No. 117). Rossiyskaya gazeta – Russian Newspaper, 2008, No. 163 (rus).
- [37]. Metodika ispytaniy na ognestoykost konstruksiy sten naruzhnykh navesnykh svetoprozrachnykh. – Chast 1. Konstruksii sten naruzhnykh navesnykh s ognestoykim svetoprozrachnym zapolneniyem. – Chast 2. Konstruksii sten naruzhnykh navesnykh s neo-gnestoykim svetoprozrachnym zapolneniyem [Method of Fire Test of walls exterior translucent curtain. - Part 1: Construction of the exterior curtain walls with translucent fire-resistant filling. - Part 2. Construction of external walls mounted with translucent filling neognestoykim]. Moscow: 26 TSIISK named after V.A. Koucherenko 2008, p. 38. (rus)

- [38]. Barteleми B. Kryuppa Zh. Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy [Fire resistance of building structures] (1985), Moscow, Stroyizdat. (rus)
- [39]. Yakovlev A.I. Raschet ognestoykosti stroitelnykh konstruksiy [Fire resistance of building structures] (1985), Moscow, Stroyizdat. (rus)
- [40]. Koshmarov Yu.A., Bashkirtsev M.P. Termodinamika i teploperedacha v pozharom dele [Thermodynamics and heat transfer in the fire case] (1987), Moscow: Vneshtorgizdat, p. 441. (rus)
- [41]. Stroitelnyye materialy. Uchebnik. Pod red. Mikul'skogo V.G. [Construction Materials. Textbook. Ed. Mikul'ski] (1996), Moscow: Publisher ASV. (rus)
- [42]. National Standard of Russian Federation R 51043-97 Ustanovki vodyanogo i pennogo pozharotusheniya avtomaticheskoye. Orositeli sprinklernyye i drenchernyye. Obshchiye tekhnicheskoye trebovaniya. Metody ispytaniy [Installations of water and foam fire extinguishing. Sprinkler and deluge. General technical requirements. Test methods]. (rus)
- [43]. Posobiye po opredeleniyu predelov ognestoykosti konstruksiy, predelov rasprostraneniya ognya po konstruksiyam i grupp vozgorayemosti materialov (k SNiP II-2-80) [Manual for the definition of the limits of fire resistance of structures, limit the spread of fire in design and flammability of materials groups (to Construction rules and regulations II-2-80)] (1985), Moscow, Stroyizdat. (rus)
- [44]. Methodological instructive regulations 21-1.98 Predotvrashcheniye rasprostraneniya pozhara. Posobiye k SNiP 21-01-97 Pozharnaya bezopasnost zdaniy i sooruzheniy [Preventing the spread of fire. The benefit to the Construction rules and regulations 21-01-97 Fire safety of buildings and structures] URL: <http://base.garant.ru/6179606/>. (rus)

Ламкин О.Б., Гравит М.В., Недрышкин О.В. Экспериментальные и теоретические исследования показателей пожарной опасности фасадной системы «Техноком» //Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №11 (38). С. 41-58.

Lamkin O.B., Gravit M.V., Nedryshkin O.V. Experimental and theoretical research fire danger facade system «Technocom». Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 11 (38), Pp. 41-58. (rus)