ТР-5044

ПОЖАРНАЯ НАГРУЗКА

Обзор зарубежных источников

СИТИС

Строительные Информационные Технологии и Системы
www.sitis.ru

ТР-5044

Пожарная нагрузка.

Обзор зарубежных источников.

Редактор:

Грачев В.Ю.

Переводчики:

Борноволокова Е. А.
Патрушева Н. А.
Слепушкин В. А.

© ООО «СИТИС», 2009 г.
© Грачев В.Ю., 2009 г.

ООО «СИТИС»
620028 Екатеринбург, ул. Долорес Ибаррури, 2
Тел: 310-00-99 e-mail: support@sitis.ru
www.sitis.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 4
ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ 5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 6
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ 6
EN 1991-1-2. ПЛОТНОСТЬ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ 7
РАСЧЕТ ПЛОТНОСТИ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ 8
Расчет пожарной нагрузки 8
Пожарная нагрузка в защищенных зонах 8
Низшая теплота сгорания 8
Классификация пожарной нагрузки в зависимости от типа арендуемых помещений 9
Индивидуальная оценка плотности пожарной нагрузки 10
ПОВЕДЕНИЕ ГОРЕНИЯ 10
СКОРОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА *Q* 10
IFEG 2005. ДАННЫЕ ПО ПОЖАРНЫМ НАГРУЗКАМ 12
IFEG 2005. ВЕРОЯТНОСТЬ НАЧАЛА ПОЖАРА 23
РУКОВОДСТВО К IBC 2003. МОЩНОСТЬ ПОЖАРА И ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА 25
СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА 25
СКОРОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА ПРИ ГОРЕНИИ РАЗНЫХ ПРЕДМЕТОВ 26
РЕГУЛИРУЕМЫЕ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ПОЖАРЫ 30
СПРИНКЛЕРЫ 30
Снижение скорости выделения тепла из-за спринклеров 32
Реакция спринклеров 32
Активация спринклеров 33
РАСЧЕТНЫЕ ПОЖАРЫ 34
Горючие материалы временного хранения 34
Стационарные пожары 34
Скорость выделения тепла на единицу площади 34
Нестационарные пожары 35
Подход, основанный на наборе горючих материалов 37
LPR 11. ДАННЫЕ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ 40
ОБЗОР ТИПОВЫХ ФОРМ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ 40
МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА 41
Испытательная установка 42
Огневое испытание 42
Программа испытаний 42
Контрольно-измерительная аппаратура 42
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА 44
Испытание 1 - 6: Конфигурация поленицы 44
Испытания 7 и 8: Испытание рамной конструкции 44
Испытание 9: Испытание кронштейнов 49
Испытания 10 и 11: Испытания остекленного навесного фасада 51
Испытание 12: Натурные испытания пожарной нагрузкой 58
Испытания 13, 14, 15: Испытания со спринклерами 61
Испытания 16, 17, 18: Исследования высоты пламени 71
Испытание 19: «Стандартное» испытание печью 76
СВОДНАЯ ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ 80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 82

ПРЕДИСЛОВИЕ

С вступлением в силу Технического регламента о требованиях пожарной безопасности при проектировании и оценке пожарной безопасности построенных зданий и сооружений требуется выполнение оценки величины пожарного риска. Одним из факторов, необходимым для моделирования возможных опасных ситуаций, связанных с возникновением пожаров, является величина пожарной нагрузки, задаваемая для расчета рассматриваемого объекта.

Целью данного обзора является представление информации о некоторых расчетных и экспериментальных величинах пожарной нагрузки, задаваемой зарубежными строительными нормами и руководствами для выполнения расчетов огнестойкости и динамики опасных факторов пожара. В совокупности с данными отечественных нормативных и справочных источников эта информация может оказать содействие для выверки правильности и достоверности принимаемых проектных решений и выбора масштаба исходных данных моделей пожаров.

Также в обзор дополнительно включены доступные из зарубежных руководств данные о вероятностях возникновения пожаров в некоторых типах зданий и сооружений.

Обзор не претендует на всеобъемлющее и объективное описание данной проблематики, а является только изложением информации из источников по теме, которые были доступны авторам. При этом информация дается только по литературе на английском языке, литература на других языках в подборке источников отсутствует.

Коллектив авторов

ОБЗОР ИСТОЧНИКОВ

Обзор «Пожарная нагрузка» составлен на основе обобщения информации, изложенной в следующих зарубежных источниках:

- Европейский стандарт EN 1991-1-2. «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2: Общие воздействия. Воздействия на подвергающиеся пожару конструкции»;
- «Международное руководство по противопожарной защите», издание 2005 года, являющееся обобщением опыта по методологии разработки решения противопожарной защиты специалистами США, Великобритании, Канады, Японии, Австралии, Новой Зеландии, Швеции и Испании;
- Книга «Противопожарное проектирование конструкций» Эндрю Бученена;
- Руководство к американским нормам IBC 2003 «Требования к противодымной защите в Международных строительных нормах 2003 года», Эванс Д. и Клоут Дж.
- Стандарт Национальной ассоциации по противопожарной защите (США) - NFPA 92B «Руководство по системам противодымной защиты атриумов, торговых центров и больших помещений»
- Стандарт NFPA 72 «Нормы по пожарной сигнализации»
- Отчет Совета по предотвращению убытков (Loss Prevention Council), составленного для Ассоциации британских страховщиков и Страховой ассоциации Ллойда LPR-11. «Распространение огня в многоэтажных зданиях с остекленными навесными фасадами», в котором приводятся результаты 11 огневых испытаний, проведенных с целью измерения способности навесных фасадных систем препятствовать распространению огня на вышележащие этажи и прилегающие здания

В тексте сохранены порядок изложения и стилистика зарубежных источников.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Коэффициент горения *(combustion factor)* – эффективность горения с изменением значения с 1 на стадии полного горения на 0 на стадии полного затухания пожара. [EN 1991-1-2]

Плотность пожарной нагрузки *(fire load density)* – пожарная нагрузка на единицу площади, связанная с общей площадью помещения, или с площадью поверхности всего помещения, включая проемы. [EN 1991-1-2]

Пожар квадрата времени или **квадратичный пожар *(t-squared fire)*** – пожар, при котором скорость горения изменяется пропорционально квадрату времени. [NFPA 92B]

Пожарная нагрузка *(fire load)* – сумма тепловых энергий, выделяемых при горении всех горючих материалов в пространстве (содержимого здания и элементов конструкций). [EN 1991-1-2]

Полное развитие пожара *(fully developed fire)* – стадия полного горения всех горючих поверхностей при пожаре в пределах заданного пространства. [EN 1991-1-2]

Противопожарный отсек *(fire compartment)* – пространство в пределах здания, простирающееся на один или несколько этажей, и защищенное ограждающими элементами с целью предотвращения распространения пожара за пределы отсека во время огневого воздействия. [EN 1991-1-2]

Расчетный пожар *(design fire)* – заданное развитие пожара, моделируемое в расчетных целях. [EN 1991-1-2]

Скорость выделения тепла *(heat release rate)* – тепло (энергия), выделяемое при горении горючих материалов, представленное функцией зависимости от времени. [EN 1991-1-2]

Сценарий пожара *(fire scenario)* – качественное описание развития пожара с течением времени с обозначением ключевых событий, характеризующих пожар и отличающих его от других возможных пожаров. В сценарии обычно дается описание процессов возгорания и роста пожара, стадий полного развития пожара и его затухания, а также описание содержимого здания и систем, влияющих на течение пожара. [EN 1991-1-2]

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Combustion factor	коэффициент горения
Design fire	расчетный пожар
Fire compartment	противопожарный отсек
Fire load	пожарная нагрузка
Fire load density	плотность пожарной нагрузки
Fire scenario	сценарий пожара
Fully developed fire	полное развитие пожара
Heat release rate	скорость выделения тепла
T-squared fire	пожар квадрата времени / квадратичный пожар

EN 1991-1-2. ПЛОТНОСТЬ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ

Информация по расчету плотности пожарной нагрузки приведена в данной главе на основе европейского стандарта EN 1991-1-2 «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2: Общие воздействия. Воздействия на подвергающиеся пожару конструкции» [1]. Данные по пожарным нагрузкам представлены на основе «Международного руководства по противопожарной защите» [6] и книги Эндрю Бученена «Противопожарное проектирование конструкций» [5].

Используемая в расчетах плотность пожарной нагрузки должна представлять собой расчетное значение, основанное на измерениях или, в особых случаях, основанное на представленных в национальных нормах требованиях по огнестойкости. Расчетное значение может определяться следующим образом:

- на основе данных национальной классификации пожарной нагрузки в зависимости от типа арендуемых помещений,
- и/или в зависимости от индивидуального проекта путем проведения исследования пожарной нагрузки.

Расчетное значение пожарной нагрузки $q_{f,d}$ определяется следующим образом:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \boldsymbol{\delta_{q1}} \cdot \boldsymbol{\delta_{q2}} \cdot \boldsymbol{\delta_{n}} \quad (\text{МДж/м}^2)$$

где

m – коэффициент горения (см. раздел «Поведение горения»)

$\boldsymbol{\delta_{q1}}$ – коэффициент с учетом риска возникновения пожара в зависимости от площади помещения (см. таблицу 1)

$\boldsymbol{\delta_{q2}}$ – коэффициент с учетом риска возникновения пожара в зависимости от типа арендуемого помещения (см. таблицу 1)

$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$ – коэффициент с учетом проведения различных активных противопожарных мероприятий (i) (наличие спринклеров, обнаружение пожара, автоматическая система пожарной сигнализации, работа пожарных, и т.д.). Данные активные мероприятия в основном проводятся в целях обеспечения безопасности жизнедеятельности (см. таблицу 2 и представленную после нее информацию).

$\boldsymbol{q_{f,k}}$ – характерная плотность пожарной нагрузки на единицу общей площади, МДж/м^2 (см. таблицу 4)

Таблица 1. Коэффициенты δ_{q1} , δ_{q2}

Общая площадь помещения A_f (м^2)	Опасность возникновения пожара δ_{q1}	Опасность возникновения пожара δ_{q2}	Примеры арендуемых помещений
25	1,10	0,78	картинная галерея, музей, бассейн
250	1,50	1,00	офисы, жилые помещения, гостиницы, целлюлозно-бумажная промышленность
2 500	1,90	1,22	предприятия по производству машинного оборудования и двигателей
5 000	2,00	1,44	химические лаборатории, цех по производству лаков и красок
10 000	2,13	1,66	предприятия по производству фейерверков или лакокрасочных изделий

Таблица 2. Коэффициенты δ_{ni}

δ_{ni} Проведение активных противопожарных мероприятий									
Автоматические системы пожаротушения		Автоматические системы обнаружения пожара			Системы пожаротушения «вручную»				
Автоматические системы водяного пожаротушения δ_{n1}	Автономные источники водоснабжения 0 | 1 | 2 δ_{n2}	Автоматические системы обнаружения пожара и сигнализации по теплу δ_{n3}	по дыму δ_{n4}	Автоматическая передача сигнала пожарной тревоги пожарной команде δ_{n5}	Пожарная команда при здании δ_{n6}	Сторонняя пожарная команда δ_{n7}	Пути безопасного доступа δ_{n8}	Устройства противопожарной защиты δ_{n9}	Дымовытяжная система δ_{n10}
0,61	1,0|0,87|0,7	0,87 или 0,73		0,87	0,61 или 0,78		0,9 или 1 или 1,5	1,0 или 1,5	1,0 или 1,5

Для проведения стандартных противопожарных мероприятий, которые всегда следует осуществлять, необходимо наличие путей безопасного доступа, устройств противопожарной защиты и дымовытяжных систем на лестницах, и следует принять значения δ_{ni} таблицы 2 равные 1,0. При этом если данные противопожарные мероприятия не были проведены, необходимо принять соответствующее значение δ_{ni} равное 1,5. Если в слу-

чае срабатывания пожарной сигнализации лестницы подвержены воздействию избыточного давления, следует принять коэффициент δ_{n8} таблицы 2 равный 0,9. При использовании вышеописанного метода предполагается выполнение необходимых требований европейских стандартов по спринклерным системам, обнаружению пожара, пожарной сигнализации и дымовытяжным системам. При этом в зависимости от конкретных обстоятельств числовые данные таблицы 2 могут меняться.

РАСЧЕТ ПЛОТНОСТИ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ

В пожарной нагрузке должно учитываться все горючее содержимое здания и значимые воспламеняющиеся элементы конструкций, включая облицовку и отделку. В расчете не учитываются воспламеняющиеся элементы, не обугливающиеся в процессе горения во время пожара. При определении плотности пожарной нагрузки учитываются следующие условия:

- данные классификации пожарной нагрузки в зависимости от типа арендуемых помещений (см. раздел «Классификация пожарной нагрузки в зависимости от типа арендуемых помещений»),
- и/или данные в зависимости от индивидуального проекта (см. раздел «Индивидуальная оценка плотности пожарной нагрузки»).

Если плотность пожарной нагрузки определяется на основе классификации пожарной нагрузки в зависимости от типа арендуемых помещений, различаются следующие пожарные нагрузки:

- пожарная нагрузка в арендуемом помещении, представленная в классификации,
- пожарная нагрузка в здании (элементы конструкции, облицовка и отделка), в основном не входящая в классификацию и определяемая в соответствии с нижеуказанной информацией.

Расчет пожарной нагрузки

Характерная пожарная нагрузка рассчитывается следующим образом:

$$Q_{f,k} = \Sigma\, M_{k,i} \cdot H_{u,i} \cdot \Psi_i = \Sigma\, Q_{fi,k,i} \quad \text{(МДж)}$$

где

$M_{k,i}$ – количество горючего материала, кг, в зависимости от типа пожарной нагрузки

H_{ui} – низшая теплота сгорания, МДж/кг, см. раздел «Низшая теплота сгорания»

[Ψ_i] – дополнительный коэффициент для оценки пожарных нагрузок в защищенных зонах, см. раздел «Пожарная нагрузка в защищенных зонах»

Характерная плотность пожарной нагрузки $q_{f,k}$ на единицу площади рассчитывается следующим образом:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A \quad \text{(МДж/м}^2\text{)}$$

где

A – общая площадь (A_f) противопожарного отсека или базового пространства, или площадь внутренней поверхности (A_t) противопожарного отсека, для вычисления $q_{f,k}$ или $q_{t,k}$ соответственно.

Постоянные пожарные нагрузки, не предполагающие изменения в течение срока службы конструкции/сооружения, необходимо представить их ожидаемыми значениями исходя из результатов исследования.

Переменные пожарные нагрузки, предполагающие изменение в течение срока службы конструкции/сооружения, необходимо представить теми значениями, которые не будут превышены по истечении 80% срока службы.

Пожарная нагрузка в защищенных зонах

Пожарные нагрузки в защищенных зонах, рассчитанных на сдерживание огневого воздействия, рассматривать не требуется. Пожарные нагрузки в несгораемых защищенных зонах без конкретного пожарного расчета, но при этом остающихся целыми в ходе огневого воздействия, можно рассматривать следующим образом: наибольшая пожарная нагрузка, составляющая как минимум 10% от пожарной нагрузки в защищенных зонах, соответствует Ψ_i = 1,0. Если данной пожарной нагрузки плюс пожарной нагрузки в незащищенных зонах недостаточно для нагрева оставшихся пожарных нагрузок в защищенных зонах выше температуры возгорания, то оставшиеся пожарные нагрузки в защищенных зонах соответствуют Ψ_i = 0,0. В противном случае значение Ψ_i следует рассчитывать отдельно.

Низшая теплота сгорания

Низшая теплота сгорания рассчитывается в соответствии со стандартом ISO 1716:2002. Влагосодержание материалов можно рассчитать следующим образом:

$$H_u = H_{u0}\,(1 - 0{,}01\,u) - 0{,}025\,u \quad \text{(МДж/кг)}$$

где

u – влагосодержание, выраженное в процентном содержании от веса в сухом состоянии

H_{u0} – низшая теплота сгорания сухих материалов

В таблице 3 представлена низшая теплота сгорания некоторых твердых материалов, жидкостей и газов.

Таблица 3. Низшая теплота сгорания H_u (МДж/кг) горючих материалов для расчета пожарных нагрузок

Твердые материалы	
Древесина	17,5
Другие целлюлозные материалы • Текстиль • Пробка • Хлопок • Бумага, картон • Шелк • Солома • Шерсть	20
Уголь • Антрацит • Древесный уголь • Каменный уголь	30
Химические вещества	
Парафиновый ряд • Метан • Этан • Пропан • Бутан	50
Олефиновый ряд • Этилен • Пропилен • Бутилен	45
Ароматический ряд • Бензол • Толуол	40
Спирты • Метанол • Этанол • Этиловый спирт	30
Виды горючего • Бензин, нефть • Дизельное топливо	45
Пластмасса на основе чистого углеводорода • Полиэтилен • Полистирол • Полипропилен	40
Другие материалы	
Акрилонитрил-бутадиен-стирол, АБС (пластмасса)	35
Полиэфир (пластмасса)	30
Полиизоцианурит и полиуретан (пластмасса)	25
Поливинилхлорид, ПВХ (пластмасса)	20
Битум, асфальт	40
Кожа	20
Линолеум	20
Резиновая шина	30
Примечание: представленные в данной таблице значения не должны использоваться для расчета энергоемкости видов горючего.	

Классификация пожарной нагрузки в зависимости от типа арендуемых помещений

Плотность пожарной нагрузки должна классифицироваться в зависимости от типа арендуемого помещения, быть связана с общей площадью, а также использоваться в качестве характерной плотности пожарной нагрузки $q_{f,k}$ (МДж/м^2), представленной в таблице 4.

Таблица 4. Плотность пожарной нагрузки $q_{f,k}$ (МДж/м^2) для разных типов арендуемых помещений

Тип арендуемого помещения	Среднее значение	80%-ая доля
Жилое помещение	780	948
Больница (помещение)	230	280
Гостиница (помещение)	310	377
Библиотека	1 500	1 824
Офис	420	511
Класс в школе	285	347

Торговый центр	600	730
Театр (кинотеатр)	300	365
Транспорт (общественный)	100	122
Примечание: Распределение Гумбеля соответствует 80%-ой доле.		

Представленные в таблице 4 значения плотности пожарной нагрузки $q_{f,k}$ верны, если коэффициент δ_{q2} равен 1,0 (см. таблицу 1). Пожарные нагрузки таблицы 4 верны для стандартных помещений в сочетании с представленными в таблице типами арендуемых помещений. Конкретные помещения и пожарная нагрузка в здании (элементы конструкции, облицовка и отделка) должны рассчитываться в соответствии с разделом «Расчет пожарной нагрузки». Если требуется, данную нагрузку необходимо прибавить к плотности пожарной нагрузки $q_{f,k}$.

Индивидуальная оценка плотности пожарной нагрузки

При отсутствии типов арендуемых помещений, плотность пожарной нагрузки можно специально рассчитать для индивидуального проекта путем проведения исследования пожарных нагрузок в арендуемом помещении. Пожарные нагрузки и их частные классификации необходимо оценивать с учетом цели использования, меблировки и установок, временных изменений, неблагоприятных тенденций и возможных изменений арендуемого помещения. Если возможно, следует провести исследование сопоставимого существующего проекта, чтобы заказчику необходимо было указать только возможные различия между намеченным и существующим проектами.

ПОВЕДЕНИЕ ГОРЕНИЯ

Поведение горения необходимо рассматривать как зависимость арендуемого помещения от типа пожарной нагрузки. Для большинства целлюлозных материалов за коэффициент горения можно принять значение m = 0,8.

СКОРОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА *Q*

Стадию роста пожара можно рассчитать по следующей формуле:

$$Q = 10^6 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2$$

где

Q – скорость выделения тепла, Вт

t – время, с

t_α – время, необходимое для достижения скорости выделения тепла равной 1 МВт

В таблице 5 представлены коэффициент t_α и максимальная скорость выделения тепла HRR_f для разных типов арендуемых помещений.

Таблица 5. Скорость роста пожара HRR_f для разных типов арендуемых помещений

Максимальная скорость выделения тепла HRR_f			
Тип арендуемого помещения	Скорость роста пожара	t_α (с)	HRR_f (кВт/м^2)
Жилое помещение	Средняя	300	250
Больница (помещение)	Средняя	300	250
Гостиница (помещение)	Средняя	300	250
Библиотека	Быстрая	150	500
Офис	Средняя	300	250
Класс в школе	Средняя	300	250
Торговый центр	Быстрая	150	250
Театр (кинотеатр)	Быстрая	150	500
Транспорт (общественный)	Медленная	600	250

Значения скорости роста пожара и максимальной скорости выделения тепла HRR_f в соответствии с таблицей 5 верны, если коэффициент δ_{q2} равен 1,0 (см. таблицу 1). При сверхбыстром распространении пожара значение t_α ссоответствует 75 с. Стадия роста пожара ограничивается горизонтальной стадией, соответствующей стационарному состоянию и значению Q, представленному выражением $(HRR_f \cdot A_{fi})$, где

A_{fi} – максимальная площадь пожара (м^2), являющаяся противопожарным отсеком в случае равномерно распределенной пожарной нагрузки, но которая может быть меньше в случае локального пожара.

HRR_f – максимальная скорость выделения тепла на 1 м^2 пожара в случае регулируемого пожарной нагрузкой пожара (кВт/м^2) (см. таблицу 5).

Горизонтальная стадия ограничивается стадией затухания пожара, начинающейся с момента расхода 70% общей пожарной нагрузки.

Стадию затухания пожара можно принять за линейное уменьшение, начинающееся с момента сгорания 70% пожарной нагрузки, и заканчивающееся полным сгоранием пожарной нагрузки.

Если пожар является регулируемым вентиляцией, необходимо уменьшить уровень данной стадии исходя из доступного содержания кислорода, либо автоматически в случае использования компьютерной программы на основе одной зонной модели, либо применяя следующую упрощенную формулу:

$$Q_{\max} = 0{,}10 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{eq}} \quad \text{(МВт)}$$

где

A_v – площадь отверстия, м^2

h_{eq} – средняя высота отверстий, м

H_u – низшая теплота сгорания древесины при H_u = 17,5 МДж/кг

m – коэффициент сгорания при m = 0,8

При уменьшении максимальной скорости выделения тепла в случае регулируемого вентиляцией пожара, необходимо увеличить кривую скорости выделения тепла для соответствия доступной энергии, выделяемой пожарной нагрузкой. Если кривая на увеличена, предполагается наличие внешнего горения, вызывающего более низкую температуру газа в помещении.

IFEG 2005. ДАННЫЕ ПО ПОЖАРНЫМ НАГРУЗКАМ

В таблицах 6 и 7 приведены средние значения плотностей (переменных) пожарных нагрузок на основе данных, полученных в ходе исследований, проведенных в 1967-1969 гг. группой из 10-20 студентов под руководством Швейцарской Ассоциации противопожарной безопасности в промышленности и торговле (Brandverhütungsdienst für Industrie und Gewerbe). Они выражены как плотность на единицу общей площади (МДж/м^2).

Обратите внимание на то, что для определения переменной пожарной нагрузки на территории складских помещений значения, указанные в таблице, необходимо умножить на высоту складского помещения, выраженную в метрах. Зоны и проходы для транспортировки учтены посредством усреднения значений.

По каждому типу арендуемых помещений, складских помещений и/или зданий было проанализировано минимум 10-15 образцов. Как правило, было 20 и более образцов. Данные, полученные в ходе этих исследований, сравнивались с данными из других источников. Проведенное сравнение позволяет сделать следующие предположения:

(a) для четко определенных типов помещений, которые схожи либо имеют небольшие отличия в мебели и хранимых товарах, например: жилые здания, гостиницы, больницы, офисы и школы, достаточными могут быть следующие значения:

Коэффициент колебания:	30-50% от приведенного среднего значения
90%-ая доля:	(1,35-1,65) x среднее значение
80%-ая доля:	(1,25-1,50) x среднее значение
Отдельные макс. значения:	2 x среднее значение

(b) для помещений, которые значительно отличаются друг от друга либо имеют большие отличия в мебели и хранимых товарах, например: торговые центры, универмаги, промышленные предприятия, предлагаются следующие значения:

Коэффициент колебания:	50-80% от приведенного среднего значения
90%-ая доля:	(1,65-2,0) x среднее значение
80%-ая доля:	(1,45-1,75) x среднее значение
Отдельные макс. значения:	2,5 x среднее значение

Следует, однако, соблюдать осторожность при применении этих данных, поскольку пожарные нагрузки меняются с введением новых технологий и материалов.

Таблица 6. Плотности пожарных нагрузок

Тип помещения	Производство (МДж/м^2)	Склад (МДж/м^2/м)
Авиационный ангар	200	
Авиационный завод	200	
Автоаксессуары (продажи)	300	
Автозавод (сборка)	300	
Автомагазин (лакокрасочные изделия)	500	
Автомагазин (чехлы для сидений)	700	
Автомастерская	300	
Автомастерская (кузовной ремонт)	150	
Автомобили (сборка, производство)	400	
Администрация	800	
Адсорбенты (для горючих паров, завод)	> 1700	
Академия	300	
Аккумуляторы (производство)	400	800
Аккумуляторы (транспортировка)	800	
Алюминий (обработка)	200	
Алюминий (производство)	40	
Антикварный магазин	700	
Аппаратное оборудование (магазин)	300	
Аппаратное оборудование (производство)	200	

Аптека	1000	
Аптека (со складом)	800	
Архив (документы)	4200	
Асфальт (производство)	800	3400
Ацетиленовые баллоны (склад)	700	
Банк (кассы)	300	
Банк (офисы)	800	
Безалкогольные напитки (производство)	80	
Бетонные изделия (производство)	100	
Библиотека	2000	2000
Бинты (производство)	400	
Бисквит (производство)	200	
Бисквитная фабрика	200	
Боеприпасы (производство)	рассчитывается отдельно	
Больница	300	
Бочарное дело	600	
Бочки деревянные (производство)	1000	800
Булочная	200	
Булочная (продажи)	300	
Бумага (обработка)	800	1100
Бумага (производство)	200	10000
Бытовая техника (продажи)	300	
Бытовая техника (производство)	300	200
Вата (производство)	300	
Вафли (производство)	300	1700
Велосипеды (сборка)	200	400
Веники (производство)	700	400
Весы (производство)	400	
Взрывоопасное производство	4000	
Винный магазин	200	
Винный погреб	20	
Волочение проволоки	80	
Восковые изделия (производство)	1300	2100
Восковые изделия (транспортировка)	2100	
Врачебный кабинет	200	
Вулканизационное оборудование (без складского помещения)	1000	
Выделка искусственной кожи (цех)	300	
Высокообжиговый гипс (производство)	600	
Высокоточные приборы (без пластиковых деталей, производство)	100	
Высокоточные приборы (с пластиковыми деталями, производст-	200	
Высотное офисное здание	800	
Выставка (художественная с оформлением)	200	
Выставка мебели	500	
Выставочный зал (автомобили с оформлением)	200	
Выставочный зал (мебель с оформлением)	500	
Выставочный зал (оборудование с оформлением)	80	
Вышивание	300	
Газетный киоск	1300	
Галетная сухая батарея	400	600
Гальваническая станция	200	
Гардероб (с деревянными шкафами)	400	

Гардероб (с металлическими шкафами)	80	
Гастроном	700	
Глажение	500	
Глина (обработка)	50	
Головные уборы (магазин)	500	
Головные уборы (производство)	500	
Гостиница	300	
Государственное учреждение	800	
Гравировальный цех (стекло/металл)	200	
Гудрон (подготовка)	800	
Гудронированный картон (производство)	1700	
Двери (деревянные, производство)	800	1800
Декоративная отделка, мастерская	1200	2000
Декоративный камень	40	
Деревянные изделия (небольшие, транспортировка)	600	
Деревянные модели (изготовление, цех)	600	
Детдом	400	
Детские коляски (магазин)	300	
Детские коляски (производство)	300	800
Детский сад	300	
Деформирование (цех)	250	
Джутоткачество	400	1300
Дом отдыха	500	
Дома	500	
Дома престарелых	400	
ДСП (обработка)	800	
ДСП (прессование)	100	
Жалюзи (производство)	800	300
Железнодорожная станция	800	
Железнодорожные вагоны (производство)	200	
Железнодорожный цех	800	
Жестяные изделия (производство)	120	
Задвижки (производство)	1000	
Зеркала (производство)	100	
Зерновая мельница (без складского помещения)	400	
Зернохранилище	600	
Золочение металла	800	
Зонты (магазин)	300	
Зонты (производство)	300	400
Игорная зона	150	
Игрушки (из горючих материалов, производство)	100	
Игрушки (из негорючих материалов, производство)	200	
Игрушки (магазин)	500	
Институт (здание)	500	
Инструменты (производство)	200	
Искусственная кожа (обработка)	300	
Искусственная кожа (производство)	1000	1700
Искусственные цветы (производство)	300	200
Искусственный шелк (обработка)	210	
Искусственный шелк (производство)	300	1100
Испытательная лаборатория (машинное оборудование)	100	

Испытательная лаборатория (текстиль)	300	
Испытательная лаборатория (электроприборы)	200	
Кабель (производство)	300	600
Какао (обработка)	800	
Каменная кладка	40	
Канатно-веревочные изделия (завод)	300	600
Канатно-веревочные изделия (склад)	500	
Канцелярский магазин	700	
Каретная мастерская	500	
Картон (производство)	300	4200
Картонные изделия (производство)	800	2500
Картонные изделия (транспортировка)	600	
Картонные коробки (производство)	800	2500
Картофель (производство)	200	
Кафе	400	
Квартира	300	
Керамический завод	200	
Киностудия	300	
Кинотеатр	300	
Кирпичный цех (обжиг)	40	
Кирпичный цех (подготовка глины)	40	
Кирпичный цех (прессование)	200	
Кирпичный цех (сушильная камера с деревянными решетками)	400	
Кирпичный цех (сушильная камера с металлическими решетка-	40	
Кирпичный цех (сушильная печь с деревянными решетками)	1000	
Кирпичный цех (сушильная печь с металлическими решетками)	40	
Кислоты (завод)	80	
Клей (производство)	1000	3400
Книжный магазин	1000	
Ковры (производство)	600	1700
Ковры (магазин)	800	
Ковры (окраска)	500	
Кожа (дубление, отделка и т.д.)	400	
Кожаные изделия (продажи)	700	
Кожаные изделия (производство)	500	
Конгресс-холл	600	
Кондитерская фабрика (другие сферы деятельности)	500	
Кондитерская фабрика (кантование)	1000	
Кондитерская фабрика (промежуточный склад)	6000	
Кондитерская фабрика (упаковка)	500	
Кондитерский магазин	400	
Консервированные продукты (производство)	400	200
Консервированные продукты (производство)	40	
Консервные банки (производство)	100	
Конфетная упаковка	800	
Конфеты (производство)	400	1500
Копицентр	400	
Корма для животных (производство)	2000	3300
Коробки (производство)	1000	600
Косметика (производство)	300	500
Котельная	200	

Красильный цех	500	
Крем для обуви (производство)	800	2100
Крупные металлические конструкции	80	
Крутильный цех	250	
Кузнечный цех	80	
Кухонная плита (производство)	600	
Лаборатория бактериологическая	200	
Лаборатория металлургическая	200	
Лаборатория стоматолога-хирурга	300	
Лаборатория физическая	200	
Лаборатория химическая	500	
Лаборатория электрическая, электронная	200	
Лак (производство)	500	2500
Лак (транспортировка)	1000	
Лак и полировка (транспортировка)	1300	
Лакированная бумага	80	
Лакировочное оборудование	80	
Лакокрасочные изделия (магазин)	1000	
Лакокрасочные изделия (производство)	4200	
Лакокрасочные изделия (смесительная установка)	2000	
Лампы накаливания (завод)	40	
Лесопильный завод (без дровяного склада)	400	
Ликер (производство)	400	800
Линолеум (обработка)	700	2100
Линолеум (производство)	700	1300
Листовой материал (производство)	100	
Литейный цех (металл)	40	
Литейный цех (чугун)	400	800
Литые детали (из металла, производство)	80	
Литые детали (из пластика, производство)	500	
Лодки (производство)	600	
Лыжи (производство)	400	1700
Магазин одежды	600	
Малярная мастерская (автомобили, оборудование и т.д.)	200	
Малярная мастерская (мебель и т.д.)	400	
Малярный цех	500	
Масло (производство)	700	4000
Мастерская водопроводчика	100	
Мастика (производство)	1700	
Матрасы (производство)	500	500
Машинное оборудование (производство)	200	
Мебель (деревянная, производство)	600	
Мебель (полировка)	500	
Мебель (транспортировка)	600	
Мебельный магазин	400	
Метал (шлифовка)	80	
Металлические изделия (производство)	200	
Металлообработка (общая)	200	
Механическая мастерская	200	
Меховая мастерская	500	
Меховой магазин	200	

Молоко порошковое (производство)	200	10500
Молоко сгущенное (производство)	200	9000
Молочный магазин	200	
Мороженое (с упаковкой, завод)	100	
Мотоциклы (сборка)	300	
Моющие средства (производство)	300	200
Музей	300	
Музыкальные инструменты (продажи)	281	
Мучные изделия	800	
Мыло (производство)	200	4200
Мясная лавка	50	
Наборный цех	400	
Навесы (производство)	300	
Надгробные плиты (гравировка)	50	
Наматывание (помещение)	400	
Наматывание (текстиля, волокна)	600	
Напитки (транспортировка)	300	
Напольная плитка (из пластика, производство)	800	
Нитроцеллюлоза (производство)	рассчитывается отдельно	1100
Обивка мебели (мастерская)	500	
Оборудование	600	
Оборудование (испытания)	200	
Оборудование (производство)	400	
Оборудование (транспортировка)	700	
Обработка информации	400	
Обработка тканей, мастерская	500	
Обувная и ремонтная мастерская	700	
Обувная фабрика (производство)	500	
Обувная фабрика (транспортировка)	600	
Обувной магазин	500	
Овощи сушеные	1000	400
Овощной магазин	200	
Одежда (производство)	400	
Одежда, бумага	700	
Одежда, текстиль	200	
Окна (деревянные, производство)	800	
Оконные стекла (производство)	700	
Окрашивание распылением (деревянные изделия)	500	
Оловянная посуда (транспортировка)	200	
Оптические приборы (производство)	200	200
Оружие (продажи)	300	
Оружие (производство)	300	
Отдел ретуширования	300	
Отделочный цех (бумага)	500	
Отделочный цех (текстиль)	300	
Отопительное оборудование (сжигание древесного угля, помещение)	300	
Офис (бизнес)	800	
Офис (проектирование)	600	
Офисная мебель	700	
Офисное машинное оборудование (производство)	300	

Пакеты джутовые, бумажные, полиэтиленовые (производство)	500	
Парикмахерская	300	
Паркет (производство)	2000	1200
Парковка (помещение)	200	
Парфюмерный магазин (продажи)	400	
Пенопласт (обработка)	600	800
Пенопласт (производство)	3000	2500
Переключатели (производство)	400	
Переплетная мастерская	1000	
Печатная продукция (транспортировка)	1700	
Печатный, машинный цех	400	
Печатный, наборный цех	300	
Пиво (производство), пивоваренный завод	80	
Пищевая продукция (транспортировка)	1000	
Пищевой жир (производство)	1000	18900
Пищевой жир (транспортировка)	900	
Пластик (обработка)	600	
Пластик (производство)	2000	5900
Пластиковые изделия (производство)	600	
Пластиковые изделия (транспортировка)	1000	
Погрузочная платформа (с товарами, среднее приближенное)	800	
Подвал жилого помещения	900	
Подземный гараж (государственный)	< 200	
Подземный гараж (частный)	> 200	
Подрядная организация	500	
Покрытие пола (магазин)	1000	
Покрытие пола (производство)	500	6000
Полировка дерева	200	
Полотняные изделия (производство)	400	800
Постельное белье (завод)	600	
Постельное белье (магазин)	500	
Почта	400	
Пошив меховой одежды	400	
Пошив одежды	300	
Прачечная	200	
Прессованный кирпич (завод)	1600	
Приборы с частичным содержанием пластика (транспортировка)	700	
Приют	400	
Пробковые изделия (производство)	500	800
Проволочный завод	800	
Продуктовые корзины (производство)	300	200
Проигрыватель (производство)	300	
Пространство для складирования смешанных товаров	500	
Простыни (производство)	500	1000
Прядильная фабрика (без разволокнения)	300	
Радио и телеаппаратура (продажи)	500	
Радио и телеаппаратура (производство)	400	
Радиостудия	300	
Рамки для картин (производство)	300	
Растворитель (очищение)	200	
Растительное масло (транспортировка)	900	

Резина (обработка)	600	5000
Резинотехнические изделия (магазин)	800	
Резинотехнические изделия (производство)	600	5000
Резьба по дереву (цех)	700	
Резьба по дереву	700	
Ремонтная мастерская (общая)	400	
Ресторан	300	
Санузлы	~ 0	
Сварка	300	
Сварочный цех (металл)	80	
Свечи (производство)	1300	22400
Сейфы (производство)	80	
Сидр (без склада тары, производство)	200	
Синтетическая пластмасса (производство)	3400	4200
Синтетическое волокно (обработка)	400	
Синтетическое волокно (производство)	400	
Склад (складские помещения при цехе и т.д.)	1200	
Скотобойня	40	
Сода (производство)	40	
Специи (производство)	50	
Спиртные напитки (магазин)	700	
Спиртные напитки (производство)	500	
Спиртовой завод (горючие материалы)	200	
Спиртовой завод (негорючие материалы)	50	
Спичечный завод	300	800
Спорттовары (магазин)	800	
Стальная мебель (производство)	300	
Стекло (обработка)	200	
Стекло (производство)	100	
Стекло (роспись)	300	
Стеклодувный завод	200	
Стеклянная посуда (магазин)	200	
Стеклянные изделия (производство)	200	
Стеклянные изделия (транспортировка)	700	
Стекольный завод	100	
Стекольный цех	700	
Стереотипные печатные формы (производство)	200	
Стиральная машина (производство)	300	40
Столовая	300	
Столовое серебро	400	
Столовые приборы (бытовые, производство)	200	
Столярная мастерская	700	
Столярная мастерская (верстак)	700	
Столярное дело (без дровяного склада)	600	
Столярные станки (машинное помещение)	500	
Столярный цех	700	
Стоматологический кабинет	200	
Сушильная камера (для дерева)	800	
Сыр (в упаковке, производство)	170	
Сырный подвал	100	
Сыродельный завод	120	

Табачная фабрика	3000	
Табачные изделия (производство)	200	2100
Табачный киоск	500	
Театр	300	
Текстиль (транспортировка)	600	
Текстильная фабрика	1200	
Телестудия	300	
Телефонные аппараты (производство)	400	200
Телефонные коммутаторы	80	
Телефонные коммутаторы (производство)	100	
Термический цех	400	
Термосклеивание пластмассы	800	
Типография	1000	
Типографская краска (производство)	700	3000
Ткацкая фабрика (без ковров)	300	
Токарные станки	200	
Токарный цех	600	
Токарный цех (деревообработка)	500	
Тракторы (производство)	300	
Трансформаторы (обмотка)	600	
Трансформаторы (производство)	300	
Трикотажная мастерская (производство)	300	1000
Турагентство	400	
Турбаза молодежная	300	
Угольная яма	10500	
Угольный бункер	2500	
Удобрения (производство)	200	200
Уксус (производство)	80	100
Универмаг	400	
Упаковка (других негорючих товаров)	600	
Упаковка (негорючих материалов)	400	
Упаковка (печатной продукции)	1700	
Упаковка (производство)	500	
Упаковка (текстиля)	600	
Упаковочный материал (промышленность)	1600	3000
Установка для затаривания (бочки с жидкостью и/или горючие бочки I – IV класса опасности)	> 3400	
Установка для затаривания (бочки с жидкостью и/или горючие бочки V класса опасности)	> 1700	
Установка для затаривания (бочки с жидкостью и/или негорючие бочки)	< 200	
Установка для затаривания (небольшие бочки с жидкостью и негорючие бочки)	< 200	
Установка для затаривания (небольшие бочки с жидкостью и негорючие бочки I – IV класса опасности)	< 500	
Утилизация отходов производства	800	
Фабрика одежды	500	
Фанера (производство)	800	2900
Фанера (производство)	800	4200
Фанеровка	500	2900
Фармацевтическая продукция (производство)	300	800
Фармацевтическая продукция (упаковка)	300	800

Фарфор (производство)	200	
Фейерверки (производство)	рассчитывается отдельно	2000
Флуоресцентные трубки (производство)	300	
Фотоаппараты (производство)	300	
Фотоателье	300	
Фотолаборатория	100	
Фотомагазин	300	
Фрезерные работы (по металлу)	200	
Химические заводы (среднее приближенное)	300	100
Химчистка	300	
Холодильники (производство)	1000	300
Холодильное хранение	2000	
Художественна мастерская	1000	
Цветы (продажи)	80	
Целлулоид (производство)	800	3400
Цемент (производство)	1000	
Цементные изделия (производство)	80	
Цементный завод	40	
Церковь	200	
Цех заготовки дерева	3000	
Часовая мастерская	300	
Часовые механизмы (производство)	40	
Часы (продажи)	300	
Часы (сборка)	300	40
Шарикоподшипники (производство)	200	
Швейные машины (магазин)	300	
Швейные машины (производство)	300	
Шелкопрядение (из натурального шелка)	300	
Шелкоткачество (из натурального шелка)	300	
Шины (производство)	700	1800
Школа	300	
Школа-интернат	300	
Шорная мастерская (производство)	300	
Штукатурка (производство)	80	
Щетки (производство)	700	800
Электрическая промышленность	600	
Электродвигатели (производство)	300	
Электронные приборы (производство)	400	
Электронные приборы (ремонт)	500	
Электроприборы (производство)	400	
Электроприборы (ремонт)	500	
Электроремонтная мастерская	600	
Электроснабжение (установка H < 3 м)	1200	
Электростанция	600	
Ювелирная мастерская	200	
Ювелирные изделия (производство)	200	
Ювелирный магазин	300	1300
Ядерные исследования	2100	

В таблице 7 представлены плотности пожарных нагрузок в широких группах помещений. Значения в таблице включают только переменные пожарные нагрузки (т.е. содержимое здания). Если в конструкции здания использовано значительное количество горючих материалов, то для получения общей пожарной нагрузки

необходимо прибавить это количество к переменной пожарной нагрузке. При выполнении расчета не следует выбирать среднее значение плотности пожарной нагрузки, так как это приведет к отрицательному коэффициенту запаса прочности для всех значений выше среднего. Необходимо выбрать как минимум 95-ую долю, хотя в некоторых случаях следует использовать более высокие значения.

Таблица 7. Плотность пожарной нагрузки в разных помещениях

Тип помещения	Среднее значение (МДж/м^2)	Процентная доля		
		80	90	95
Жилое помещение	780	870	920	970
Больница	230	350	440	520
Складское помещение при больнице	2000	3000	3700	4400
Гостиничный номер	310	400	460	510
Офисы	420	570	670	760
Магазины	600	900	1100	1300
Производственное помещение	300	470	590	720
Производственное и складское помещения с горючими материалами < 150 кг м$^{-2}$	1180	1800	2240	2690
Библиотеки	1500	2250	2550	–
Школы	285	360	410	450

IFEG 2005. ВЕРОЯТНОСТЬ НАЧАЛА ПОЖАРА

Указанные в настоящем разделе данные могут использоваться в методологиях, для которых требуется информация о вероятности происхождения событий.

Представленные в таблице 8 данные распределены по категориям вне зависимости от площади помещения. Однако вероятность начала пожара может определяться как функция зависимости от площади здания. Если известны данные о количестве пожаров на единицу общей площади помещений, эти данные следует рассматривать как приоритетные по сравнению с общей информацией в таблице 8.

Таблица 8. Общая вероятность начала пожара в разных типах помещений

Тип помещения	Вероятность начала пожара в помещении Начало пожара y^{-1}
Промышленное	$4,4 \times 10^{-2}$
Склад	$1,3 \times 10^{-2}$
Офисы	$6,2 \times 10^{-3}$
Развлекательный центр	$1,2 \times 10^{-1}$
Нежилое помещение	$2,0 \times 10^{-2}$
Больницы	$3,0 \times 10^{-1}$
Школы	$4,0 \times 10^{-2}$
Жилые помещения	$3,0 \times 10^{-3}$

В таблице 9 представлены данные по Великобритании о частоте начала пожара в зависимости от общей площади помещений.

Таблица 9. Вероятность начала пожара в пределах заданной общей площади помещений разного типа

Тип помещения	Вероятность начала пожара Начало пожара y^{-1} на $м^{-2}$ общей площади помещения
Офисы	$1,2 \times 10^{-5}$
Склад	$3,3 \times 10^{-5}$
Конференц-зал	$9,7 \times 10^{-5}$

Расчет вероятности начала пожара в здании можно сделать по следующей формуле:

$$P_i = a\, A_F^{\,b}$$

где
P_i – вероятность начала пожара (начало yr^{-1})
A_F – общая площадь помещения ($м^2$)
a – постоянная, относящаяся к типу помещения
b – постоянная, относящаяся к типу помещения

В таблице 10 представлены значения постоянных *a* и *b* для некоторых различных типов промышленных помещений.

Таблица 10. Вероятность начала пожара в разных типах помещений заданной площади

Тип помещения	*a*	*b*	Вероятность начала пожара в здании общей площадью 1000 $м^2$ Начало пожара yr^{-1}
Вся производственная промышленность	0,0017	0,53	0,066
Отдельные виды промышленности			
Пищевая, табачная, производство напитков	0,0011	0,60	0,069
Химическая и смежные отрасли промышленности	0,0069	0,46	0,165

Машиностроение	0,0001	0,75	0,018
Электромашиностроение	0,0006	0,59	0,035
Автомобилестроение	0,0001	0,86	0,038
Изделия из металла	0,0016	0,54	0,067
Текстильная	0,0075	0,35	0,084
Бумажная, полиграфическая, издательское дело	0,00007	0,91	0,038
Другие виды промышленности	0,0084	0,41	0,143

На рис. 1 и 2 представлены результаты исследования специалистов из Финляндии. Наблюдается очевидное монотонное снижение вероятности начала пожара на единицу общей площади помещения по мере увеличения размеров здания, наряду с явным общим увеличением вероятности начала крупного пожара в зависимости от общей площади помещения. Результаты исследований ниже отметки 100 м^2 относятся к небольшим зданиям, в которых сформирована другая группа населенности в отличие от обычной населенности зданий.

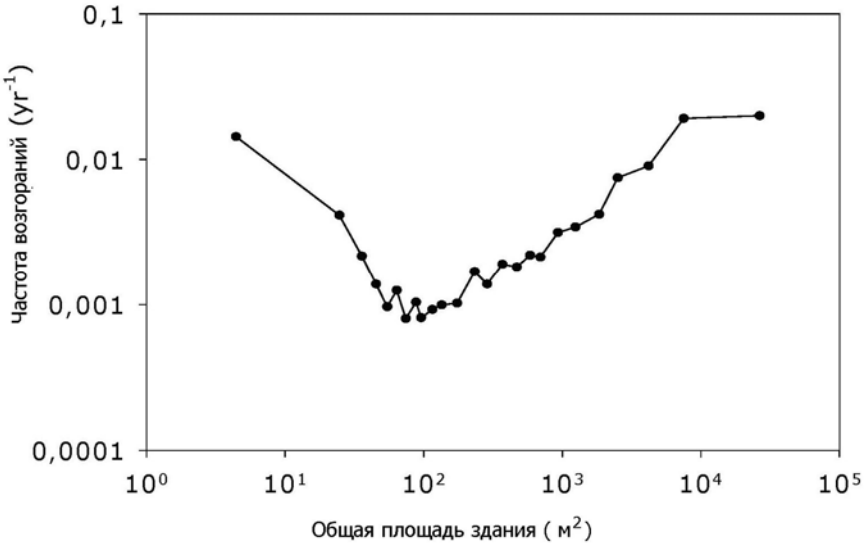


Рис. 1. Частота возгораний в зданиях в Финляндии, выраженная функцией зависимости от общей площади здания

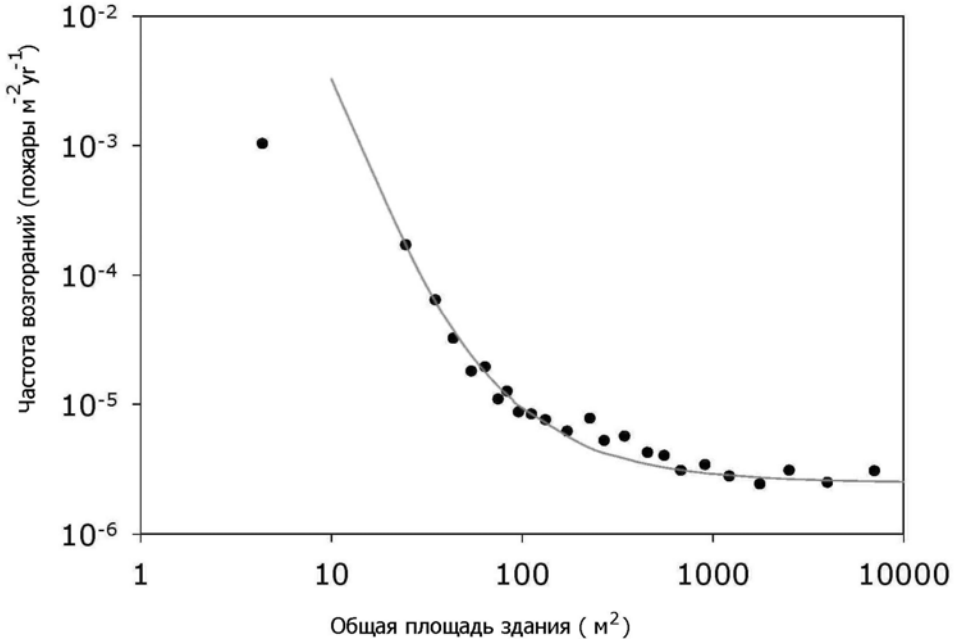


Рис. 2. Частота возгораний в зданиях в Финляндии, приведенная на единицу общей площади здания

РУКОВОДСТВО К IBC 2003. МОЩНОСТЬ ПОЖАРА И ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА

Информация о мощности пожара и тепловыделении приведена в данной главе на основе книг Д. Эванса и Дж. Клоута «Требования к противодымной защите в Международных строительных нормах 2003 года» [7], Эндрю Бученена «Противопожарное проектирование конструкций» [5], а также стандартов Национальной ассоциации по противопожарной защите (США) NFPA 92B «Руководство по системам противодымной защиты атриумов, торговых центров и больших помещений» [4] и NFPA 72 «Национальные нормы по пожарной сигнализации» [3].

В противодымной защите одним из наиболее важных факторов при пожаре в здании является скорость выделения тепла. Со скоростью выделения тепла напрямую связаны температура и объем газов, выделяемых при пожаре, поэтому прогнозирующие компьютерные модели используют во входных данных параметр «скорость выделения тепла». Говоря о мощности пожара, специалисты практически всегда используют термин «скорость выделения тепла». В данной главе под термином «*мощность пожара*» подразумевается скорость выделения тепла.

Целью данной главы является предоставление основной информации о мощности и развитии пожара, которая будет полезна при оценке и определении расчетных пожаров. Расчетный пожар – это такой пожар, противостоять силе которого входит в задачу системы противодымной защиты. В данной главе также рассматриваются спринклеры, так как зачастую именно их наличие играет решающую роль при определении расчетного пожара. Расчетный пожар может быть как стационарным, так и нестационарным. Не являясь физически реальным, стационарный пожар может использоваться в расчетах с запасом для упрощения конструкторского анализа.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРА

Пожары в комнатах и других помещениях всегда описываются с использованием стадий развития пожара, представленных на рис.1. Данные стадии являются удобными при обсуждении пожаров, но большинство пожаров не проходят через все эти стадии по причине недостаточного количества топлива или благодаря работе системы пожаротушения.

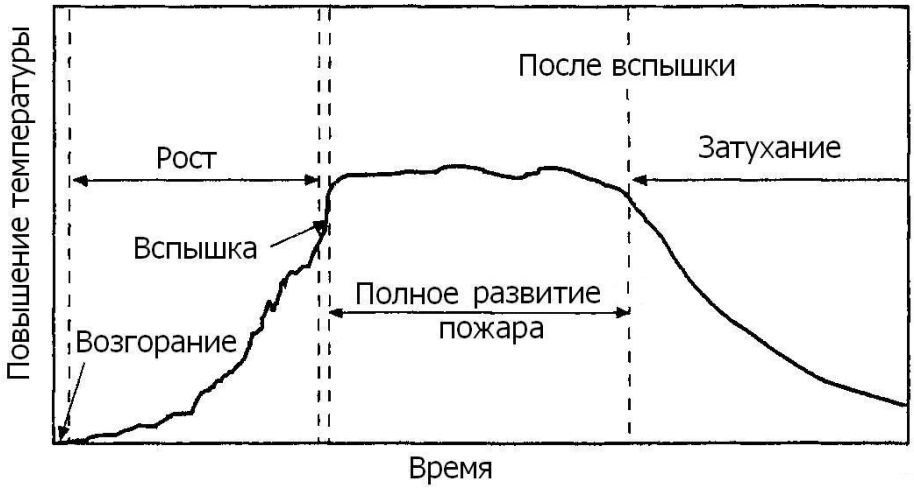


Рис. 1 Стадии развития пожара

Различают следующие стадии развития пожара:

Возгорание – это начальный период развития пожара. Противодымная защита направлена на борьбу с последствиями пожара после возгорания, а не с причинами возгорания.

Рост – это период после возгорания. Рост пожара характеризуется горением материалов вне зависимости или в незначительной зависимости от типа помещения, а также наличием избытка воздуха при пожаре. По мере роста пожара, температура в помещении повышается. Пожар с достаточным объемом воздуха для горения называется «*регулируемым нагрузкой пожаром*», а также пожаром в *свободной воздушной среде*.

Вспышка – это резкий переход из состояния условного стационарного пожара, ограниченного относительно небольшим пространством, в пожар, распространившийся на значительно большее пространство, например охвативший всё помещение. В очень большом помещении, таком как при свободной планировке офиса, лишь в части помещения может произойти вспышка. Обычно вспышка происходит при температуре дымового слоя в пределах от 500°С до 700°С. Показателем вспышки иногда является температура дымового слоя 600°С или лучистый тепловой поток в 20 кВт/м^2 на уровне пола комнаты, где происходит пожар.

Полное развитие пожара – это стадия развития пожара с достижением максимальных температурных отметок. Для небольших и средних помещений скорость выделения тепла при полностью развившемся пожа-

ре зависит от объема доступного воздуха. Данный тип полностью развившегося пожара называется «*регулируемым вентиляцией*». При регулируемом вентиляцией пожаре, горящие материалы выделяют больше летучих газов, которые могут гореть в комнате при доступном объеме кислорода, и пожар может характеризоваться пламенем с содержанием летучих газов, распространяющихся через открытые дверные проемы помещения, где происходит пожар. В очень больших помещениях, таких как при свободной планировке этажа офиса, пожар не обязательно становится регулируемым вентиляцией. Стадия полного развития пожара характеризуется неэффективным горением и высокой концентрацией угарного газа (см. таблицу 1).

Затухание – это стадия завершения горения топлива, при котором происходит снижение температуры и скорости выделения тепла в помещении. При этом, характер пожара может измениться с регулируемого нагрузкой на регулируемый вентиляцией. Строго говоря, термин «*пожар после вспышки*» включает обе стадии: полное развитие пожара и его затухание, но зачастую данный термин используется для обозначения только полностью развившегося пожара.

Таблица 1. Приближенные значения концентрации CO при пожарах в помещениях

	Концентрация CO [1]
Пожары в «свободной воздушной среде»	0,04
Полностью развившийся пожар (в комнате без содержания целлюлозных материалов на потолке или верхней части стен) [2]	0,2

[1] Концентрация CO – соотношение CO (в граммах), выделяемого на единицу топлива (в граммах) при сгорании.

[2] При полностью развившемся пожаре в помещениях с содержанием целлюлозных материалов (древесины, бумаги, картона и т.д.) на потолке или верхней части стен, ожидаемая концентрация CO будет в несколько раз выше представленных данных.

СКОРОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА ПРИ ГОРЕНИИ РАЗНЫХ ПРЕДМЕТОВ

Скорость выделения тепла в основном измеряется при горении предмета в лаборатории с использованием калориметра для измерения поглощения кислорода, открытого со всех сторон без ограничения движения воздушных потоков к огню. На скорость выделения тепла материалами, горящими при реальных пожарах, в некоторой степени влияет лучистое взаимодействие с окружающей средой. Несмотря на то, что калориметр для измерения поглощения кислорода ограничивает лучистое взаимодействие, лабораторные данные о скорости выделения тепла часто используются в качестве основы для стадии роста расчетного пожара.

На рис.2–10 представлена скорость выделения тепла при горении разных предметов. При горении парных предметов наблюдаются отклонения значений скорости выделения тепла, как это показано на рис.2 при пожаре в трех киосках. Размер этих киосков относительно небольшой, длина стороны составляла 1,22 метра. Специалисты лаборатории сконструировали эти киоски и заполнили их футболками с целью моделирования ситуации, приближенной к реальной. На отклонение значений скорости выделения тепла повлияли следующие факторы: (1) незначительные различия в размещении футболок, (2) различия в составе футболок, (3) различия в размерах киоска, (4) различия в материалах, из которых собраны киоски, и (5) различия в воздушных потоках около киоска. Однако формы кривых и максимальные значения скорости выделения тепла при горении киосков оказались сходными.

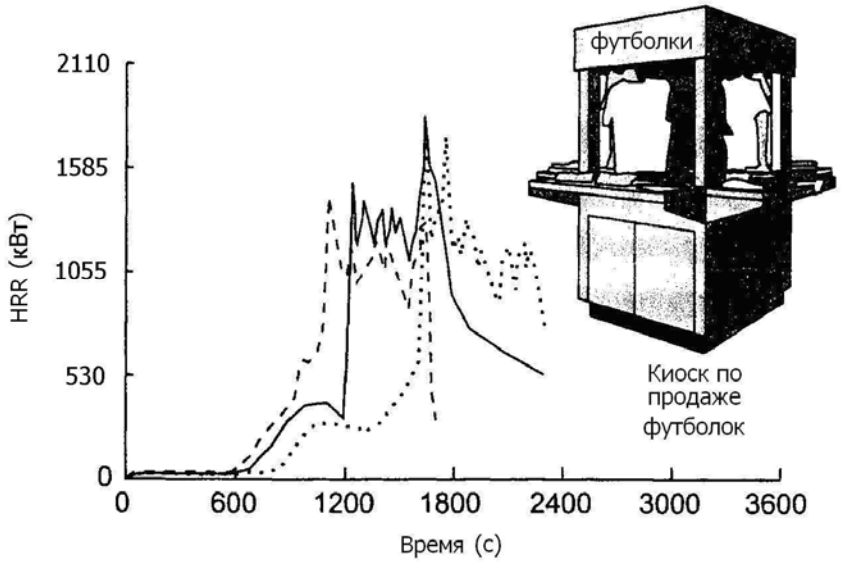


Рис. 2 Скорость выделения тепла (HRR) при горении трех киосков (пример типичной повторяемости горения материалов)

Как показано на рис.3, максимальные значения скорости выделения тепла при горении рождественской елки (сосны обыкновенной) варьировались в пределах от 1900 до 5275 кВт. В другом испытании при горении менее крупных елей максимальные значения скорости выделения тепла варьировались от 45 до 655 кВт. При горении всех рождественских елок наблюдался быстрый рост пожара с последующим затуханием по мере сгорания дерева. Пожары, связанные с возгоранием рождественских елок, представляют особый интерес из-за потенциальной возможности распространения пламени на другие предметы.

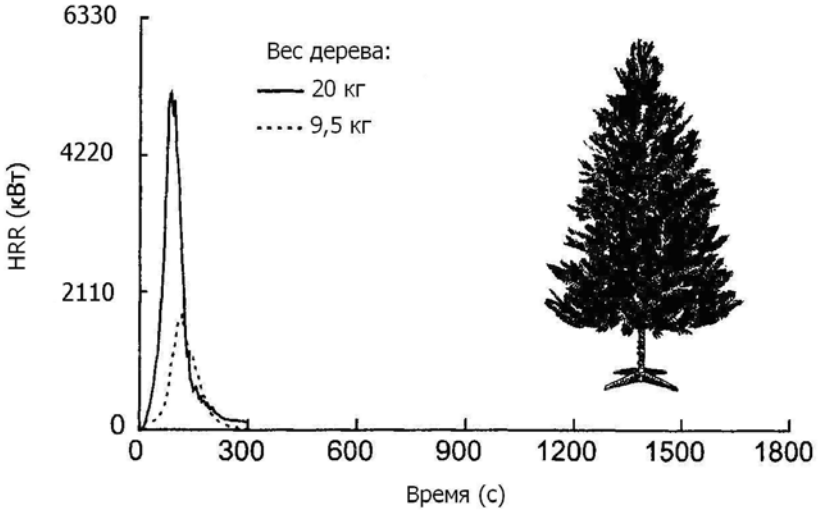


Рис. 3 Скорость выделения тепла (HRR) при горении рождественской елки (сосны обыкновенной)

На рис.4–8 представлена скорость выделения тепла при горении разных видов мебели. На рис.9 представлена скорость выделения тепла при горении рабочих мест. Это смоделированные рабочие места в офисе со следующей комплектацией: кресло, рабочий стол с полками или без, бумага, персональный компьютер и перегородки, отделяющие рабочее место от остального пространства.

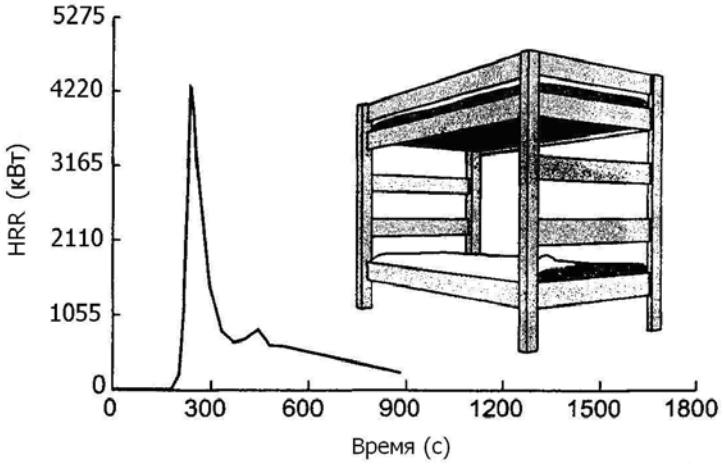


Рис. 4 Скорость выделения тепла (HRR) при горении двухъярусной кровати

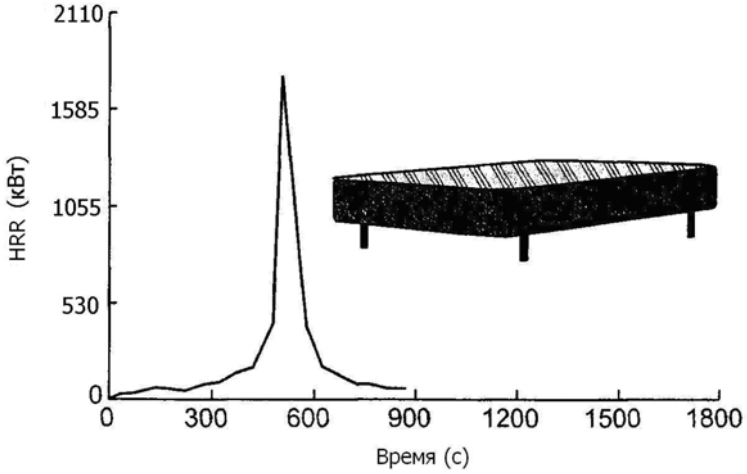


Рис. 5 Скорость выделения тепла (HRR) при горении пружинного матраса с наполнителем из пенополиуретана

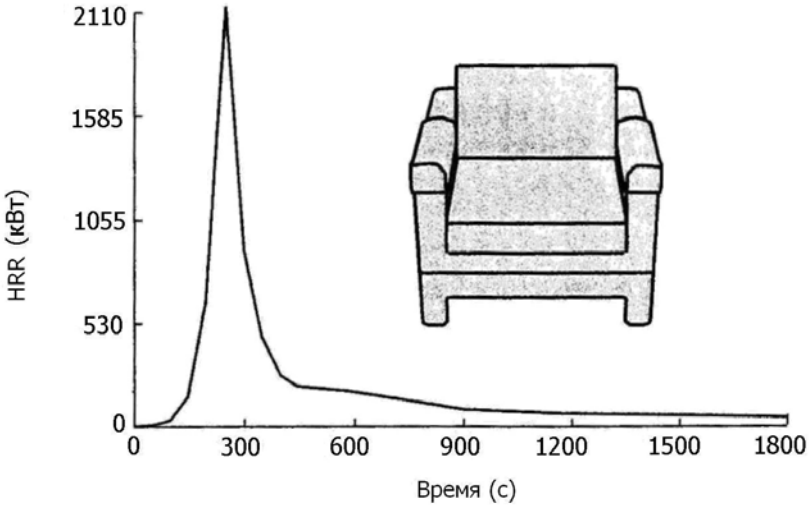


Рис. 6 Скорость выделения тепла (HRR) при горении кресла весом 28,3 кг с мягкой обивкой и наполнителем из пенополиуретана

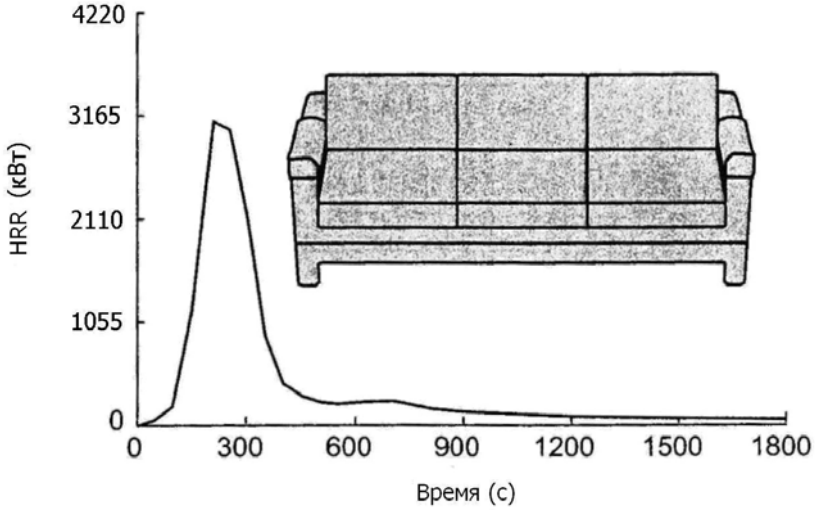


Рис. 7 Скорость выделения тепла (HRR) при горении дивана с наполнителем из пенополиуретана

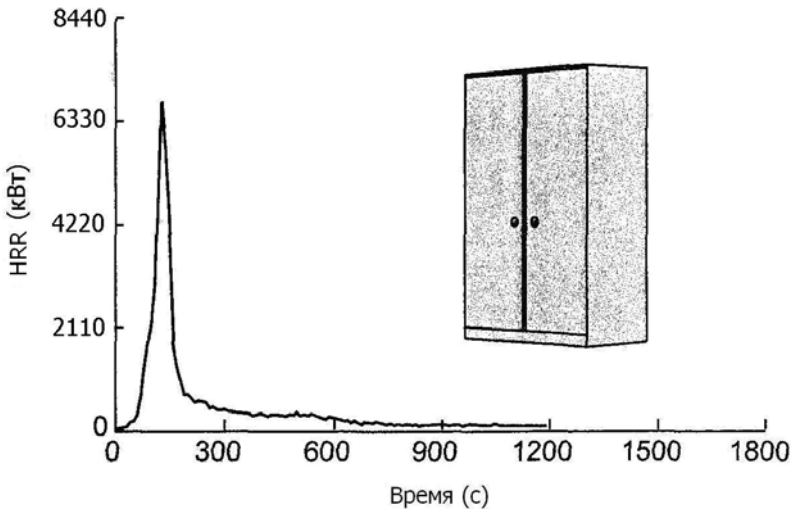


Рис. 8 Шкаф, изготовленный из фанеры толщиной 3,2 мм, с вещами из хлопка и полиэстера

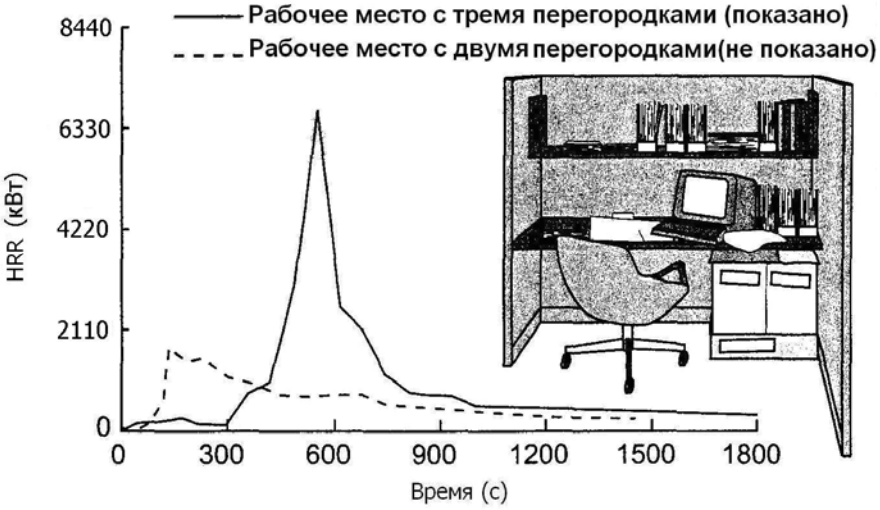


Рис. 9 Рабочее место с тремя перегородками, рабочим столом и полкой

На рис.10 показаны данные о скорости выделения тепла при горении автомобилей, измеренной исследователем Жуайо (Joyeux, 1997 [41]). Жуайо показал, что автомобили, произведенные в 1990-х гг., имели более высокие скорости выделения тепла по сравнению с произведенными ранее автомобилями, что может быть связано с увеличившимся применением полимеров и других неметаллических материалов. Из-за более высокой скорости выделения тепла пожар в автомобиле на автостоянке может вызвать возгорание стоящего рядом автомобиля.

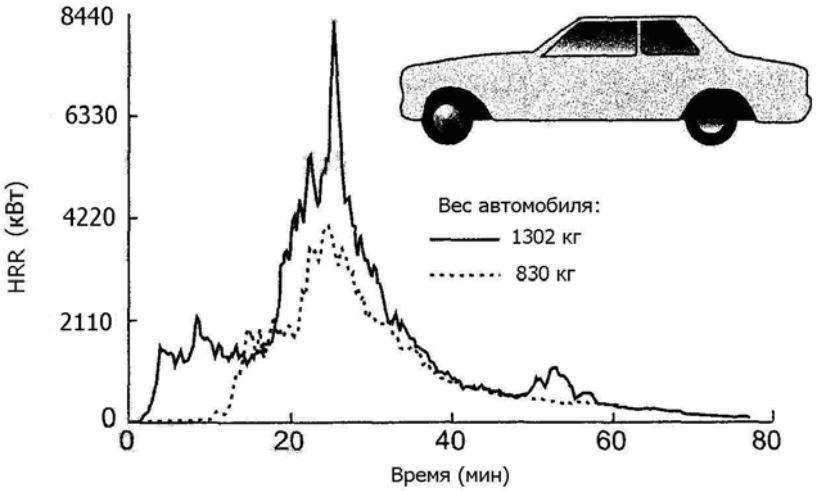


Рис. 10 Автомобили

РЕГУЛИРУЕМЫЕ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ПОЖАРЫ

Как описано выше, скорость выделения тепла при регулируемом вентиляцией пожаре зависит от объёма воздуха, доступного огню. Кроме того, скорость выделения тепла может быть выражена как функция вентиляционных отверстий помещения, где произошел пожар:

$$Q = 1260\ A_w H_w^{1/2}$$ ***Уравнение 1***

где

Q – скорость выделения тепла, кВт
A_w – площадь вентиляционного отверстия, м^2
H_w – высота вентиляционного отверстия, м

Данное уравнение применяется для помещений обычного размера и конструкции с одним прямоугольным проёмом. На рис.11 скорость выделения тепла при регулируемом вентиляцией пожаре представлена как функция ширины двери или другого проёма. На основе уравнения 1 можно получить полезные данные для помещений, выполненных из обычных строительных материалов (гипсокартон, бетон, дерево и т.д.), но оно не подходит для помещений из металла, таких как на корабле со стальными палубами и переборками. В примере 1 показано, как вычислить скорость выделения тепла для регулируемого вентиляцией пожара.

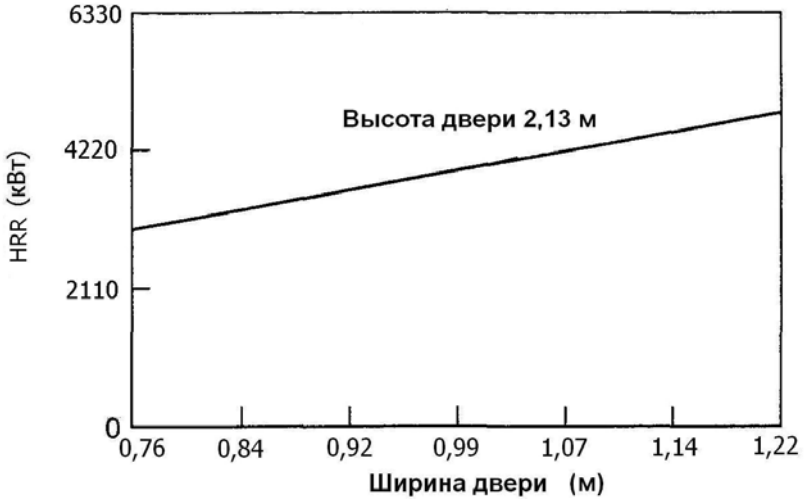


Рис. 11 Скорость выделения тепла (HRR) полностью развившегося пожара в маленьком или среднем помещении обычной конструкции

Пример 1. Регулируемый вентиляцией пожар

В помещении с одним дверным проёмом, которое полностью охвачено пожаром, какова будет мощность этого пожара?

Ширина дверного проёма - 914 мм, высота - 2134 мм.

$$H_w = 2{,}13 \text{ м};\ A_w = 0{,}914 * 2{,}134 = 1{,}9510 \text{ м}^2$$

Поскольку пожар регулируется вентиляцией, применимо уравнение 1:

$$Q = 1260\ A_w\ H_w^{1/2} = 1260 * 1{,}9510 * 2{,}13^{1/2} = 3587 \text{ кВт}$$

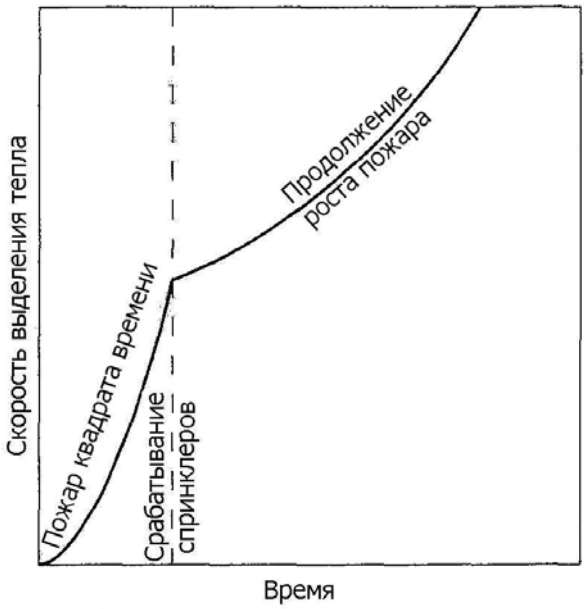
Для помещений площадью более 30 м^2 адекватность уравнения 1 является сомнительной.

Уравнение 1 было разработано для помещения только с одним проёмом, но в некоторых случаях оно может применяться для помещений с несколькими проёмами. Для ряда прямоугольных проёмов с одним и тем же уровнем верха и низа высота одинакова, а полезная площадь является суммой отдельных зон.

СПРИНКЛЕРЫ

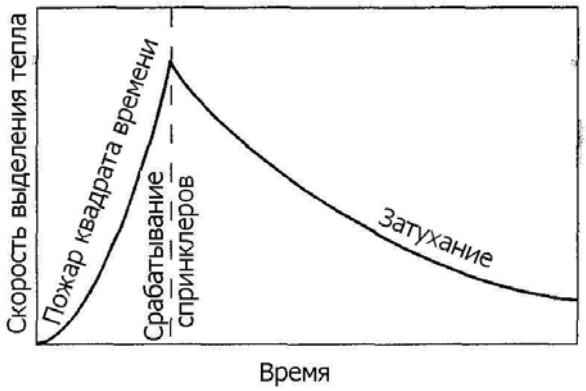
На рис.12 показан рост квадратичного пожара с тремя возможными реакциями на распыление воды спринклерами: огонь превосходит воздействие спринклеров; постоянная скорость выделения тепла; и снижение скорости выделения тепла. Как описано ниже, квадратичный пожар – это пожар, который распространяется с квадратом времени. Огонь может подавить влияние спринклеров в случае очень быстро разрастающегося пожара вследствие горения материалов, которые превышают показатели, заложенные при проектировании спринклеров. Кроме того, спринклеры могут не сработать, если достигающий их дым охлаждается из-за вовлечения воздуха в струю, что может происходить при пожарах в зонах, где потолки относительно высокие по сравнению с расположением топлива. В этом случае, высота пламени обычно меньше высоты потолка, и

вовлечение воздуха приводит к охлаждению газов в струе дыма. Если спринклеры сработают, распыляемая вода может испариться до попадания на топливо.



(a) Огонь превосходит воздействие спринклеров

(b) Завышенная оценка постоянной HRR после активации спринклеров



(c) Затухание пожара после срабатывания спринклеров

Рис. 12 Взаимодействие пожара и спринклеров

Снижение скорости выделения тепла из-за спринклеров

Постоянная скорость выделения тепла после срабатывания спринклера является завышенным оценочным показателем в большинстве прикладных программ. Затухание пожара после срабатывания спринклеров более реалистично. Затухание пожара может быть выражено следующей формулой:

$$Q = Q_{act}\, e^{-(t - ta)/\tau}$$ ***Уравнение 2***

где
Q – скорость выделения тепла после срабатывания спринклеров, кВт
Q_{act} – скорость выделения тепла при срабатывании спринклеров, кВт
t – время от начала возгорания, с
t_a – время срабатывания спринклеров, с
τ – постоянная времени тушения пожара, с

Мадржуковски и Веттори (Madrzykovski and Vettori, 1992 [42]) провели пожарные испытания со спринклерами с плотностью водной струи 0,07 мм/с для наборов горючих материалов, которые могут находиться в офисах. Они определили, что кривая затухания пожара с постоянной времени, равной 435 секундам, имела более высокую скорость выделения тепла по сравнению с большинством пожаров в помещениях со спринклерами (рис.13). Эванс (Evans, 1993 [43]) использовал данные этих испытаний, а также данные о пожарах деревянной поленицы и плотности струи спринклера 0,041 мм/с и 0,066 мм/с из испытаний Таманини (Tamanini, 1976 [44]) и вывел следующее соотношение:

$$\tau = 3/w^{1,85}$$ ***Уравнение 3***

где
w – плотность струи, мм/с

Несмотря на то, что уравнение 3 не было проверено экспериментально, оно всё же позволяет скорректировать время затухания для плотностей струй спринклеров за исключением тех, что использовали Мадржуковски и Веттори.

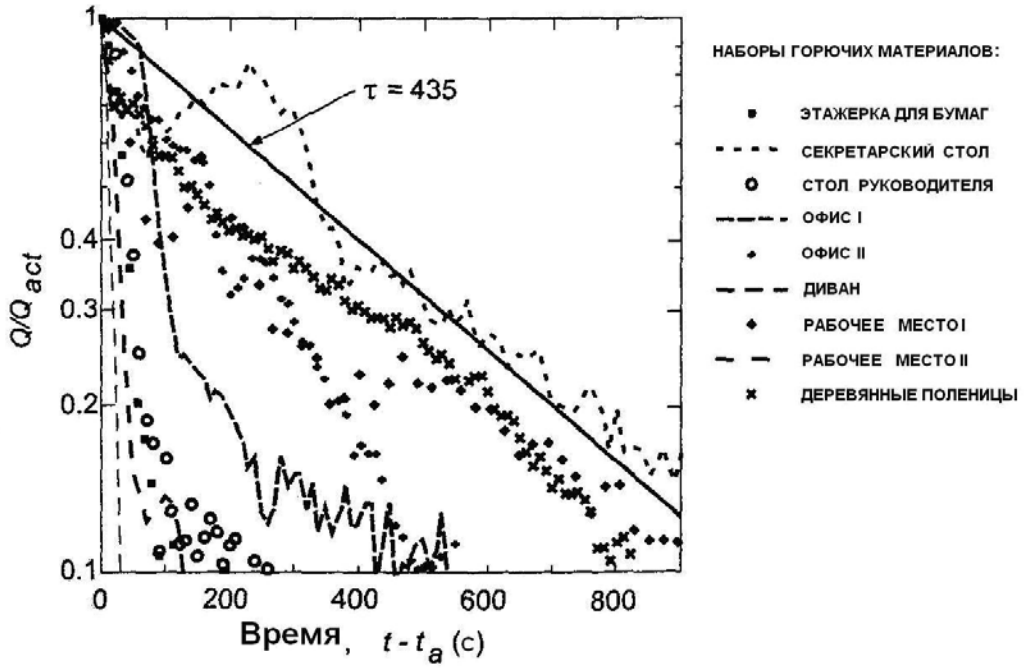


Рис. 13 Затухание пожара при срабатывании спринклеров с плотностью струи 0,07 мм/с

Реакция спринклеров

Несмотря на то, что в данном пункте информация дана в основном о спринклерах, она также применяется к вентиляционным отверстиям, активируемым при помощи плавких защитных элементов и пожарных тепловых извещателей с заданной температурой.

Быстрота реакции спринклеров проверяется испытанием на погружение, в ходе которого спринклер погружается в нагретую печь, где происходит циркуляция нагретого воздуха. Данный расчет основан на допущениях, что: 1) внутреннее сопротивление спринклера является незначительным; 2) спринклер немедленно помещается в печь; 3) коэффициент конвективной теплопередачи является постоянным; 4) температура газа в печи постоянная; и 5) единственная теплопередача - от газа к спринклеру.

Температура спринклера повышается экспоненциально, как показано на рис.14. Постоянная времени, τ, спринклера составляет:

$$\tau = mc/(h_c A)$$ ***Уравнение 4***

где:
τ – постоянная времени, с
m – вес спринклера, кг
c – удельная теплоемкость спринклера, Дж/кг °С
h_c – коэффициент конвективной теплопередачи, Вт/м^2 °С
A – площадь поверхности спринклера, м^2

Постоянная времени, τ, представляет собой время, за которое температура спринклера достигает 63% от температуры газа. Коэффициент конвективной теплопередачи, h_c, изменяется в зависимости от скорости, вследствие чего постоянная времени также изменяется в зависимости от скорости, на которой она измеряется.

Рис. 14 Температуры в испытании погружением спринклера

Индекс времени срабатывания (RTI) был введен для измерения быстроты реакции спринклеров, независимой от скорости. Он рассчитывается по формуле:

$$RTI = \tau u^{1/2}$$ ***Уравнение 5***

где:

RTI – индекс времени срабатывания, м$^{1/2}$ с$^{1/2}$
u – скорость, м/с

В испытании погружением измеряется время активации спринклера и скорость газа. Затем постоянная времени может быть вычислена на основе времени активации, а индекс времени срабатывания (RTI) может быть вычислен на основе уравнения 5. Индекс времени срабатывания (RTI) для стандартных спринклеров варьируется приблизительно от 77 до 155 м$^{1/2}$с$^{1/2}$, для быстродействующих спринклеров – приблизительно от 28 до 55 м$^{1/2}$ с$^{1/2}$. Индекс времени срабатывания не учитывает кондуктивную теплопередачу от спринклера.

Активация спринклеров

Активация спринклера зависит от температуры и скорости потока газов вблизи спринклера. При пожаре струи горячих газов распространяются под потолком в радиальном направлении от места столкновения струи дыма с потолком. Для определения времени активации были разработаны специальные компьютерные программы, в которых используются соотношения для таких припотолочных струй.

В программе DETACT-QS используются допущения, что: 1) тепловой датчик расположен на довольно большой площади; 2) только припотолочная струя нагревает датчик; и 3) не происходит нагревания за счет горячих газов, скопившихся в помещении. Требуемые входные данные программы: высота потолка над горючим материалом, расстояние до теплового датчика от оси пламени, температура срабатывания теплового датчика, индекс времени срабатывания (RTI) теплового датчика и скорость выделения тепла при пожаре. Выходные данные программы: температура газов на уровне потолка, температура датчика (оба показателя как функции времени) и время до срабатывания датчика. Программа DETACT-T2 схожа с программой DETACT-QS, за исключением того, что она разработана специально для квадратичных пожаров. Несколько зонных моде-

лей пожара, такие как FAST, LAVENT и JET, способны рассчитывать температуру припотолочной струи и вычислять время срабатывания датчика. Эти компьютерные модели находятся в свободном доступе, и их можно бесплатно заказать в Национальном институте стандартов и технологий (г. Гейтерсберг, штат Мэриленд, США).

РАСЧЕТНЫЕ ПОЖАРЫ

Кривая расчетного пожара – это описание развития пожара, которое может использоваться в сценарии пожара. Кривая представляет собой скорость выделения тепла как функцию времени. Данная кривая может иметь простое значение как константа или может быть простой функцией времени. Кривая расчетного пожара также может являться сложной последовательностью кривых.

В сценарий пожара входит больше, чем просто кривая расчетного пожара. Термин «сценарий» означает намеченный план событий (по аналогии с пьесой или другими театральными постановками). Сценарий пожара может рассматриваться как намеченный план событий и условий, имеющих решающее значение для определения итогов альтернативных расчетов. Кроме скорости выделения тепла и местоположения пожара, сценарий может включать виды используемых горючих материалов, токсические вещества в воздухе, образование сажи и передвижение людей в течение пожара.

Горючие материалы временного хранения

Во многих видах помещений принимаются строгие меры по ограничению пожарной нагрузки с целью ограничения мощности пожара. Такого рода помещения характеризуются внутренней отделкой из металла, кирпича, камня или гипсокартона и, как правило, обставлены предметами из схожих материалов, в том числе, живыми растениями. Даже на такой площади *с ограниченным количеством горючих материалов* может находиться практически неограниченное количество воспламеняющихся предметов, находящихся на кратковременном хранении. Такого рода горючие материалы, не предназначенные для постоянного размещения на данной площади, называются *горючими материалами временного хранения*.

Примерами горючих материалов временного хранения служат рождественские декорации, краска и растворитель, находящиеся в лестничных шахтах в течение ремонта помещений, доставленные и ещё не распакованные пластиковые стаканчики в картонных коробках, разрезанные картонные коробки, приготовленные на выброс, или составленная вплотную мебель, ещё не расставленная по местам после доставки. Иногда горючие материалы временного хранения надолго остаются в одном и том же месте. Например: (1) партия полиуретановых матрацев, доставленных в общежитие и ожидающих распределения в следующем учебном году, (2) автомобили, выставленные на показ в торговом центре, (3) лодки и жилые автоприцепы, выставленные в спортивном комплексе или (4) двухэтажный дом колониального стиля, выстроенный для демонстрации в торговом центре.

При выборе расчетного пожара не стоит забывать о горючих материалах временного хранения. Один из подходов к учету горючих материалов временного хранения в оснащенных спринклерами помещениях с низкими или средними потолками заключается в том, чтобы рассмотреть пожар, происходящий на площади 9,3 м^2 со скоростью выделения тепла 225 кВт/м^2. Это предполагает допускаемую величину горючих материалов временного хранения в 2110 кВт.

Стационарные пожары

По своей природе пожар протекает неравномерно, однако стационарный (равномерный) пожар является очень удобной идеализацией. Равномерные пожары имеют неизменное значение скорости выделения тепла. Во многих прикладных программах использование модели стационарного пожара приводит к простым расчетам и оценке с запасом.

Скорость выделения тепла на единицу площади

В качестве типового значения скорости выделения тепла для коммерческих зданий Морган (Morgan, 1979 [45]) предлагает значение 500 кВт/м^2. Фэнг и Бриз (Fang, Breese, 1980 [46]) определили приблизительно такое же значение для жилых зданий. Морган и Ханселл (Morgan, Hansell, 1987 [47]) и Ло (Law, 1982 [48]) предложили следующее значение скорости выделения тепла на единицу площади для офисных зданий: 225 кВт/м^2. Для систем вентиляции и дымоудаления предлагается значение скорости выделения тепла на единицу площади равное 225 кВт/м^2 в помещениях с ограничением горючих материалов и 500 кВт/м^2 в помещениях с мебелью, древесиной и другими горючими материалами. Пожар на территории площадью 9,3 м^2 дает 2110 кВт в зонах с ограниченным количеством горючих материалов и 4642 кВт в зонах, заполненных горючими материалами. Значения скорости выделения тепла на единицу площади, приведенные в таблице 2, помогут определить расчетный пожар.

Таблица 2. Скорость выделения тепла при горении некоторых материалов на единицу площади

	Горючий материал	Скорость выделения тепла на единицу площади, *q* кВт/м^2
1.	Деревянные поддоны, 0,46 м в высоту (влажность: 6-12%)	1400
2.	Деревянные поддоны, 1,52 м в высоту (влажность: 6-12%)	4000
3.	Деревянные поддоны, 3,05 м в высоту (влажность: 6-12%)	6800
4.	Деревянные поддоны, 4,88 м в высоту (влажность: 6-12%)	10 000
5.	Почтовые сумки, наполненные, 1,52 м в высоту	400
6.	Картонные коробки с ячейками, 4,57 м в высоту	1700
7.	Полиэтиленовые лотки для писем, наполненные, 1,52 м в высоту на тележке	8500
8.	Полиэтиленовые мусорные баки в картонных коробках, 4,57 м в высоту	2000
9.	Душевые кабины из полиэтилена и стекловолокна в картонных коробках, 4,57 м в высоту	1400
10.	Полиэтиленовые бутылки, упакованные в см. пункт 6	6200
11.	Полиэтиленовые бутылки в картонных коробках, 4,57 м в высоту	2000
12.	Полиуретановая изоляционная плита, поропласт, 4,57 м в высоту	1900
13.	Полистироловые сосуды, упакованные в см. пункт 6	14 000
14.	Полистироловые трубки в картонных коробках, 4,27 м в высоту	5400
15.	Полистироловые детали игрушек в картонных коробках, 4,57 м в высоту	2000
16.	Полистироловая изоляционная плита, поропласт, 4,27 м в высоту	3300
17.	Бутылки из ПВХ, упакованные в см. пункт 6	3400
18.	Полипропиленовые трубки, упакованные в см. пункт 6	4400
19.	Полипропиленовая и полиэтиленовая пленка в рулонах, 4,27 м в высоту	6200
20.	Резервуар с метанолом, ∅ 0,16 м	2000
21.	Резервуар с метанолом, ∅ 1,22 м	400
22.	Резервуар с метанолом, ∅ 1,74 м	400
23.	Резервуар с метанолом, ∅ 2,44 м	420
24.	Резервуар с метанолом, ∅ 0,97 м	745
25.	Резервуар с силиконовым трансформаторным маслом, ∅ 1,74 м	90
26.	Резервуар с силиконовым трансформаторным маслом, ∅ 2,44 м	90
27.	Резервуар с углеводородным трансформаторным маслом, ∅ 1,22 м	940
28.	Резервуар с углеводородным трансформаторным маслом, ∅ 1,74 м	900
29.	Резервуар с гептаном, ∅ 1,22	3000
30.	Резервуар с гептаном, ∅ 1,74	3200

В данной таблице приведены округлённые значения. Аналогичную таблицу B.5.2(a) с более точными значениями смотрите в подразделе «Справочная информация» раздела «NFPA 92B. Руководство по системам противодымной защиты атриумов, моллов и больших помещений».

Нестационарные пожары

Нестационарным (неравномерным) пожаром называют пожар, при котором скорость выделения тепла изменяется с течением времени. Часто считается, что на стадии роста пожар усиливается с квадратом времени, и такой пожар принято называть *квадратичным пожаром*. Уравнение квадратичного пожара приведено ниже:

$$Q = a\,t^2 \qquad \textbf{\textit{Уравнение 6}}$$

где:

Q – скорость выделения тепла при пожаре, кВт

a – коэффициент роста пожара, кВт/с^2

t – время от возгорания, с

Рост квадратичного пожара показан на рис.15. В уравнение 6 не включен инкубационный период медленного и неравномерного развития, который часто имеет место перед стадией роста пожара, но общепризнанным остается тот факт, что при проектировании систем дымоудаления учет инкубационного периода не является необходимым.

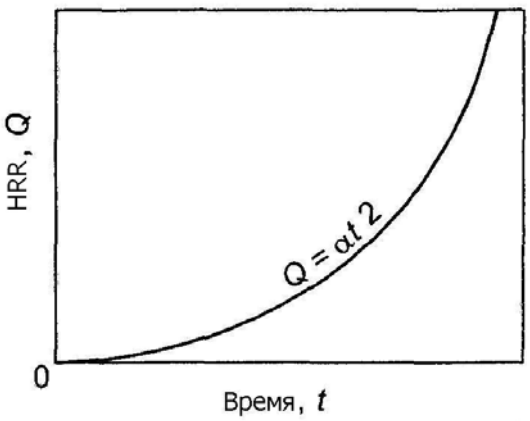


Рис. 15 Кривая роста пожара

В таблице 3 приведены значения роста пожара из стандартов Национальной ассоциации по противопожарной защите (США) NFPA 92B «Руководство по системам противодымной защиты атриумов, торговых центров и больших помещений» [4] и NFPA 72 «Национальные нормы по пожарной сигнализации» [3]. Данные роста пожара, соответствующие значениям из стандарта NFPA 92B, приведены на рис.16. Если не указано иное, то далее по тексту термины «*медленный*», «*средний*», «*быстрый*» и «*сверхбыстрый*», характеризующие рост пожара, относятся к значениям из стандарта NFPA 92B.

Таблица 3. Постоянные роста пожара для квадратичных пожаров

	NFPA 92B		**NFPA 72**
	α (кВт/с^2)	**t_g (с)**	**Диапазон t_g (с)**
Медленный	0,002931	600	$t_g \geq 400$
Средний	0,01127	300	$150 \leq t_g < 400$
Быстрый	0,04689	150	$t_g < 150$
Сверхбыстрый	0,1878	75	–

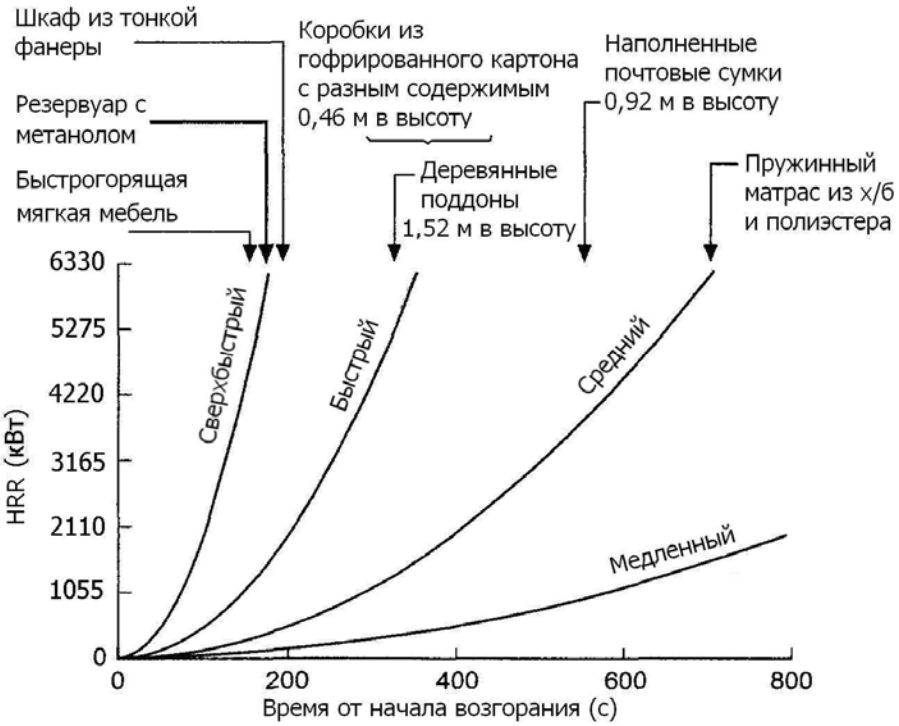


Рис. 16 Соотношение квадратичных пожаров к некоторым пожарным испытаниям

Подход, основанный на наборе горючих материалов

Основной набор горючих материалов представляет собой набор материалов максимально возможных размеров, который может быть охвачен пожаром, используемый в конкретной прикладной программе. Набор горючих материалов может состоять из нескольких горючих элементов (диван, стул, кровать, стол, шторы и т.д.). Ключевое значение в выборе элементов, которые будут составлять основной набор, заключается в том, что поток излучения от одного из горючих элементов приведет к возгоранию остальных элементов, находящихся в основном наборе, не вызвав при этом возгорания посторонних горючих элементов.

Модель точечного источника теплового излучения (рис. 17) рассматривает пламя как небольшой тепловой источник таким образом, что интенсивность теплового излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника. Тепловое излучение также называется *лучистым тепловым потоком*.

Рис. 17 Модель точечного источника теплового излучения

$$q_r = Q_r/(4\pi R^2)$$ ***Уравнение 7***

где:
q_r – интенсивность теплового излучения, кВт/м^2
Q_r – лучистая теплоотдача, кВт
R – расстояние от центра огня, м

Модель точечного источника излучения действенна при условии, что расстояние от центра пламени превосходит диаметр пожара более, чем в два раза (R > 2D). Интенсивность теплового излучения, q_r, также называют *лучистым потоком*.

Лучистая теплоотдача при пожаре составляет:

$$Q_r = X_r Q$$ ***Уравнение 8***

где
Q – скорость выделения тепла, кВт
X_r – доля теплового излучения

Тепло передается от пламени путем проводимости, конвекции и излучения. Для большинства пожаров теплопередача проводимостью незначительна. Доля теплового излучения может быть выражена следующим уравнением:

$$X_r = 1 - X_c$$ ***Уравнение 9***

где X_c – конвективная доля.

Доля теплового излучения зависит от горючего материала и диаметра пожара, и ее значение варьируется от 0,1 до 0,6. Горючие материалы с низкой степенью сажеобразования, такие как метанол, имеют низкую долю теплового излучения, в то время как материалы с высокой степенью сажеобразования, такие как бензин и полистирол, обладают высокой долей излучения. Однако, в прикладных программах моделирования распространены значения X_r = 0,3 и X_c = 0,7.

Понятие «разделительное расстояние» помогает оценить, какие элементы должны применяться в основном наборе горючих материалов. Согласно модели точечного источника теплового излучения разделительное расстояние равно:

$$R_{SD} = (Q_{r,i} / 4\pi q_{r,i})^{1/2}$$ ***Уравнение 10***

где
R_{SD} – разделительное расстояние от центра огня до объекта, м

$Q_{r,i}$ – интенсивность теплового излучения, необходимая для самопроизвольного возгорания, кВт/м^2
$q_{r,i}$ – лучистый поток, необходимый для самопроизвольного возгорания, кВт/м^2

Элементы горючих материалов, расположенные на меньшем расстоянии от огня, чем R_{SD}, должны загореться, в то время как элементы, расположенные на большем расстоянии, чем R_{SD}, загореться не должны. Лучистый поток, необходимый для самопроизвольного возгорания, варьируется от 10 кВт/м^2 для тонких легковоспламеняемых материалов до 20 кВт/м^2 для толстых материалов.

При пожаре скорость выделения тепла, $Q_{r,i}$, необходимая для воспламенения объекта, находящегося на расстоянии R, равна:

$$Q_{r,i}=4\pi R^2 q_{r,i}$$ ***Уравнение 11***

Для лучистой теплопередачи, если значение *R* меньше удвоенного диаметра пожара, модель точечного источника излучения не может быть использована. Необходимо применять другой метод. В примере 2 показан расчет набора горючих материалов временного хранения и дана оценка воспламенения под воздействием теплового излучения.

Пример 2. Набор горючих материалов временного хранения из восьми диванов

Пожарная нагрузка представлена набором горючих материалов, в который входят 8 диванов с наполнителем из пенополиуретана, после доставки в здание временно хранящихся в большом атриуме. Диваны составлены в ряд на расстоянии 0,305 м друг от друга, как показано на рис.18. Потолок атриума достаточно высокий и, следовательно, успешной ликвидации пожара при помощи спринклерной системы не ожидается. Скорость выделения тепла диванов соответствует показателям, приведенным на рис.7. Максимальная скорость выделения тепла составляет 3102 кВт.

Значение лучистого потока для самопроизвольного возгорания $q_{r,i}$ = 20 кВт/м^2 было выбрано с целью получения результатов с запасом.

Радиус *R* проходил от центра огня до края соседнего дивана и составлял 0,762 м. Скорость выделения тепла, вызывающая возгорание на расстоянии *R*, рассчитывается на основе уравнения 11:

$$Q_{r,i}= 4\pi R^2 q_{r,i}= 4\pi (0{,}762)^2(20) = 146 \text{ кВт}$$

Таким образом, когда мощность пожара дивана 1 достигнет 146 кВт, должно произойти воспламенение дивана 2. Это завышенная оценка, поскольку используется значение лучистого потока для толстых материалов.

Общая скорость выделения тепла при горении группы из восьми диванов может быть рассчитана численно и графически. Графические вычисления показаны на рис.19. Скорость выделения тепла дивана взята из рис.7, момент возгорания второго дивана изображен на рис.19 (a). Предполагается, что последующие диваны воспламеняются при том же лучистом потоке, переходящем от соседнего дивана, как показано на рис.19 (b). Общая скорость выделения тепла при горении группы диванов складывается из суммы индивидуальных кривых скорости выделения тепла каждого дивана, как показано на рис.19 (c).

Насколько можно судить по рис.19 (c), данный пожар является довольно крупным, но он мог быть еще крупнее, если бы расположенные по соседству материалы тоже загорелись под воздействием лучистого потока от горящих диванов.

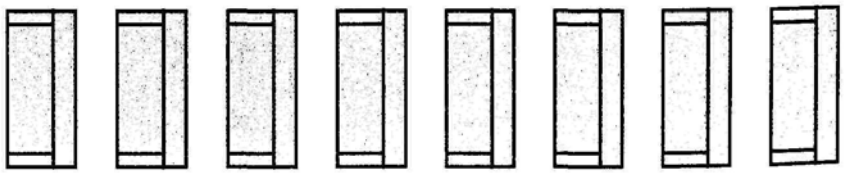
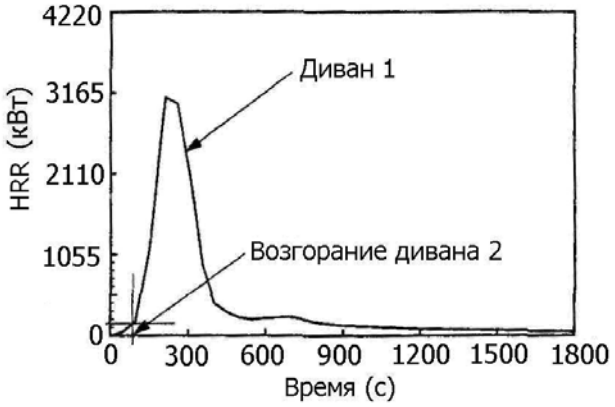
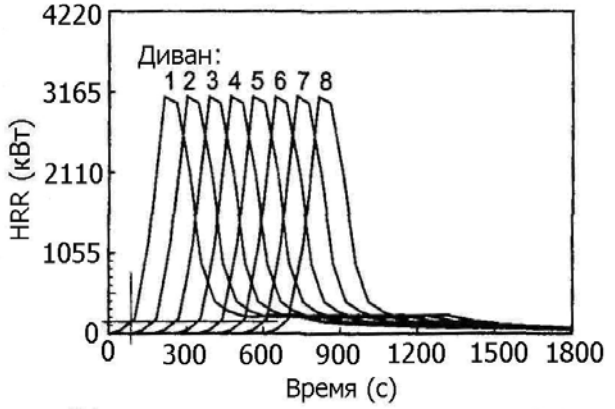


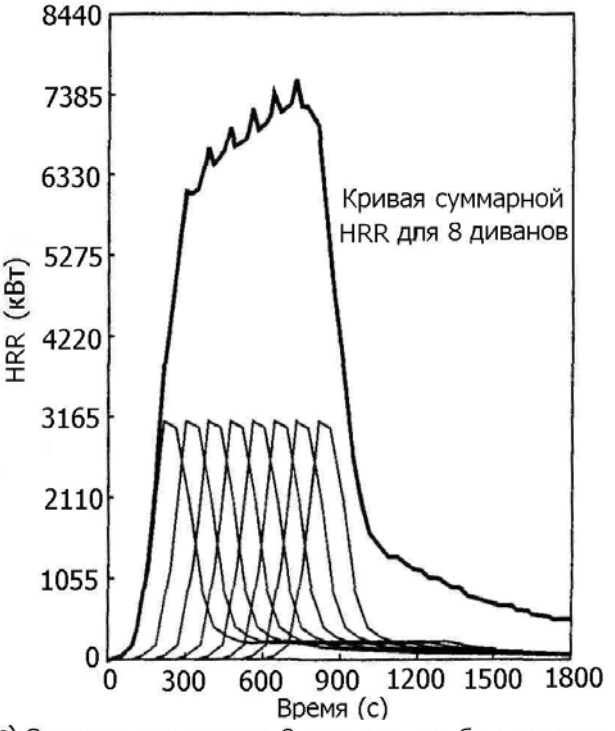
Рис.18 Расположение диванов в атриуме (пример 2)



(a) Постройте кривую для дивана 1 и укажите точку возгорания дивана 2



(b) Постройте кривые для диванов 2-8



(c) Сложите кривые для 8 диванов, чтобы получить кривую суммарной скорости выделения тепла

Рис. 19 Графическое представление для основного набора горючих материалов из примера 2

LPR 11. ДАННЫЕ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Данная глава подготовлена на основе отчета Совета по предотвращению убытков LPR-11 «Распространение огня в многоэтажных зданиях с остекленными навесными фасадами» [2]. В отчете представлено детальное описание поведения пожара и его воздействий на фасадные системы. Полученные данные отчета предназначены для инженеров, чья деятельность связана с разработкой решений, касающихся пожарной опасности. Читатель должен помнить, что применение результатов исследования к конкретным расчетам требует пристального внимания.

Отчет, легший в основу данной главы, появился в результате возникновения сомнений в действенности традиционных методов, используемых страховщиками для оценки максимальных потерь в высотных коммерческих зданиях. Возникновению этих опасений послужили участившиеся случаи пожаров в этих типах зданий в Великобритании и других странах, продемонстрировавшие значительные сложности, связанные с их тушением. Особое опасение вызывает видимая легкость, с которой огонь в конструкциях с остекленными навесными фасадными системами может распространяться с этажа возникновения пожара по фасаду здания. Первоначальная задача отчета заключалась в исследовании этого феномена и факторов, оказывающих на него влияние, а также средств снижения его разрушающего действия.

Пожарный исследовательский центр провел обширное исследование методов проектирования с использованием огнестойких межэтажных панелей с целью препятствовать распространению пламени на вышележащие этажи по внешней поверхности фасада здания. Программа состояла из 11 испытаний, проведенных на единой базовой конфигурации здания, но с применением различных параметров, таких как, пожарная нагрузка, вертикальное расстояние между окнами, тип межоконных панелей и использование балкона для измерения относительного воздействия каждого из этих факторов на распространение пожара на вышерасположенные этажи. Испытания проводились на открытом воздухе, и, следовательно, в каждом отдельном случае подвергались воздействию ветра различной скорости и различного направления. При наличии фактора регулируемого вентиляцией пожара, пожарная нагрузка в большей степени влияла на продолжительность горения, чем на его интенсивность. Во всех испытаниях одностворчатый элемент остекления в помещении пожара рано или поздно разрушался, и огонь устремлялся на остекленную поверхность вышерасположенного этажа. Результаты показали, что при направленном огневом воздействии, время до разрушения составляло 1-2 минуты. Было обнаружено, что при большей продолжительности горения, вероятность распространения огня на вышерасположенные этажи возрастала. Результаты исследования показали, что применение вертикального разделения окон при помощи простенков (длиной 91,44 см), балконов или межоконных панелей допустимой величины не давало значительных преимуществ. Однако было отмечено значительное влияние силы и направления ветра на снижение или усиление степени огневого воздействия.

ОБЗОР ТИПОВЫХ ФОРМ НАВЕСНЫХ ФАСАДНЫХ СИСТЕМ

Эстетическая притягательность современных зданий во многом обязана новым разработкам в области облицовочных систем, связанных с развитием относительно новых методов проектирования и производства в области остекления и алюминиевых конструкций. Ведущую позицию среди этих систем занимают навесные фасадные системы, которые представляют собой форму облицовки, как правило, состоящую из сочлененной металлической рамной конструкции, удерживающей сборные светонепроницаемые, полупрозрачные или прозрачные заполняющие панели. Панели закрепляются в рамной конструкции при помощи синтетических уплотнителей. Прочность рамной конструкции должна быть достаточной, чтобы удерживать стеклянные/межоконные панели, и противостоять ветровой нагрузке, которой будет подвергаться данная сборная конструкция. Рамная конструкция крепится к конструкции здания на уровне плиты перекрытия или балки при помощи стальных или алюминиевых кронштейнов. Разделение этажей сохраняется благодаря заполнению зазоров между навесным фасадом и основной конструкцией противопожарным материалом на уровне перекрытия.

Система навесных фасадов представляет собой граничную поверхность, отделяющую внутреннюю среду от наружной среды, и, следовательно, должна соответствовать определенным эксплуатационным требованиям и предельным состояниям прочности при нагрузке и воздействиях окружающей среды. Требованиям к системам навесных фасадов включают: устойчивость к атмосферным воздействиям, акустическую и тепловую изоляцию, сопротивление ветровым нагрузкам, устойчивость к относительному смещению и долговечность.

В данном отчете особое внимание уделяется лишь одному эксплуатационному параметру, а именно, способности навесных фасадных систем препятствовать распространению пожара на вышележащие этажи и прилегающие здания.

Советом по предотвращению убытков был произведен обзор многоэтажных зданий Великобритании, в которых были использованы навесные фасадные системы. Элементы типовой навесной фасадной системы приведены на рис. 1. Были выявлены следующие слабые стороны материалов и методов их установки:

- Пространство между навесным фасадом и торцом плиты перекрытия или балки может создавать потенциальный огневой канал, в связи с этим, оно уплотняется противопожарным материалом. Однако сжатие или вытеснение противопожарного материала под воздействием температурных деформаций фасадной рамной конструкции может вызвать проникновение горячих газов на вышерасположенный этаж через образовавшиеся зазоры. Этому процессу способствует избыточное давление на уровне потолка в помеще-

нии пожара. Также могут возникнуть сложности с установкой противопожарного материала особенно в области соединения системы навесного фасада с конструкцией, где, как правило, образуются зазоры.

- Оконные панели навесных фасадных систем во внешней оболочке здания, как правило, имеют двойное остекление, но огнестойкое стекло используется крайне редко, что обусловлено его высокой стоимостью. При огневом воздействии перепады температур, образующиеся между центральной частью оконного стекла и его затененными краями, вызывают нагрузки, которые вызывают трещинообразование. Это ведет к нарушению целостности и выпадению стекла, что, в свою очередь, обеспечивает доступ воздуха к огню и влечет за собой опасность падающих осколков.

- Непрозрачные межоконные панели используются для ограждения соединений между потолком и полом. Как правило, они производятся из высокопрочного стекла. В связи с их расположением в непосредственной близости от поверхности потолка на этаже протекания пожара, межоконные панели подвергаются воздействиям высоких температур, обусловленным подъемной силой. Это может послужить ключевым фактором в распространении пожара по фасаду здания, поскольку разрушение межоконной панели обеспечивает распространение пожара на вышерасположенный этаж.

- Рамная конструкция, обычно состоящая из системы соединенных вертикальных и горизонтальных импостов, как правило, производится из штампованных алюминиевых профилей. Алюминиевые профили теряют устойчивость при температуре, превышающей 200°C, и деформируются при огневом воздействии. Температура плавления алюминиевых профилей составляет 550°C – 650°C.

- Рамная конструкция навесного фасада обычно соединяется с конструкцией здания стальными или алюминиевыми кронштейнами. Последние теряют устойчивость и плавятся при той же температуре, что и алюминиевая рамная конструкция.

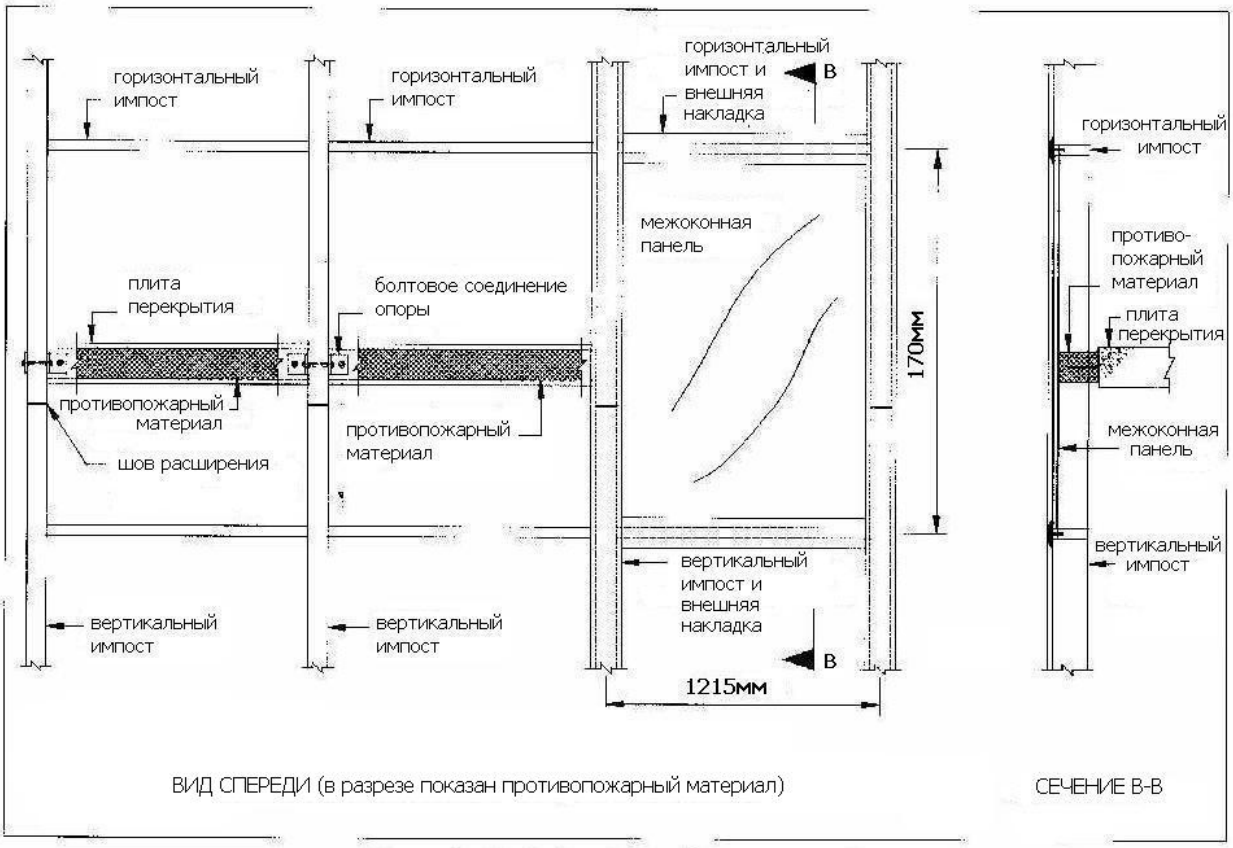


Рис. 1 Типовая панель навесной фасадной системы

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цель программы испытаний в первую очередь заключалась в том, чтобы определить поведение навесных фасадных систем под воздействием типового пожара, основываясь на исследованиях свойств отдельных элементов конструкции (рамной конструкции, элементов остекления, крепежных элементов, противопожарного материала). Во-вторых, исследовалась склонность разрушения элементов конструкции приводить к вертикальному распространению огня по поверхности здания. И, наконец, проводились испытания средств предотвращения разрушения элементов и/или распространения огня.

Испытательная установка

Для исследования была выбрана установка с лицевой поверхностью 6.0 метров в ширину, вмещающей секцию навесного фасада из четырех окон. Глубина помещения составляла 4.0 метра, высота - 3.3 метра, в соответствии с параметрами типового помещения коммерческого здания. Эти параметры применялись для трехэтажной испытательной установки, представленной на рис. 2. Система здания включала составное перекрытие из профильного металлического настила и бетонных панелей на жесткой стальной рамной конструкции. Потолок противопожарного помещения на уровне 1 был обшит надежным изоляционным и огнеупорным материалом из керамического волокна, а стены были облицованы огнестойкими панелями с целью защиты конструкции, а также для того, чтобы изолировать реакцию навесной фасадной системы на пожар. В задней стене противопожарного помещения находился дверной проем (1.8 метра x 1.0 метр), необходимый для обеспечения притока свежего воздуха и выхода продуктов горения. Размеры и расположение проема регулировали скорость горения деревянной поленицы.

Огневое испытание

Пожарная нагрузка (т. е. потенциальное выделение тепла из состава горения) здания в большой степени зависит от назначения здания, и средние величины устанавливаются для отдельных учреждений, таким же образом, как средняя допустимая нагрузка на перекрытия. Величина пожарной нагрузки может иметь различные значения даже для зданий одной и той же категории 'офисные помещения', в зависимости от того осуществляется ли передача информации на бумаге, или электронным способом. В качестве среднего показательного значения было принято значение пожарной нагрузки, равное 420 МДж/м². Чтобы обеспечить воспроизводимость расчетного пожара, в качестве горючего материала использовалась деревянная поленица, состоящая из древесины и пропиленовых лент. Древесина использовалась вместо целлюлозной массы, а пропилен заменял пластиковый состав мебели. В большинстве испытании поленица помещалась в центре помещения первого этажа и демонстрировала относительно стабильную скорость горения с тепловыделением, равным 3 мВт.

Программа испытаний

Основной целью при составлении программы испытаний было выделить отдельные виды разрушения, которые были выявлены при первоначальном обзоре прошлых случаев пожаров в многоэтажных зданиях и в стандартной строительной практике. В программу также входила оценка мер по снижению материального ущерба при пожаре, но в условиях, когда пожар достигает значительных масштабов.

Контрольно-измерительная аппаратура

Во всех испытаниях применялся стандартный набор контрольно-измерительных приборов и сбора данных для дальнейшего сравнения различных сценариев. Кроме того, в каждом испытании были установлены дополнительные датчики для измерения отдельных характеристик, заслуживающих более детального рассмотрения. Общий набор данных включал измерение температуры при помощи открытых проволочных термопар вертикально размещенных с интервалом в 0.5 метра в виде двух деревьев термопар. Первое дерево термопар было расположено в зоне факела пламени поленицы, второе находилось в отдаленном от очага пожара углу помещения с целью измерения предельных высоких и предельных низких показателей теплового воздействия. Термопары фиксировались на горизонтальных и вертикальных импостах, кронштейнах и, по возможности, на элементах остекления, для снятия температурных показателей этих ключевых элементов в течение каждого испытания. Кроме того, использовалась тепловизионная камера для инфракрасной съемки с интервалом, позволявшей оценивать перепады температур по всей поверхности остекления. Для дальнейшей оценки пожара в помещении были измерены потеря массы деревянной поленицы, приток воздуха через открытый дверной проем и уровни давления у поверхности потолка.

Смещение рамной конструкции при пожаре оценивалось как важный фактор, поскольку значительное искажение на уровне плиты перекрытия могло вытеснить противопожарный материал и вызвать нарушение целостности конструкции. Искажение рамной конструкции могло достичь значительной величины, достаточной чтобы вызвать разрушение элементов остекления независимо от реакции самих элементов остекления на пожар. В связи с этим, вертикальное, горизонтальное и боковое смещение центрального вертикального импоста измерялось при помощи датчиков смещения, расположенных удаленно и присоединенных к испытуемому элементу при помощи проводов.

Сбор количественных данных дополнительно производился при помощи видео съемки и индивидуальных наблюдений с целью зафиксировать общие аспекты характера испытаний.

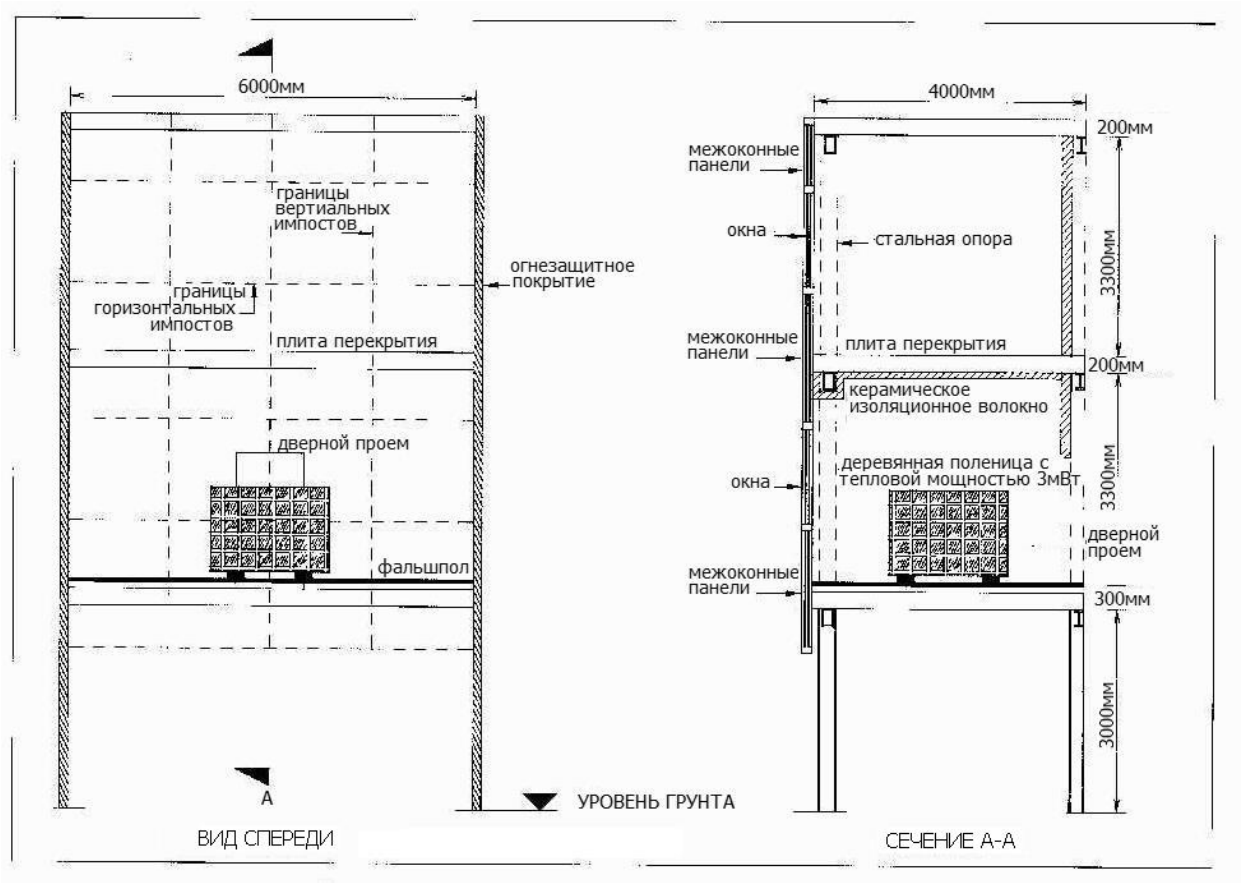


Рис. 2 Типовое расположение рамной конструкции, фасада и деревянной поленицы

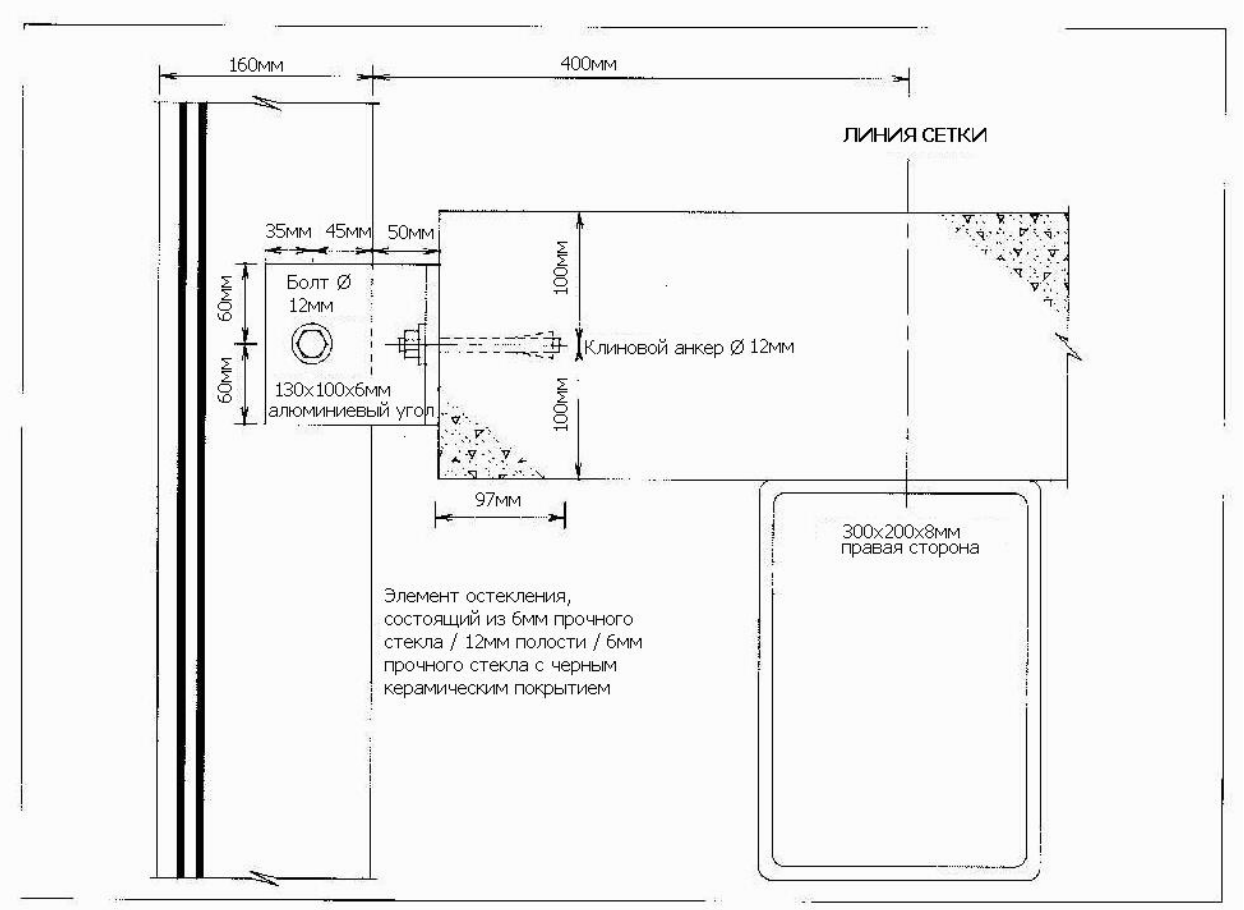


Рис. 3 (а) Вертикальный импост/соединение с плитой перекрытия в разрезе

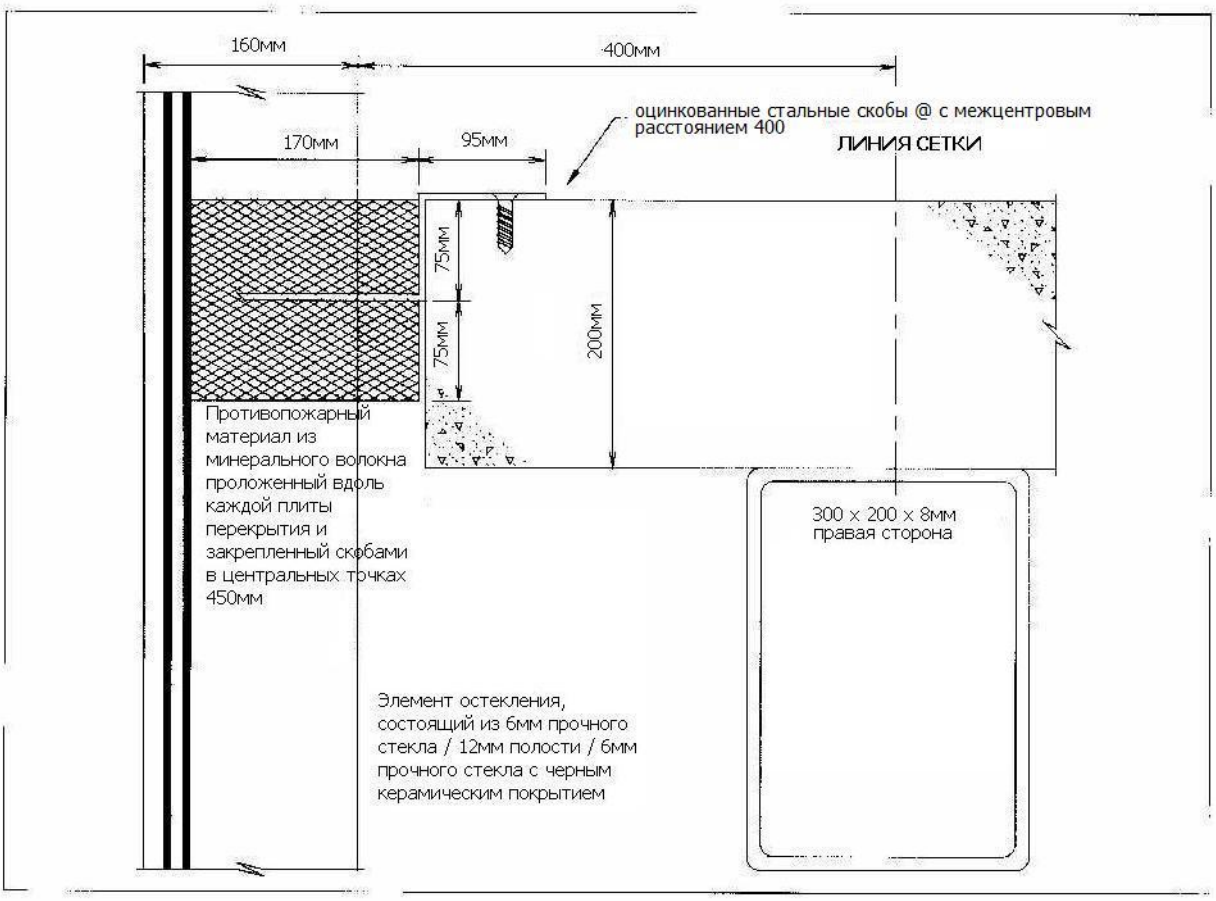


Рис. 3 (b) Противопожарный материал и закрепляющая скоба в разрезе

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РАБОТА

Полученные результаты испытаний обобщаются и подвергаются сравнительной оценке с учетом того, что при испытании навесной фасад рассматривается как общая система, не предназначенная для оценки абсолютной огнестойкости какого-либо отдельного элемента конструкции. В конце каждого раздела приведен пункт, в котором обсуждается значимость результатов испытания в контексте оценки максимальных убытков.

Испытание 1 - 6: Конфигурация поленицы

В ходе испытаний 1 - 6 в испытательной установке сооружались и сжигались поленицы различного калибра, и фиксировалась потеря массы для выявления стабильного пикового режима тепловыделения. Была выбрана реалистичная и воспроизводимая конфигурация с мощностью выделения тепла, равной 3 мВт, при относительно постоянном горении по прошествии первых 8-ми минут испытания. Это определило параметры источника тепла, которые использовались на протяжении всей программы испытаний.

Испытания 7 и 8: Испытание рамной конструкции

Оборудование

Основной целью испытаний 7 и 8 было дать оценку работы рамных систем. Для этой цели использовалась стандартная рамная система, состоящая из соединенных между собой штампованных алюминиевых горизонтальных импостов и вертикальных импостов, которая была закреплена на уровне плиты перекрытия при помощи болтовых соединений. Вместо стеклянных панелей для облицовки рамной конструкции использовались огнестойкие плиты, прикрепленные к стене при помощи стальных кронштейнов, вместо алюминиевых, чтобы исключить роль случайных факторов в механизме разрушения. Поскольку плотность плит ниже плотности стекла, рамная конструкция была дополнительно нагружена до эквивалентной массы. Две сравниваемые системы рамных конструкций представляли собой легковесную систему с толщиной вертикального и горизонтального импостов 105 мм, и тяжелую систему с толщиной импостов 170 мм. Система была закреплена у основания каждого вертикального импоста при помощи кронштейнов. Для верхнего края вертикального импоста был предусмотрен зазор величиной 6 мм, обеспечивавший стандартное тепловое расширение. Детали соединения и противопожарный материал показаны на рис. 3 (a) и (b).

Наблюдения и результаты

Температуры в зоне факела горения поленицы в испытаниях 7 и 8 (рис. 4 и 5 соответственно) демонстрировали схожее развитие горения поленицы. Быстрый начальный рост пожара был обеспечен источником загорания с применением гептана. В течение первых 4,5 минут была достигнута максимальная температура, приблизительно равная 800°С. Затем последовал спад температуры в некоторых термопарах, обусловленный снижением дымового слоя, который препятствовал горению в верхних уровнях поленицы. Приблизительно на 8-10 минуте пламя вырывалось через дверной проем в задней стене испытательной установки, поскольку температура в горячем слое достигла достаточно высокого уровня, чтобы вызвать воспламенение летучих веществ. Более устойчивое горение поленицы вызвало постепенное повышение температуры до 800 - 1000°С. В обоих испытаниях разрушение произошло вследствие смещения облицовочных панелей, позволившее пламени проникнуть через образовавшееся отверстие. Разрушение тяжелой рамной конструкции произошло приблизительно на 28 минуте, легкая рамная конструкция разрушилась на 23 минуте. Причиной разрушения послужило скорее снижение температуры в помещении, чем усиление интенсивности горения, поскольку на данном этапе пожар был в процессе затухания, не регулировался вентиляцией и не имел доступа кислорода.

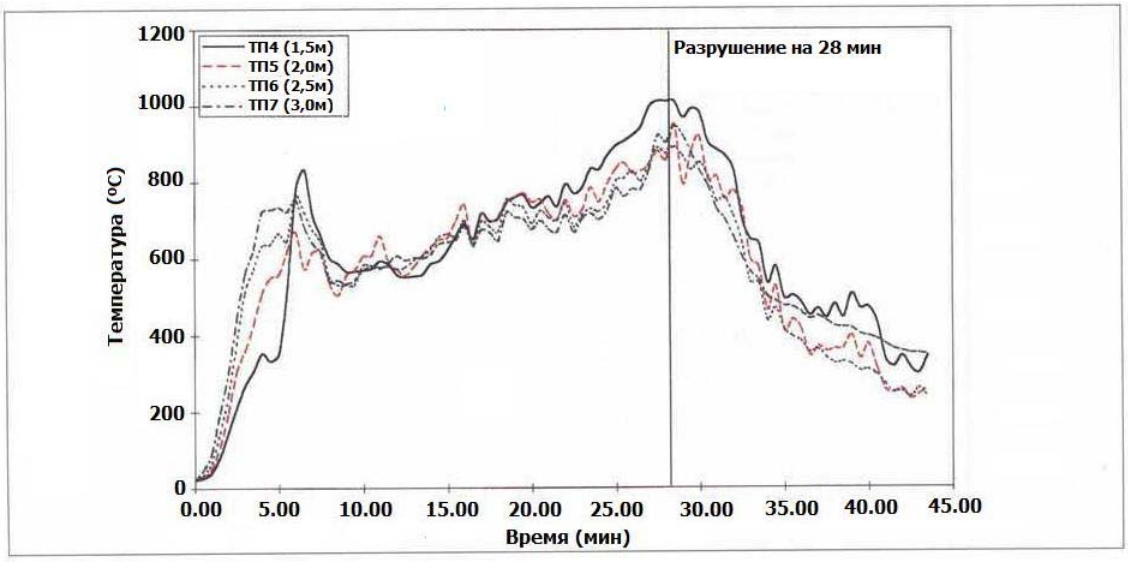


Рис. 4 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №7)

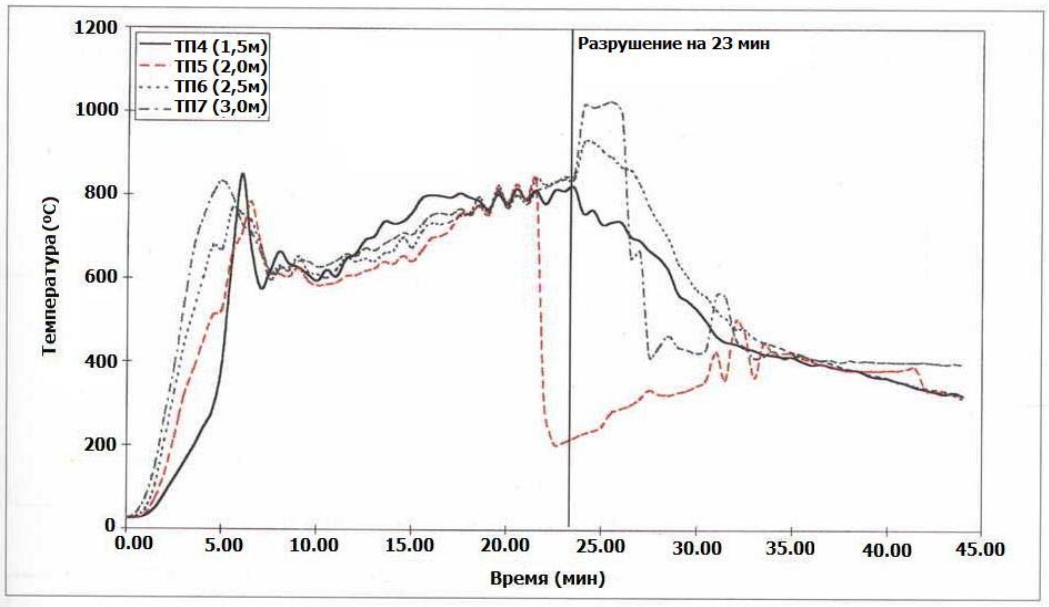


Рис. 5 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №8)

В ходе наблюдений за температурой вертикальных и горизонтальных импостов (рис. 6-9) было отмечено, что температура и тех и других постепенно поднималась до максимального значения, приблизительно равного 600°С, прежде чем произошло разрушение. Алюминиевый сплав, из которого была изготовлена конструкция, теряет 50% прочности, при температуре 200°С, 100% прочности при температуре, превышающей 350°С, и плавится при температуре 550-660°С. Облицовочные панели сместились по причине распада секций рамной конструкции, что оценивалось как разрушение рамной конструкции. Тяжелая конструкция показала незначи-

тельное преимущество в 5 минут до разрушения, несмотря на то, что назначение более прочной конструкций заключается в том, чтобы улучшить сопротивление ветровым воздействиям. Следует отметить, что рамная конструкция продолжала удерживать облицовочные панели при температурах выше половинной и нулевой прочности алюминиевого сплава, вплоть до полного разрушения.

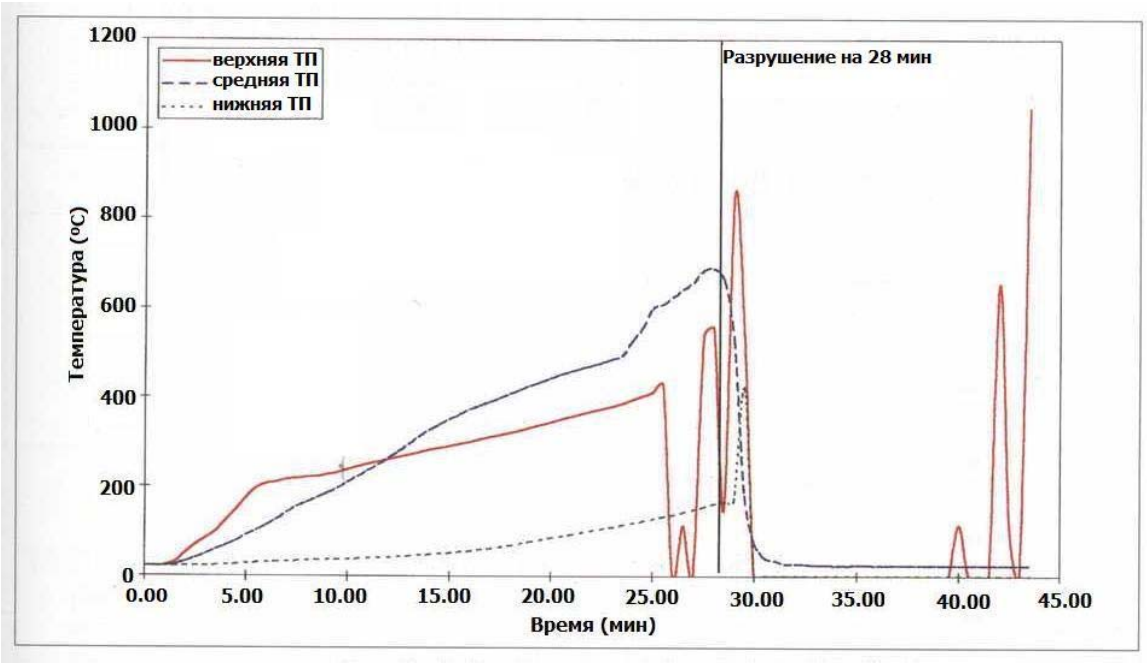


Рис. 6 Кривые термопар вертикального импоста (испытание №7)

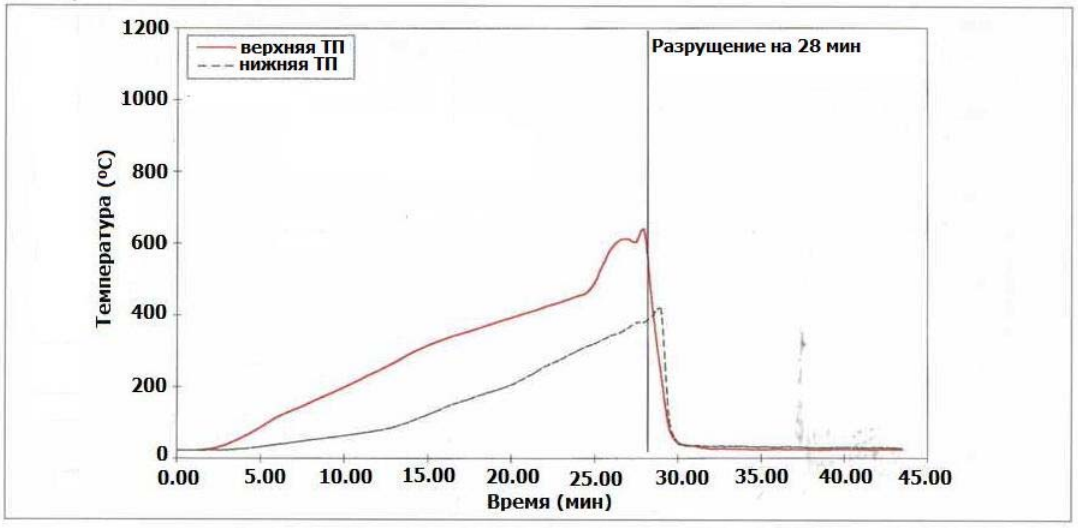


Рис. 7 Кривые термопар горизонтального импоста (испытание №7)

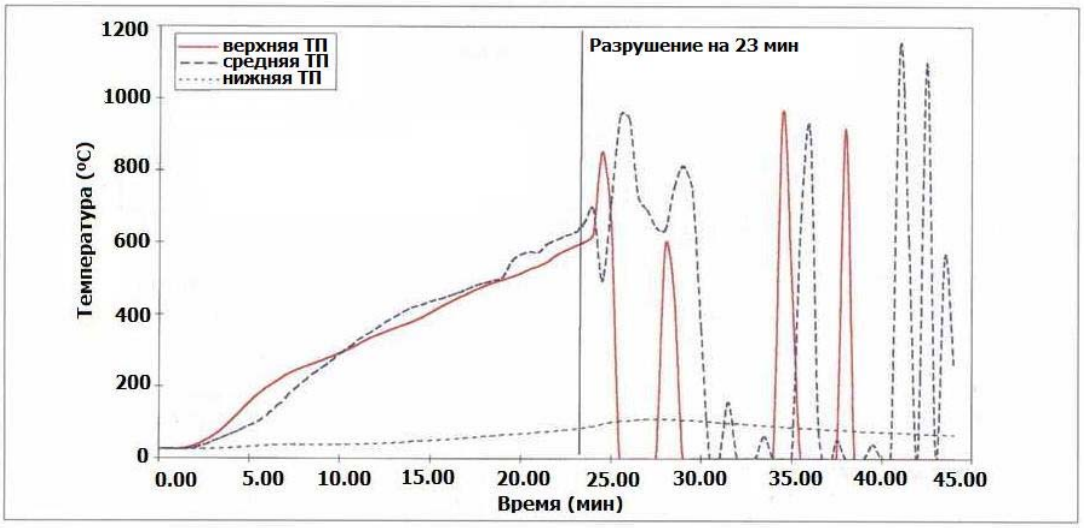


Рис. 8 Кривые термопар вертикального импоста (испытание №8)

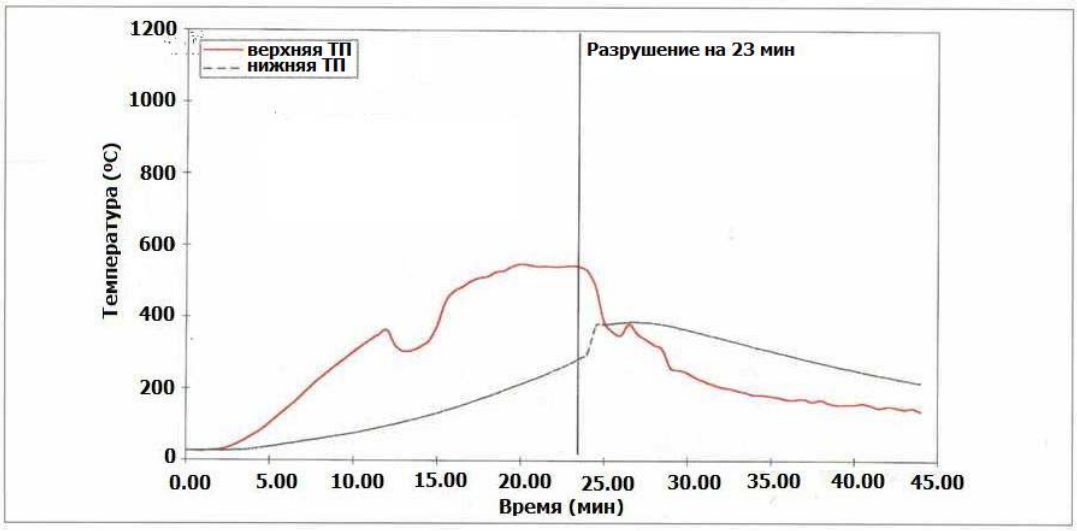


Рис. 9 Кривые термопар горизонтального импоста (испытание №8)

На рис. 10 и 11 соответственно изображены температурные показатели, зафиксированные в зазорах размером 30 мм x 30 мм, расположенных с задней стороны вертикальных импостов, на стыках с кронштейнами, соединяющими навесной фасад с основной конструкцией. Наблюдалась высокая интенсивность роста температур: температурные показатели, достигали около 500°C в течение приблизительно 3.5 минут. Воспламеняющиеся пластины, размещенные прямо над зазорами, были уничтожены пожаром в течение испытаний, что свидетельствует о том, что возгорание горючих материалов на верхнем этаже могло возникнуть гораздо раньше разрушения рамной конструкции и, следовательно, указывает на потенциально серьезную слабость системы конструкции. Более низкая температура, наблюдаемая в зазоре правого кронштейна, указывает на правильную установку минерального волокна.

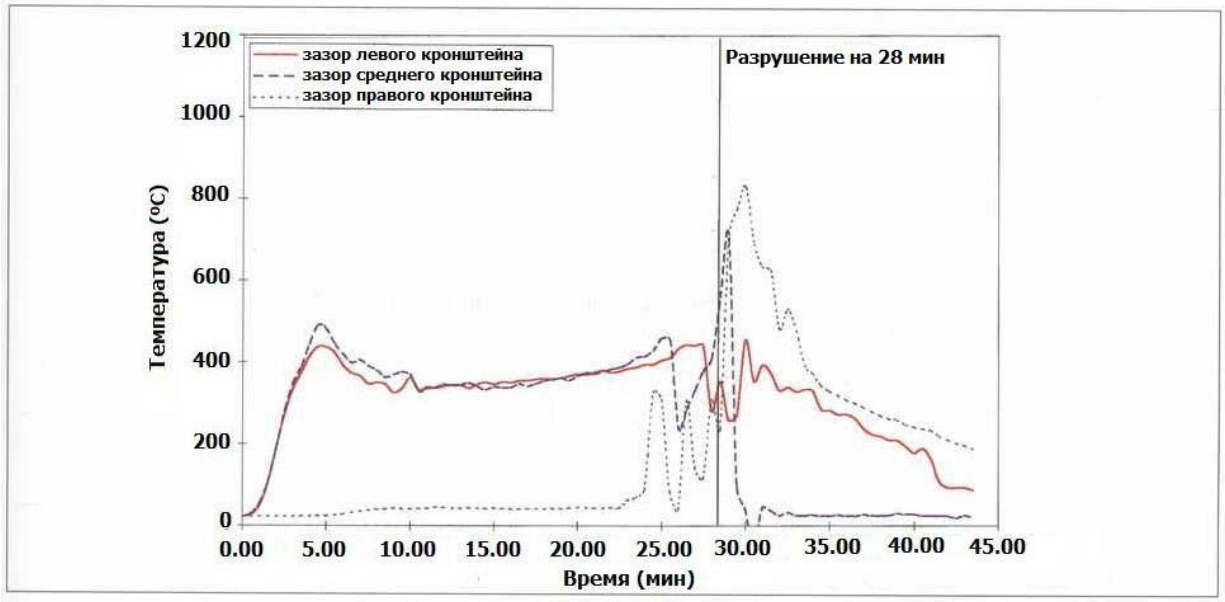


Рис. 10 Кривые термопар, расположенных в зазорах кронштейнов (испытание №7)

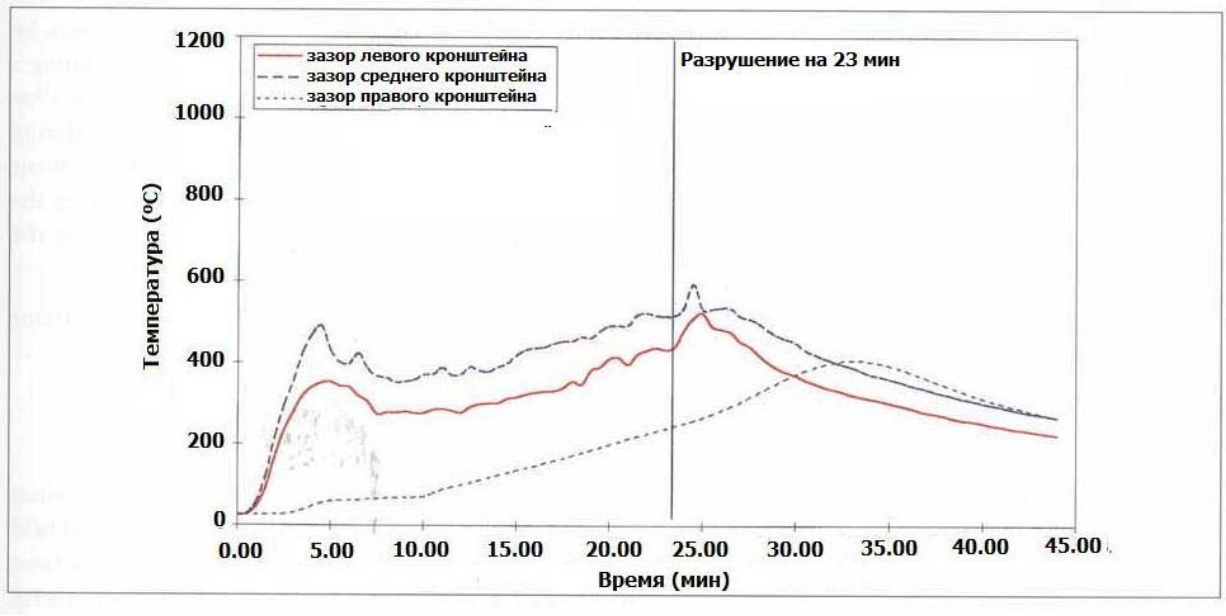


Рис. 11 Кривые термопар, расположенных в зазорах кронштейнов (испытание №8)

Смещение центрального вертикального импоста по средней высоте перпендикулярно плоскости фасада в испытании 8 графически представлено на рис. 12 (измерение смещения в испытании №7 произвести не удалось). Отчетливо наблюдались две поведенческие фазы. Сначала вертикальный импост прогнулся на 5 мм по направлению к очагу пожара под воздействием температурного градиента, образовавшегося в толщине секции. Это явление называется «свободный изгиб» и часто наблюдается в стеновых панелях, состоящих из различных строительных материалов (таких как, бетон, каменная кладка) во время испытаний на огнестойкость. Однако на 10 минуте произошло резкое изменение направления смещения в противоположную сторону, перешедшее в устойчивый изгиб по направлению от очага пожара до 25 мм. Факторами, повлиявшими на такое поведение, могли быть постепенное выравнивание температурного градиента по толщине вертикального импоста, смещение центра действия в секции, вызванное снижением прочности материалов и защемление шва расширения системы рамной конструкции, вызвавшее принудительный, но не свободный изгиб. Не исключена так же вероятность экспериментальной ошибки в фиксировании обратного смещения, вызванной температурным расширением провода, соединявшего вертикальный импост с датчиком смещения.

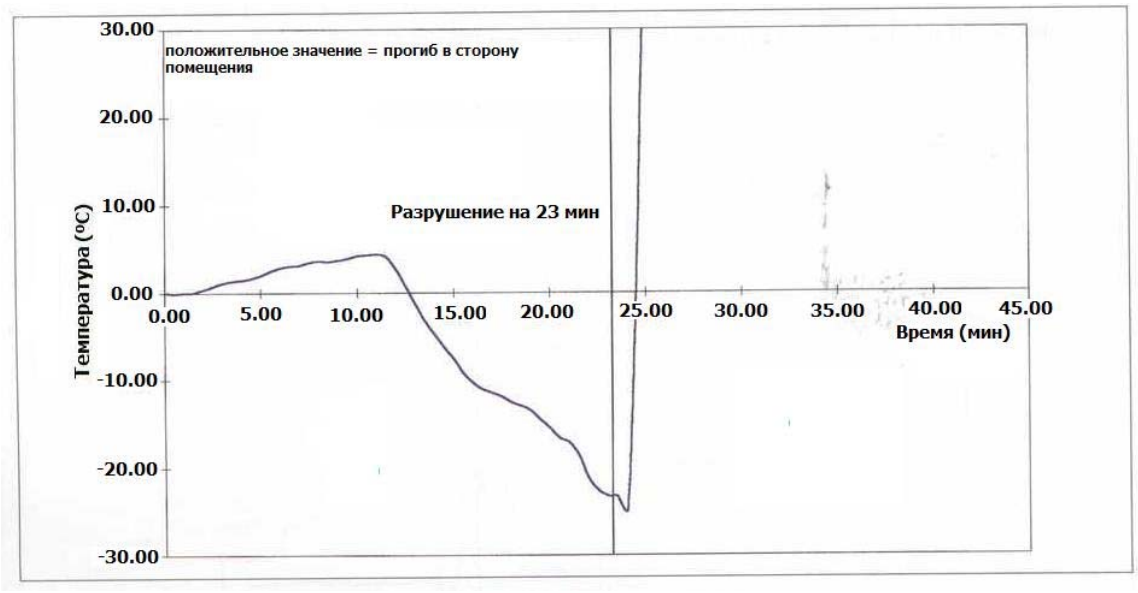


Рис. 12 Кривая смещения центра вертикального импоста (испытание №8)

Обсуждение

Основная часть рамных конструкций для навесных фасадных систем производится из алюминиевых сплавов. Их относительно низкая плотность обеспечивает простоту монтажа и позволяет снизить вес, налагаемый на конструкцию здания. С одной стороны, удобообрабатываемость этих материалов при высоких температурах позволяет получать сложные крестообразные конструкции, но с другой стороны, она проявляется как свойство низкой прочности этих материалов при пожаре. Температуры, достигаемые в течение пожара в помещении, были достаточно высокими, чтобы вызвать значительную деформацию и разрушение элементов из алюминиевых сплавов, что потребовало замены рамной конструкции. Несмотря на использование огнестойких панелей, вместо элементов остекления, разрушение рамной конструкции произошло в течение получаса, открыв путь для распространения огня на вышерасположенный этаж. Однако этого времени оказалось достаточно, чтобы ослабить пожарную нагрузку в помещении, сократив разрушающую силу факела пламени, вырывавшегося за пределы помещения, и, таким образом, снизив вероятность вертикального распространения огня.

Простота замены отдельных панелей навесных фасадов с учетом всей системы должна быть предусмотрена на этапе проектирования.

Испытание 9: Испытание кронштейнов

Оборудование

Уникальность данного исследования состояла в том, что его главной целью было испытание при пожаре эксплуатационных характеристик кронштейнов из алюминиевого сплава, используемых для крепления навесных фасадных систем. Помещение было облицовано огнестойкими панелями Supalux, закрепленными при помощи стальных распорных креплений (облицовочная рамная конструкция не использовалась), чтобы создать огнестойкий экран и те же условия для развития пожара поленицы, как при предыдущих испытаниях. Испытываемые кронштейны соединялись с распорными креплениями, на которые крепился вес, равный 135 кг (приблизительный вес, удерживаемый каждым кронштейном в системе конструкции с полным остеклением). В зазоре между плитой перекрытия и фасадом было установлено противопожарный материал толщиной 150 мм и 100 мм. Более плотный слой материала использовался для изоляции всего кронштейна, более тонкий – для частичной изоляции кронштейна.

Наблюдения и результаты

Рост температуры горения поленицы был практически таким же, как в предыдущих испытаниях. На рис. 13 для сравнения приведены кривые температур горения и «стандартная» кривая пожара. Кривые демонстрируют схожий рост температур до 30 минуты и последующее расхождение, где «стандартная» кривая продолжает расти, в то время как огнестойкие панели на уровне потолка разрушились и дали выход пожару. Температурные показатели кронштейнов и зазоров между кронштейнами и конструкцией (рис. 14 и 15) были аналогичны показателям предыдущих испытаний. Они демонстрировали первоначальный стремительный рост температур приблизительно до 250°C в кронштейне и до 500°C в зазоре между кронштейном и конструкцией, и последующее повышение температуры до общего максимального значения, приблизительно равного 700°C. Датчики смешения, предназначенные для измерения деформации кронштейнов под воздействием нагрузок (рис. 16), зафиксировали небольшое движение вверх, вследствие осевого расширения распорных креплений, и последующее движение вниз, вследствие направленной вниз деформации кронштейнов под воздействием нагрузки в условиях повышенной температуры, достигавшей 400°C. Анализ угловых кронштейнов, проведенный

после испытаний, выявил их значительную деформацию и в некоторых случаях разрушение вырывающим усилием, тем не менее, благодаря путям альтернативных нагрузок, разрушения в удерживающей конструкции не произошло.

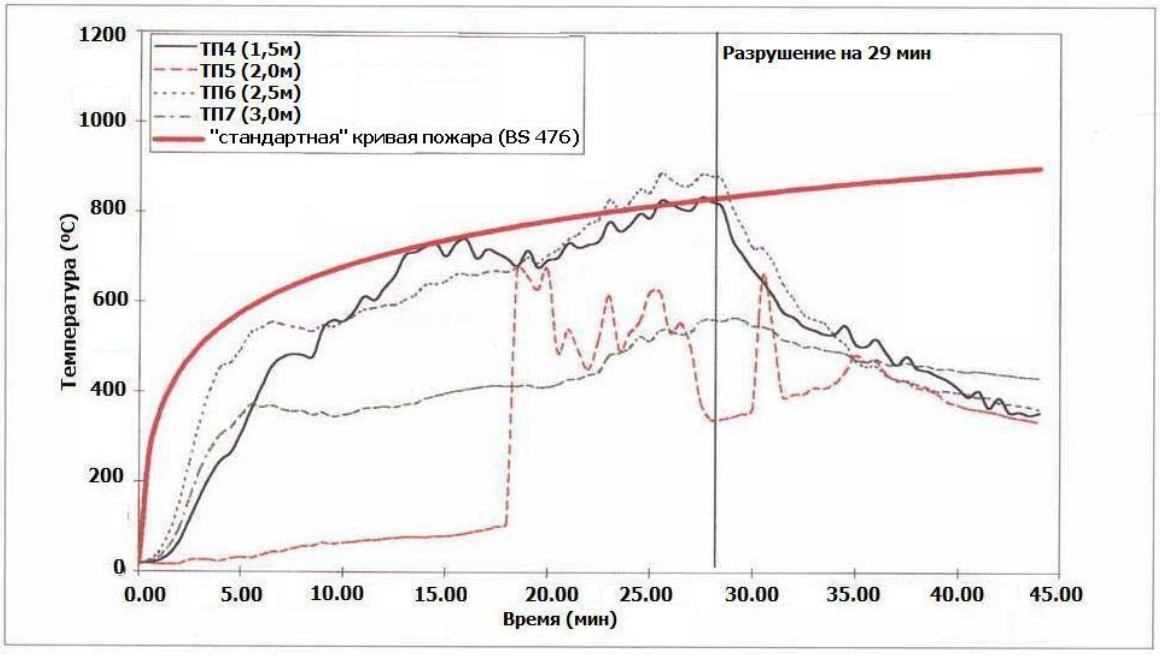


Рис. 13 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №9)

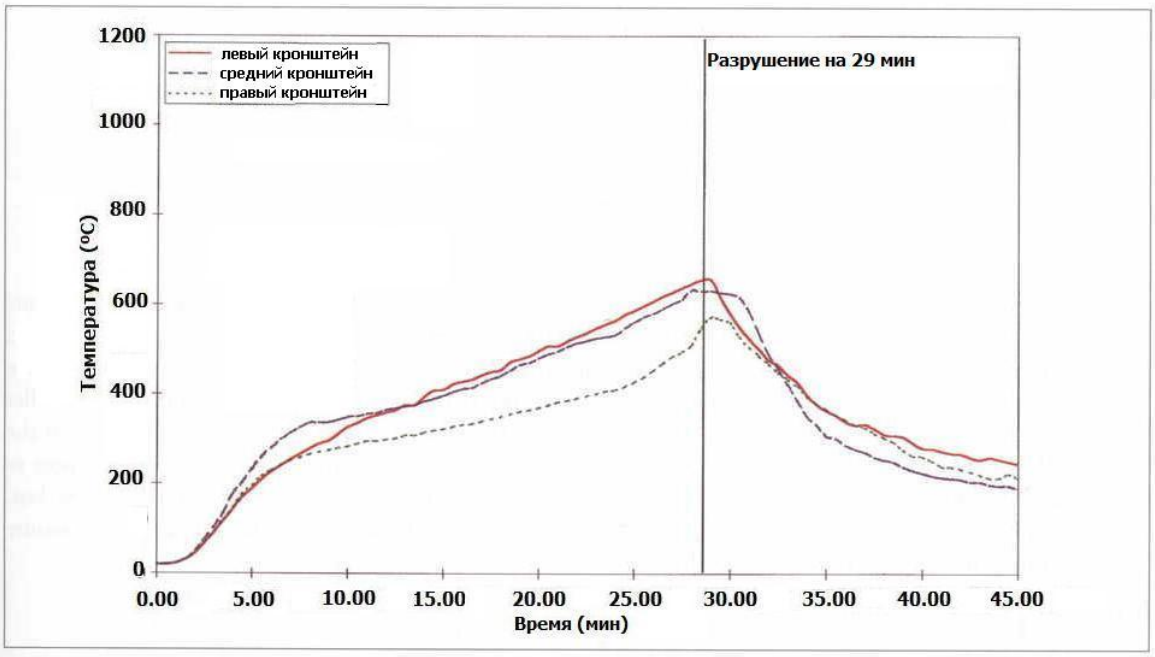


Рис. 14 Кривые термопар, установленных на кронштейнах (испытание №9)

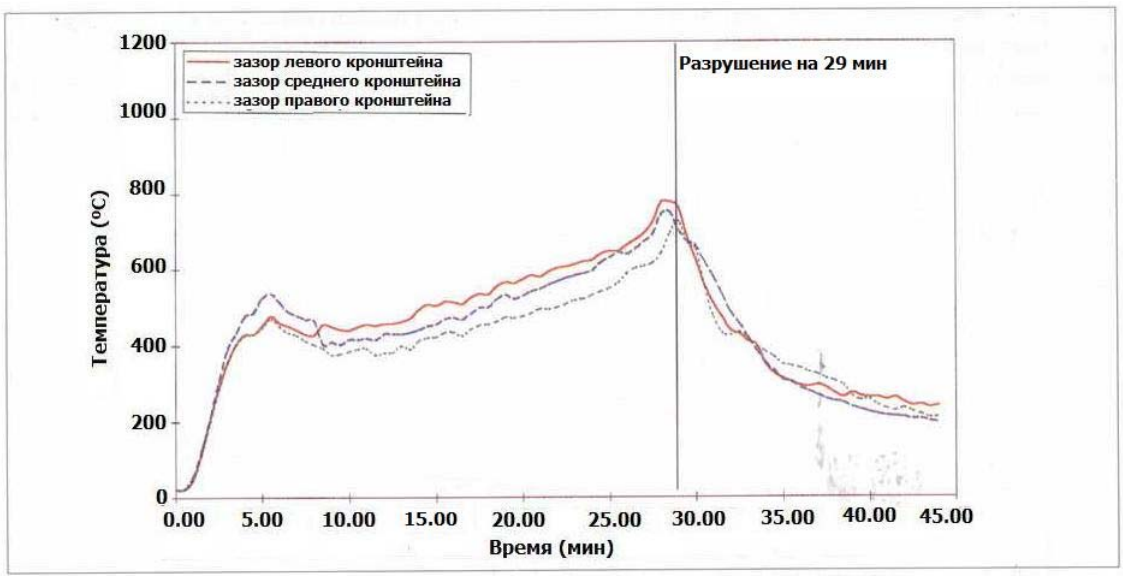


Рис. 15 Кривые термопар, расположенных в зазорах кронштейнов (испытание №9)

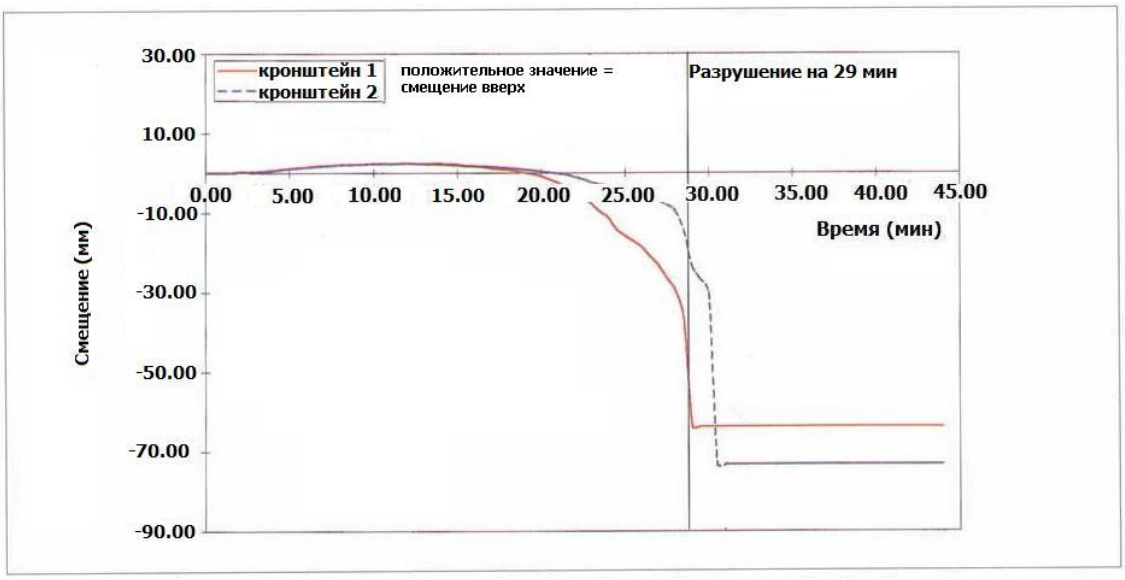


Рис. 16 Осевое смешение центральной части конструкции с распорными креплениями (испытание №9)

Обсуждение

Форма установочных кронштейнов, используемых для крепления фасадов, практически не подлежит техническому контролю или сертификации, поскольку эти элементы часто поставляются отдельно от навесных фасадных систем. В то же время, они являются ключевыми элементами в цепи нагрузки, соединяющей фасадную систему с сооружением. Это имеет особенное значение, когда на кронштейны возлагается нагрузка облицовочных систем нескольких этажей. В настоящих испытаниях кронштейны состояли из алюминиевых листовых реек, сваренных по внутреннему и наружному углу в угловой профиль. Нарушение соединений в некоторых сварных швах, сопровождаемое трещинами и разрывами, указывало на неудовлетворительную работу кронштейнов в условиях пожара. Деформация и даже разрушение углов не привели к катастрофическим последствиям и, тем не менее, представляется разумным рассматривать способы регулирования спецификации соединительных кронштейнов, чтобы убедиться, что они не являются слабым звеном в навесной фасадной системе.

Испытания 10 и 11: Испытания остекленного навесного фасада

Оборудование

Задачей данных испытаний было сравнить поведение полностью остекленных тяжелых рамных конструкций и легких рамных конструкций в условиях пожара поленицы. Оборудование было задумано таким образом, чтобы повторить испытания 7 и 8 соответственно, но на этот раз с использованием остекленного заполнения навесных фасадных систем, вместо огнестойких панелей. Было использовано два типа панелей. Прозрачные

панели состояли из двух листов стандартного полированного стекла толщиной 6 мм с промежуточным расстоянием 12 мм. Межоконные панели в соединениях между этажами состояли из двух слоев листового упрочненного стекла толщиной 6 мм с промежуточным расстоянием 12 мм. Фрагмент противопожарного материала показан на рис. 3 (b). Температура поверхности стекла отслеживалась при помощи датчика теплового потока Гардона, установленного на расстоянии 0.5 м со стороны необогреваемой поверхности, для измерения количества теплового излучения, проходившего через стекло.

Наблюдения и результаты

В обоих случаях рост пожара поленицы протекал аналогично испытаниям, в которых рамные конструкции были облицованы огнеупорными панелями. На рис. 17 и 18 показаны скачок в росте температур (0 - 6 мин), в момент, когда огонь полностью охватил поленицу и последующий резкий спад температур, в момент, когда слой дыма опустился ниже верхней части поленицы. Период стабильной высокой температуры (на протяжении 7 - 11.5 мин удерживалась температура приблизительно 600°C) продолжался до первого разрушения. В обоих случаях разрушение элементов остекления привело к стремительному росту температур, превышавших 1000°C, до тех пор, пока не разрушилось достаточное количество элементов остекления, после чего пожар перешел в стадию регулируемого топливом пожара. Противопожарная защита внутренней облицовки помещения и наличие единственного источника возгорания означали, что воспламенение могло быть ограничено дымовым слоем, что в результате привело к значительным расхождениям показателей отдаленно расположенных термопар на высоте между 1.0 м и 1.5 м с разностью температур в приблизительно 350°C. Разрушение стекла и последующее повреждение противопожарного материала, распложенного между этажами, произошло на 11.5 и 13 минуте в испытаниях с тяжелой рамной конструкцией и легкой рамной конструкцией соответственно. Интервал между этими двумя временными показателями не выходит за рамки воспроизводимости испытаний и подтверждает, что разрушение остекления было скорее связано с тепловой реакцией, нежели с прочностью окружающей рамной конструкции.

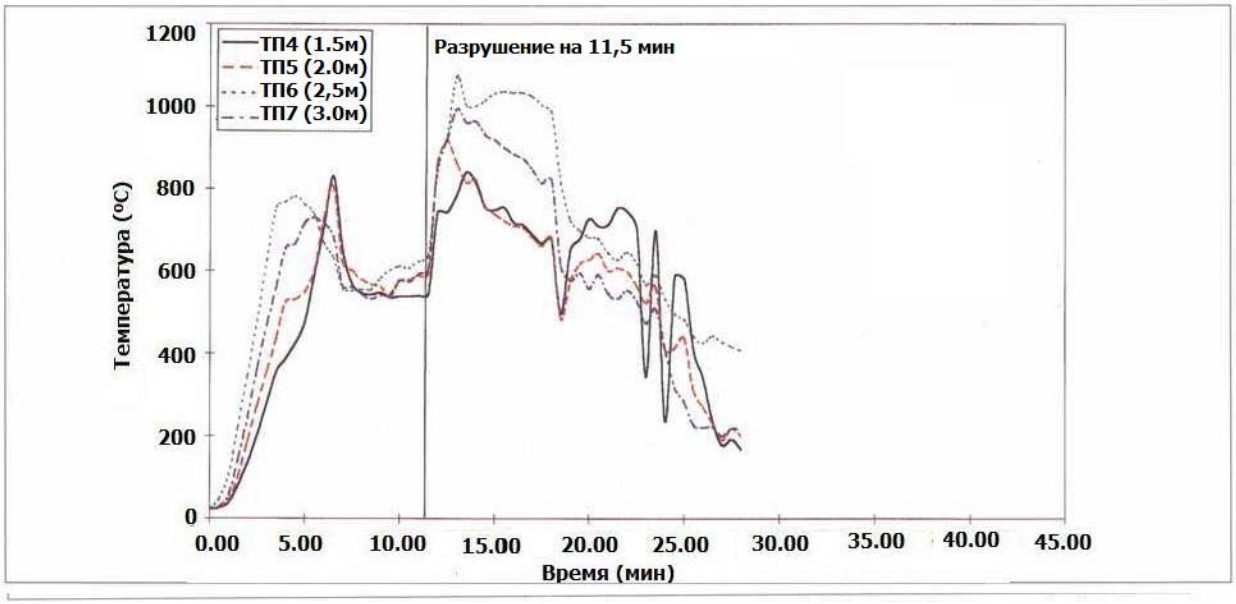


Рис. 17 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №10)

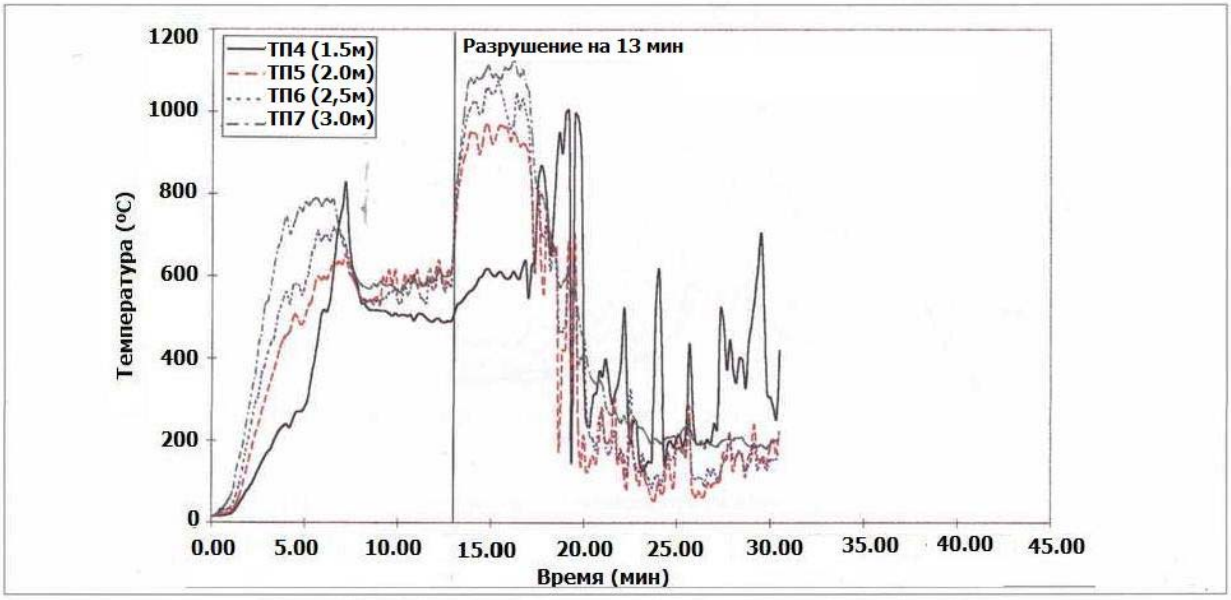


Рис. 18 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №11)

Термопары, расположенные отдаленно от зоны факела пламени поленицы (рис. 19 и 20) фиксировали первоначальный быстрый рост температур, за которым не последовало спада, зафиксированного термопарами, расположенными в зоне факела пламени, что указывает на то, что спад был местным явлением, связанным с горением поленицы, и не распространялся на все помещение. Вместо этого температурные показатели отдаленно расположенных термопар либо оставались прежними, либо постепенно возрастали до момента разрушения.

Последующие максимальные температурные значения, сопровождавшие внезапный приток кислорода, были даже более резко выраженными, чем показатели термопар, расположенных в зоне горения, и моментально достигали до 1150°С. Схемы разрушения в обоих случаях были сходны и демонстрировали тенденцию к вспыхиванию пожара с левой стороны испытательной установки, если находится лицом к фасаду. Это было обусловлено небольшой разницей в вентиляции в лаборатории, в которой проводились испытания. Существенных различий во времени разрушения прозрачного полированного стекла и непрозрачных межоконных панелей не наблюдалось, несмотря на то, что последние, находясь в близости от уровня потолка, подвергались более сильному тепловому воздействию. Листовое полированное стекло разрушалось по нескольким отчетливым трещинам, образовывавшим структуру острых углов в оконных стеклах. В то время как упрочнённое стекло разрушалось вдоль одной трещины, разветвлявшейся на мелкие трещины по всему оконному стеклу.

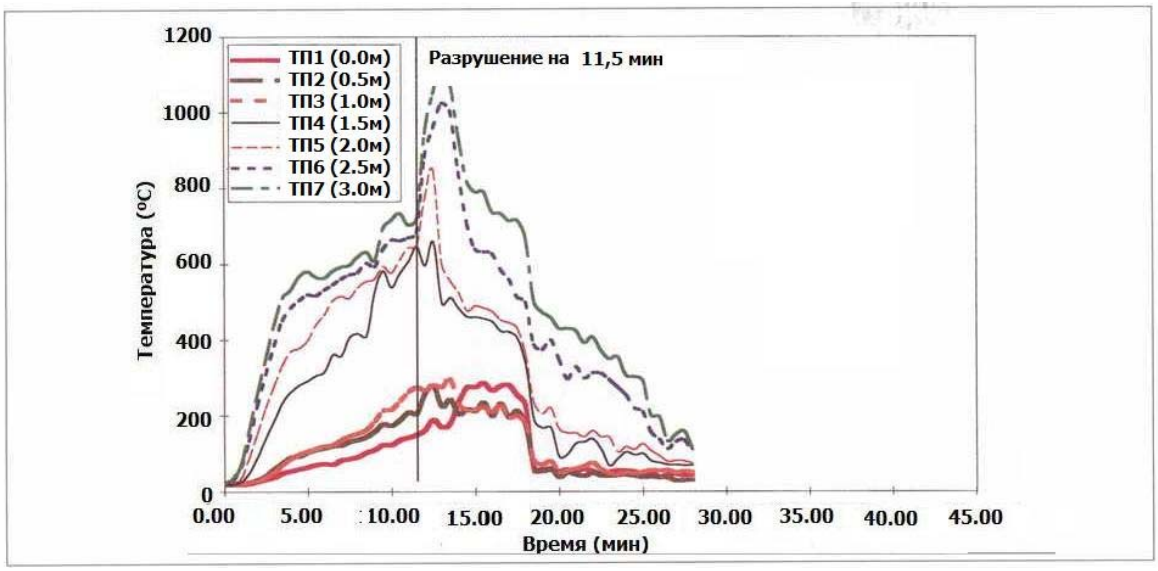


Рис. 19 Кривые термопар расположенных отдаленно от факела пламени (испытание №10)

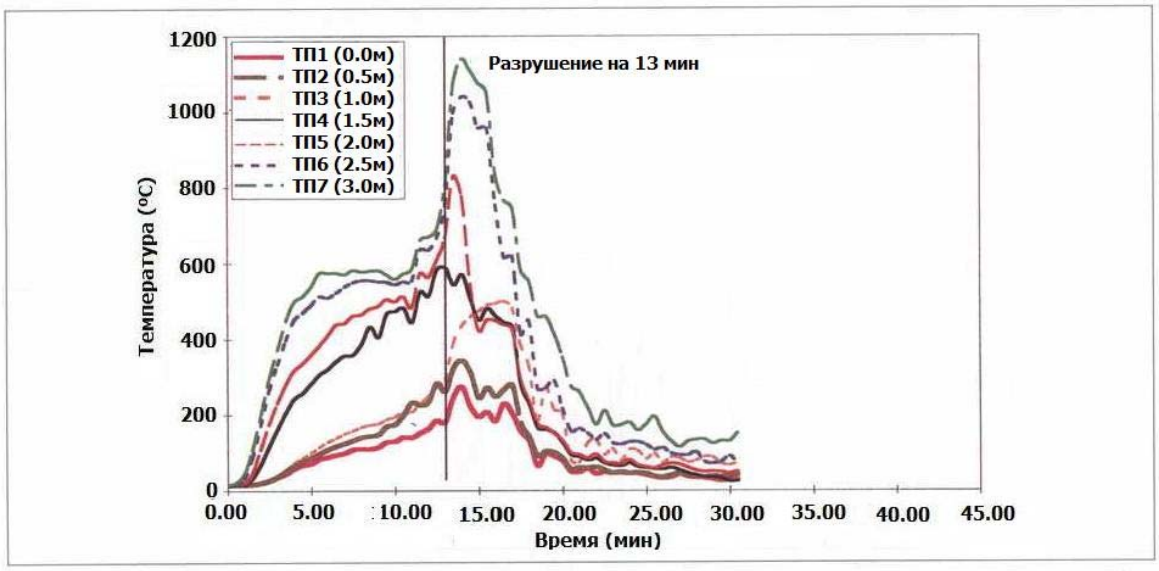


Рис. 20 Кривые термопар расположенных отдаленно от факела пламени (испытание №11)

Уровень максимальных температур, достигнутый в помещении в обоих испытаниях, отразился на данных термопар, расположенных в зазорах кронштейнов (рис. 21 и 22), которые зафиксировали практически ступенчатое возрастание температур до значений между 600°С и 800°С, что говорит о вероятной опасности распространения пожара через зазоры в противопожарном материале.

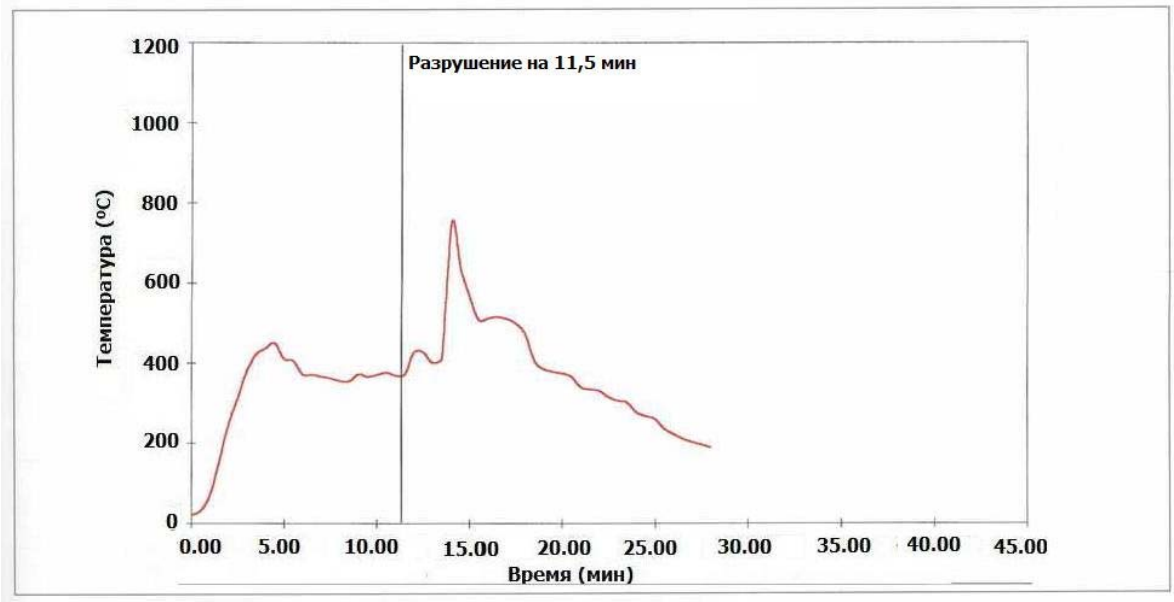


Рис. 21 Кривая термопары, расположенной в зазоре кронштейна (испытание №10)

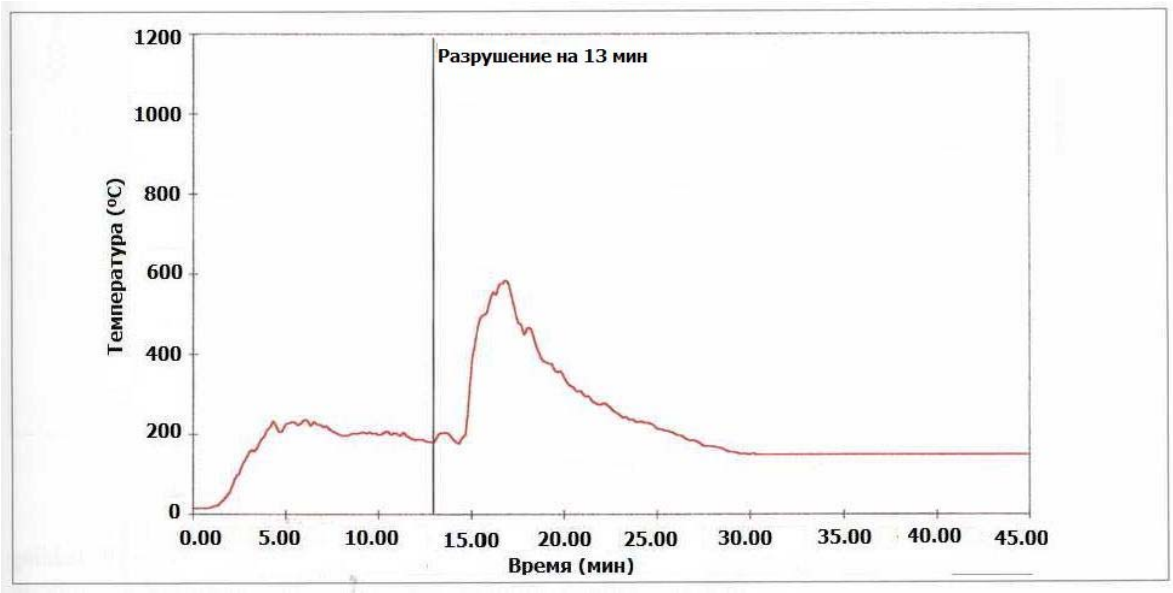


Рис. 22 Кривая термопары, расположенной в зазоре кронштейна (испытание №11)

Шкала смешений вертикальных импостов была различной в испытаниях 10 и 11 (рис. 23 и 24), но сам характер смещения был схож и в некоторой степени связан с результатами испытания 8. Первоначальное нагревание внутренней поверхности вертикальных импостов вызвало образование температурного градиента в глубине секции. Образовавшееся неравномерное расширение было приведено в соответствие прогибом элемента в сторону очага пожара. После разрушения направление смещения сменилось быстрым сокращением прогиба, а затем явным прогибом в обратную сторону от очага пожара. Такое поведение объясняется снижением градиента температур в секции, в период времени, когда нагревание становилось более равномерным. Не исключено, что выходные данные датчика смещения могли быть искажены из-за термического расширения соединительного провода. Максимальное смещение тяжелого вертикального импоста было менее значительным, чем смещение легкой секции, что объясняется его большей конструктивной глубиной. Датчики теплового потока фиксировали только номинальную передачу излучаемого тепла (<5 кВт/м^2) через неповрежденные стеклянные панели, однако после разрушения панелей уровни показателей датчиков достигали 50 кВт/м^2.

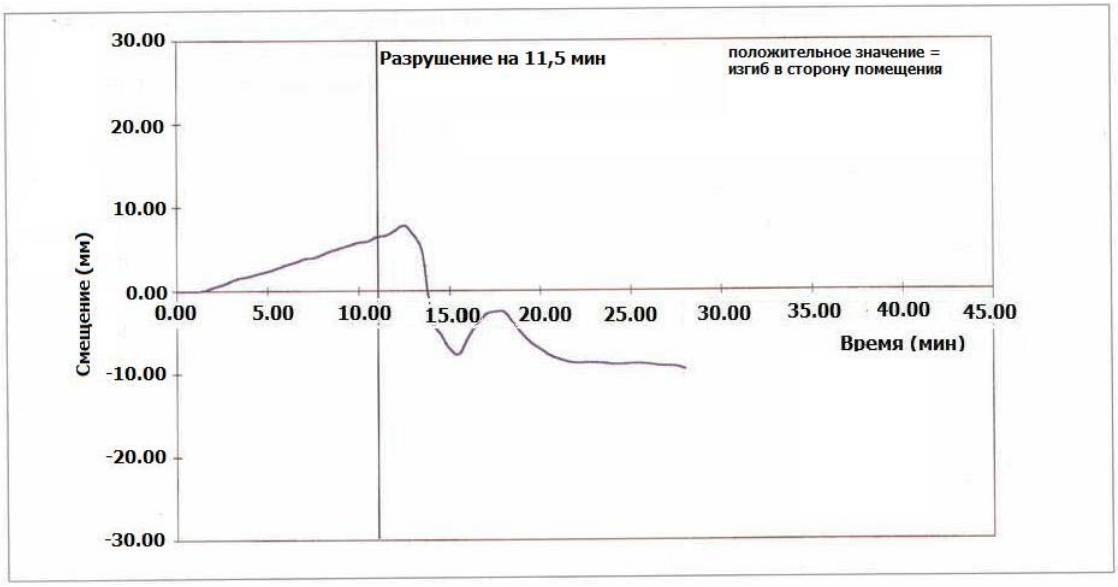


Рис. 23 Кривая смещения центра вертикального импоста (испытание №10)

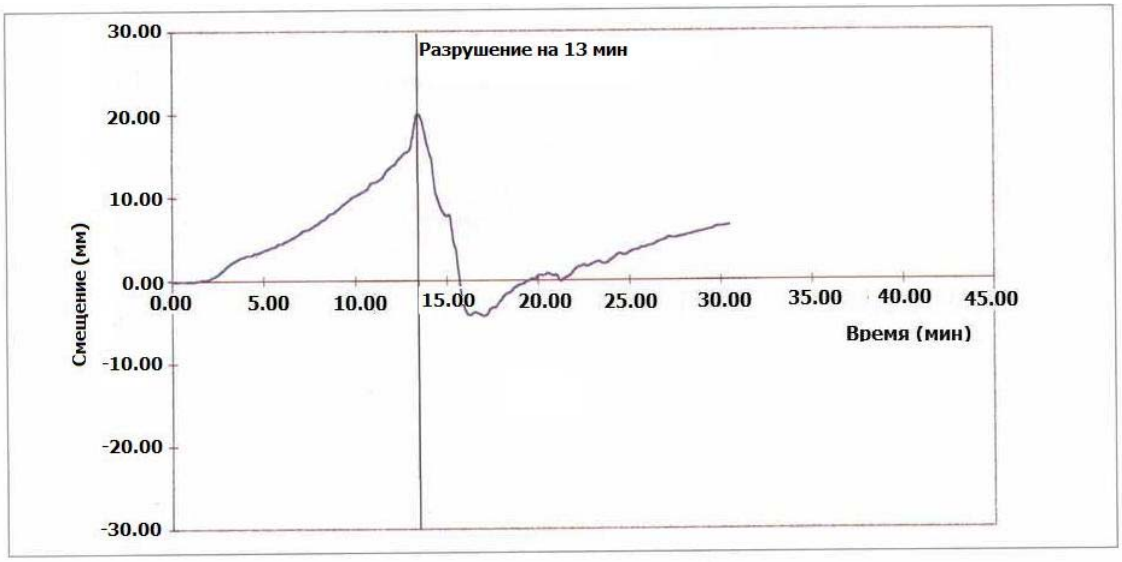
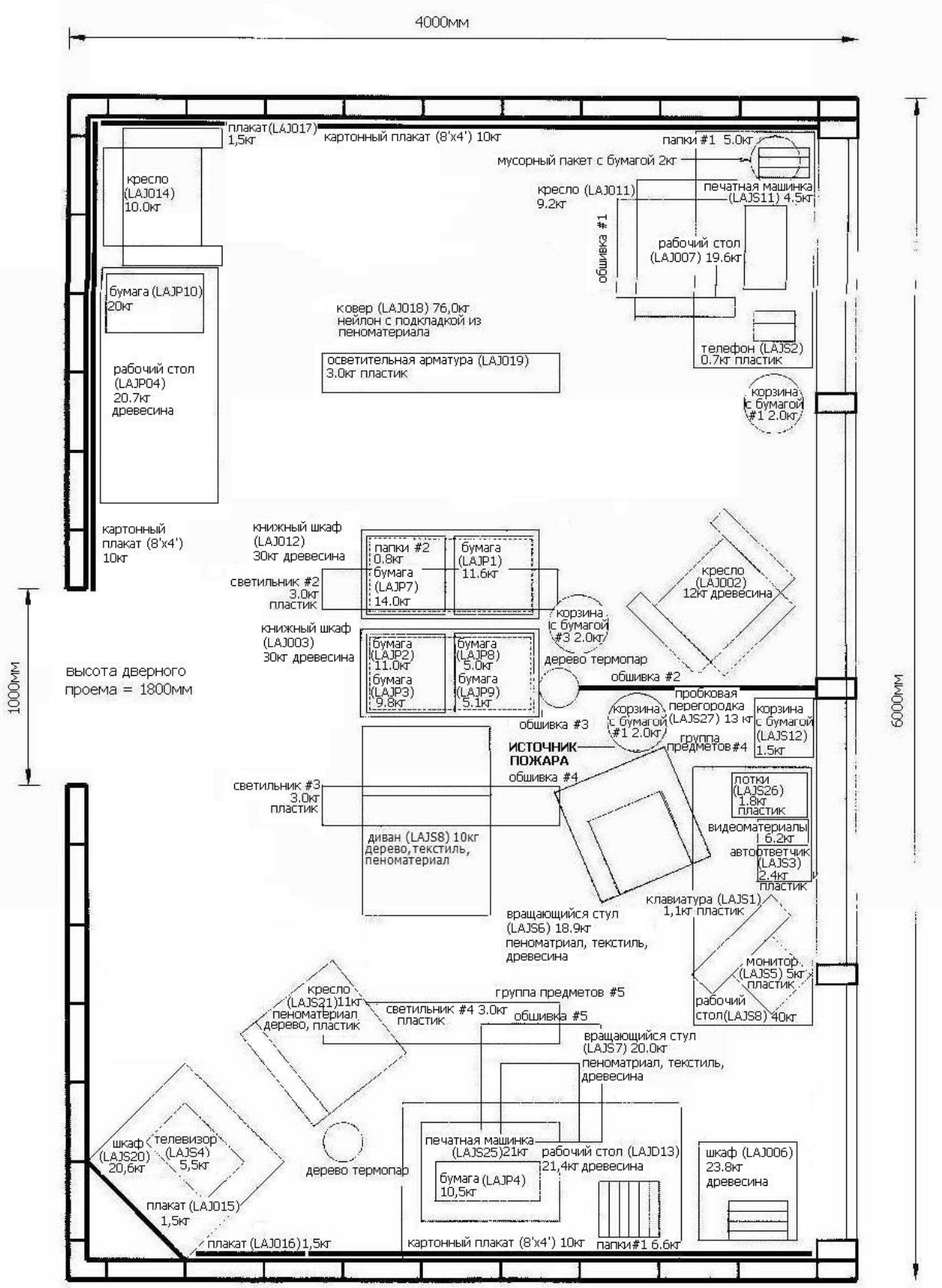


Рис. 24 Кривая смещения центра вертикального импоста (испытание №11)

Обсуждение

Испытания 10 и 11 были наиболее приближены к случаю с многоэтажными зданиями, оснащенными навесными фасадными системами из неогнестойкого стекла без спринклерной защиты. Такие фасады составляют значительную часть здания данной категории. Соответственно показатели времени до разрушения и катастрофические последствия разрушения, вызывают серьезную тревогу. Задача усложняется, когда во время развития пожара происходит разрушение ограждающих конструкций, поскольку при этом кислород поступает в смеси летучих веществ, накопившихся вследствие неполного сгорания, что вызывает обратную тягу. В результате возрастает ущерб от пожара на этаже возгорания и возникает вероятность распространения огня на вышележащие этажи и опасность выпадения обломков на землю. При использовании листового полированного стекла в навесных фасадах, необходимо искать способы замедлить его разрушение, поскольку оно представляет собой самое слабое звено в системе.



Высота помещения = 3300мм

Облицовка стен - противопожарные панели Supalux
Облицовка потолка - покрытие из керамического волокна
Остекление - навесная фасадная система с двойным остеклением

Рис. 25 Планировка помещения

Испытание 12: Натурные испытания пожарной нагрузкой

Оборудование

В данном испытании, как и в двух предыдущих испытаниях, помещение было облицовано остекленной навесной фасадной системой. Однако его уникальность состояла в том, что вместо поленицы, служившей источником топлива в предыдущих испытаниях, была использована натуральная мебель. Столы, кресла, стеллажи, мониторы, рабочие места и места для хранения бумажных материалов имели типичное расположение для офисного помещения. Теплота сгорания совокупности предметов мебели была приравнена к теплоте сгорания испытательной поленицы. Точная планировка помещения приведена на рис. 25. Несмотря на эквивалентную теплоту сгорания мебели (455 МДж/м^2), в расстановках мебели и поленицы наблюдалась неизбежная и существенная разница в соотношениях площади поверхности и массы, в которой расстановка мебели намного превышала значение. Этот фактор повлиял на потенциальную скорость развития пожара. Загорание началось в корзине для мусора, расположенной напротив лицевой стороны помещения.

Наблюдения и результаты

Кривые температур (рис. 26 и 27) демонстрируют стремительное развитие пожара приблизительно до 700°С в течение 5 минут. На этом этапе наблюдалось, как пламя охватывает предметы мебели, расположенные напротив окна один за другим.

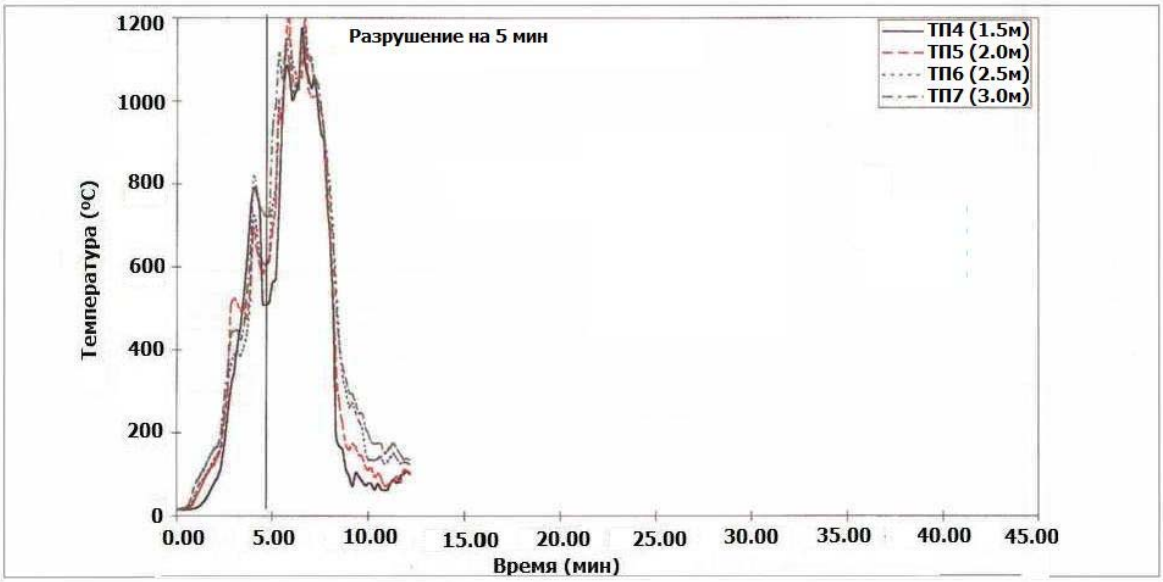


Рис. 26 Кривые термопар, расположенных в центре помещения (испытание №12)

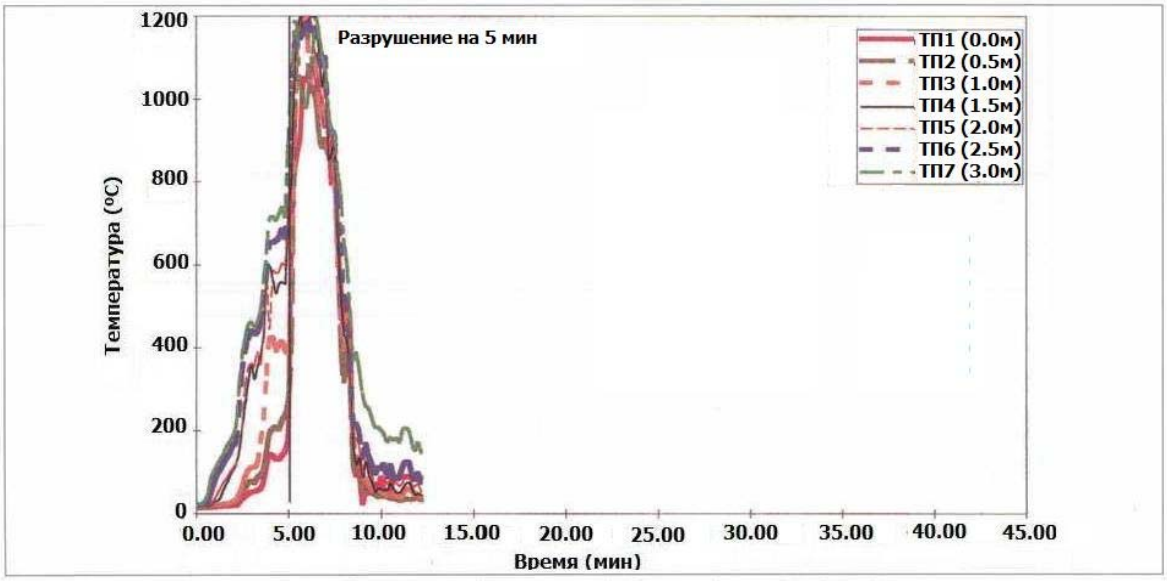


Рис. 27 Кривые термопар, расположенных отдаленно от центра помещения (испытание №12)

Затем произошло разрушение панели остекления, которое вызвало мгновенный скачок в развитии пожара с температурой, достигавшей 1200°С. Единообразие температурных показателей, зафиксированных термопарами после вспышки на обеих измерительных установках, указывает на то, что помещение было полностью охвачено огнем. Все предметы вплоть до уровня пола были охвачены пламенем. Характер пожара отличался от испытаний с поленицей, при которых загорание было ограничено уровнем дыма. Температурные показатели всех измерительных элементов, расположенных в зоне пожара, фиксировали беспрецедентные уровни температур. Удивительно, что температурные показатели в зазоре кронштейна (рис. 28) были ниже нормы, но этот факт был обусловлен скорее неустойчивостью хода испытания, чем характером пожара. Так же, как в предыдущих испытаниях, вертикальные импосты первоначально прогнулись в направлении очага пожара, что было вызвано внезапным и неравномерным характером нагрева (рис. 29), а после разрушения элементов остекления – в обратном направлении. Наблюдался обширный распад всех секций рамной конструкции, до тех пор, пока пожар не был потушен.

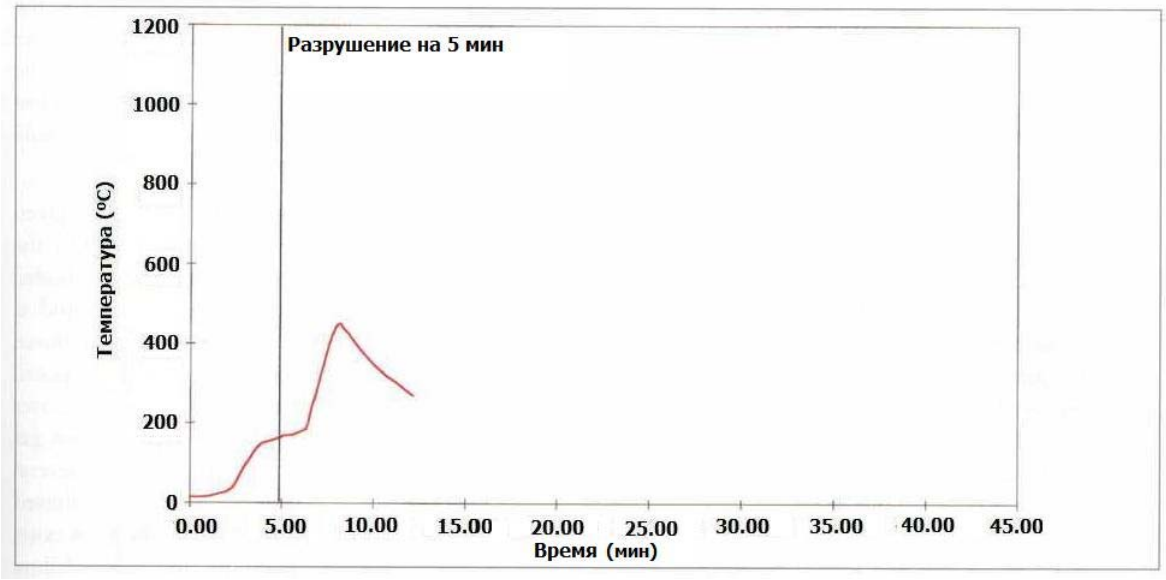


Рис. 28 Кривая термопары, расположенной в зазоре кронштейна (испытание №12)

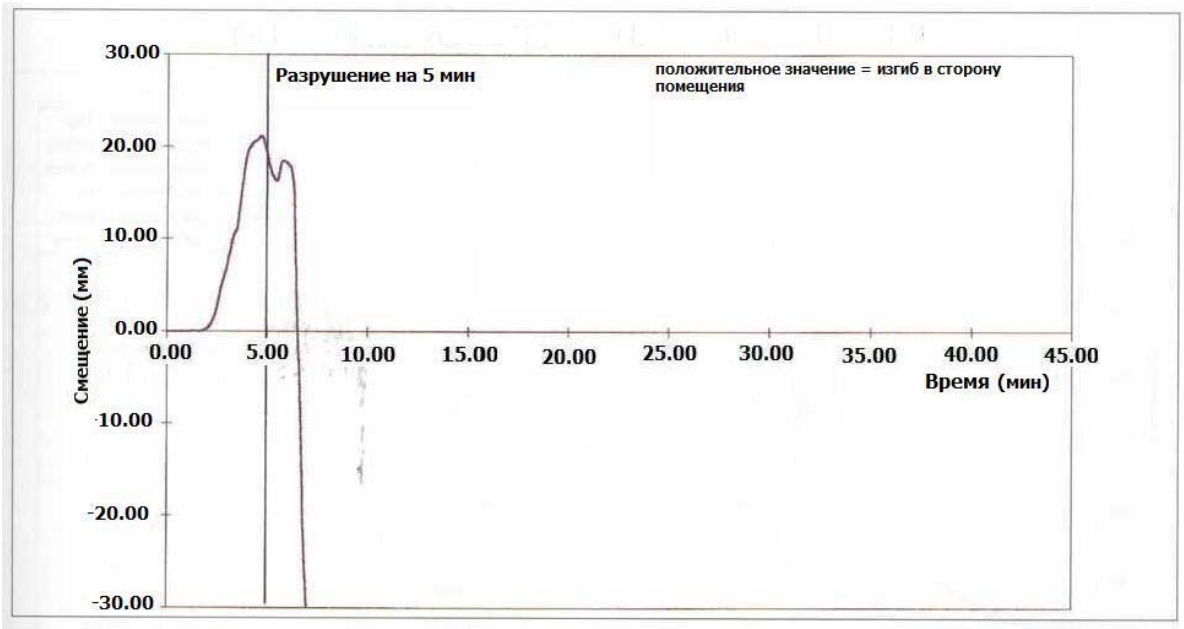


Рис. 29 Кривая смещения центра вертикального импоста (испытание №12)

Обсуждение

С точки зрения страхования некоторые аспекты натурных испытаний с мебелью вызывают тревогу. Во-первых, скорость распространения пожара и общее время до первого разрушения элементов остекления (5 минут с момента загорания) подразумевают, что пожар существенно развился и нанес высокую степень повреждений до предполагаемого прибытия первых средств пожаротушения. Отчасти это было обусловлено близостью расположения возгораемых предметов к навесному фасаду, что вызвало разрушение окон, прежде чем произошло разрушение межоконных панелей. Следовательно, разрушение было вызвано скорее направ-

ленным излучением и набросом факела пламени от источника пожара на уровне окна, чем высокими температурами и конвективным теплообменом в дымовом слое. Как правило, рабочие столы в офисных помещениях располагаются вблизи от окон для обеспечения естественного освещения, что уже представляет собой опасность. Сила пожара, достигнутая после первого разрушения элементов остекления, также превысила все ожидания. Температура была настолько высокой, что вызвала потерю устойчивости элементов рамной конструкции навесного фасада и разрушение всех панелей остекления в течение 7 минут после загорания. Последствия раннего разрушения панелей остекления представляют собой палку о двух концах. С одной стороны, ущерб был усугублен поступлением кислорода в смесь летучих веществ, образовавшихся в процессе тления и на раннем этапе пожара, что вызвало дальнейшее горение и сильное пламя. С другой стороны, поток воздуха, поступивший вслед за разрушением остекления, задал направление для выхода тепловой энергии через окна и, таким образом, снизил вероятность распространения пожара на соседние внутренние помещения. Пожар был предоставлен эффективный выход.

Если исходить из соображений пассивной защиты, согласно которой пожар неизбежно растет, не выходя за рамки помещения, где произошло возгорание, и, таким образом, наносит минимальные убытки, то увеличившуюся силу и скорость развития пожара можно считать приемлемым поведением. Однако, когда в результате раннего разрушения элементов остекления возрастает и усиливается уровень пламени вне помещения, в таком случае увеличиваются шансы распространения пожара на вышерасположенный этаж, а также возрастают убытки от пожара. В данном испытании межоконные панели подверглись разрушению вскоре после разрушения окон, и пожар без затруднений проник на вышерасположенный этаж.

Низкая прочность стекла является определяющим фактором в испытаниях 10–12 и, при этом, не вполне оправданным, учитывая, что при производстве стекла, сырье нагревается до температуры 1500°С. Однако разрушение происходит вследствие перепадов температур и результирующего несоответствия теплового расширения обогреваемых и необогреваемых участков оконного стекла. Если пожар развивается достаточно быстро, как происходило в данных испытаниях, предполагается, что необогреваемые участки оконного стекла сохраняют первоначальную температуру. В таком случае, время разрушения может быть напрямую связано с температурой обогреваемого участка стекла. Эта связь должна рассматриваться со знанием пространственной разности температур по всей поверхности оконного стекла и того, как температура поверхности соотносится с окружающей температурой газа в помещении. В испытаниях 10 и 11 максимальные температурные значения центральных термопар установились на температуре около 580°С на несколько минут, прежде чем произошло выпадение стекла. В испытании 12 максимальная температура достигла 800°С, а затем снизилась до 700°С, вслед за чем последовало разрушение, но в этом случае интенсивность роста температур была намного выше. Следовательно, существует вероятность того, что схожие температуры обогреваемой поверхности были достигнуты в стекле в момент времени, когда произошло разрушение. В ходе наблюдений за температурой окон (с необогреваемой стороны) были установлены максимальные температурные показатели 250-300°С в испытаниях 10–12 (рис. 30, 31 и 32).

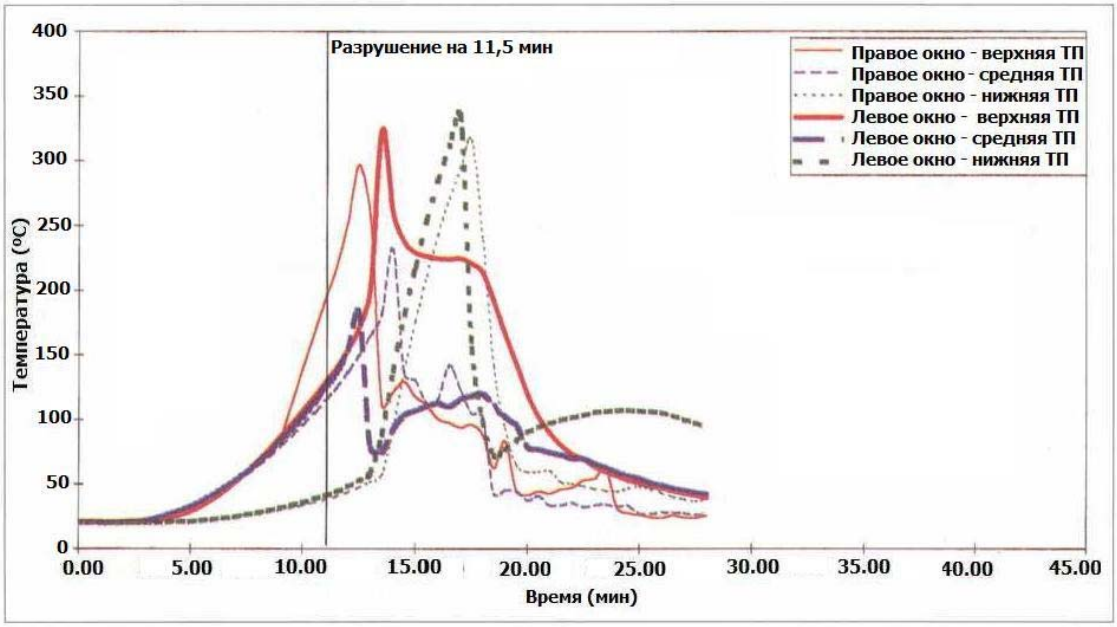


Рис. 30 Кривые температур необогреваемой поверхности элементов остекления (испытание №10)

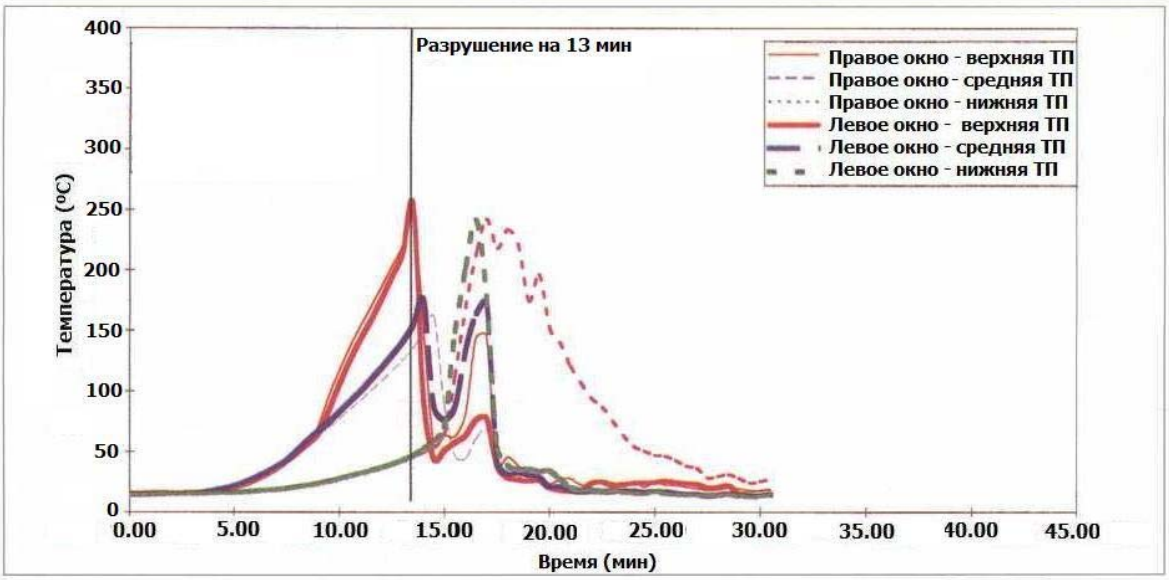


Рис. 31 Кривые температур необогреваемой поверхности элементов остекления (испытание №11)

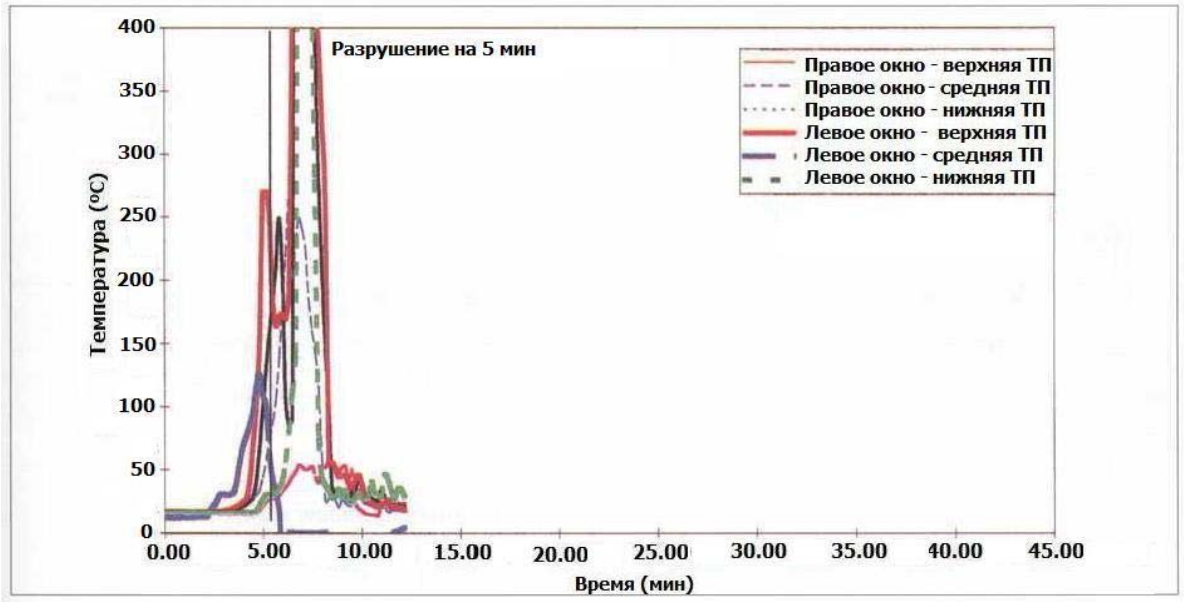


Рис. 32 Кривые температур необогреваемой поверхности элементов остекления (испытание №12)

Испытания 13, 14, 15: Испытания со спринклерами

Цель данных испытаний заключалась в том, чтобы исследовать воздействие различных спринклерных конфигураций на механизмы разрушения, выявленные для общих навесных фасадных систем. Эти конфигурации графически представлены на рис. 33.

Оборудование (испытание 13)

Оборудование для данного испытания состояло из помещения с остекленным фасадом с размещенной внутри деревянной поленицей в качестве источника топлива. Была установлена спринклерная система общего типа для офисных зданий, состоящая из двух распылителей, размещенных на межцентровом расстоянии, равном 3.0 метра, вдоль средней линии в помещении шириной 4 метра. Спринклеры были настроены так, чтобы обеспечивать заданную интенсивность выходящего потока 5 мм/мин (около 1.0 л/сек./спринклер) для распыления воды на огонь, имевший гидравлически неблагоприятное местоположение в здании. Спринклеры приводились в действие вручную. Поленица использовалась в качестве источника нагревания, но, поскольку цель испытания заключалась в том, чтобы определить воздействие спринклерной системы на температуру горячих газов, а не на сам огонь, для защиты поленицы от воды использовалась противопожарная перегородка. Это также помогло в сопоставлении данного испытания с последующими испытаниями на основе эквивалентных воздействий, вместо выявления смешанных и неопределенных воздействий спринклерной системы на температуры газов и интенсивность роста пожара.

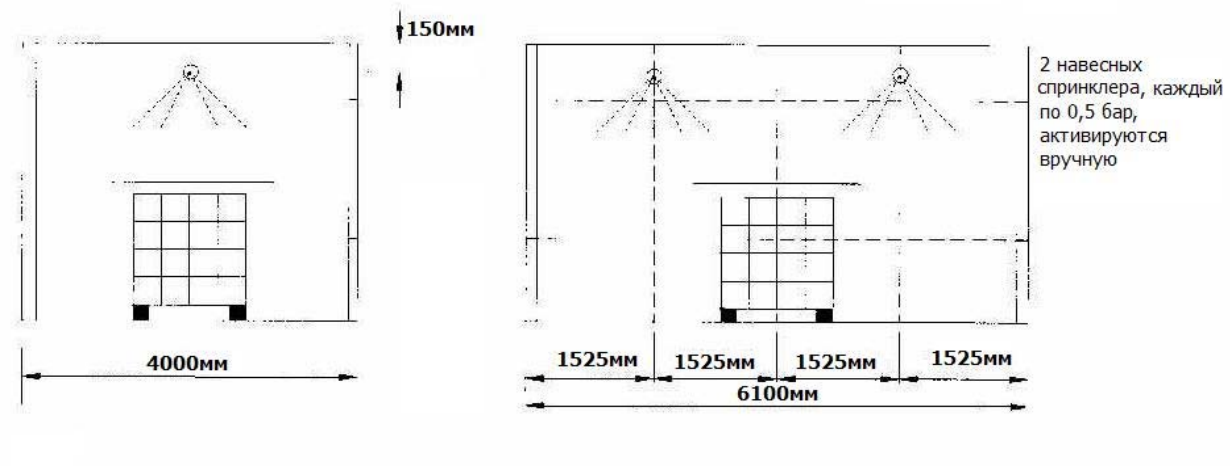


Рис. 33 (a) Общее расположение для испытания №13 (внутренняя система спринклеров)

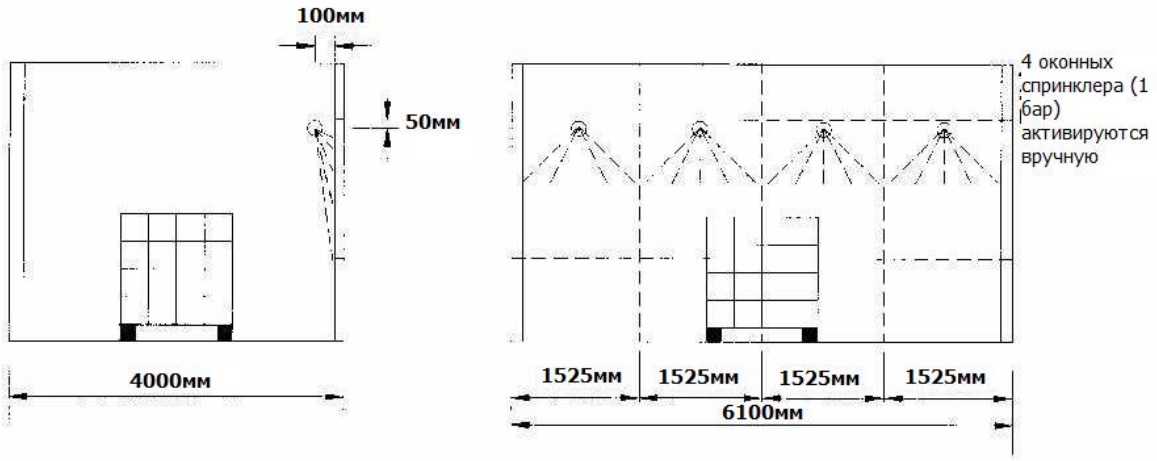


Рис. 33 (b) Общее расположение для испытания №14
(внутренняя система спринклеров, направленная на окна)

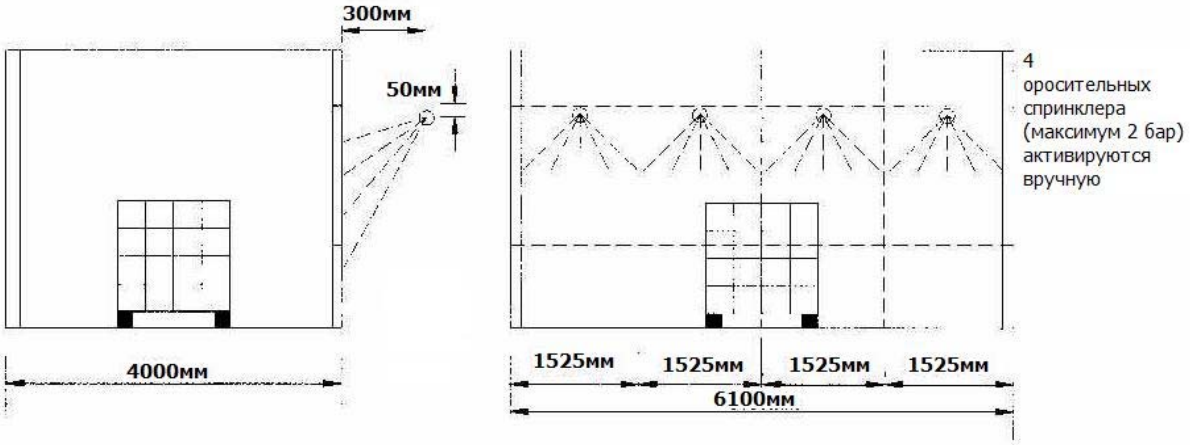


Рис. 33 (c) Общее расположение для испытания №15
(наружная противопожарная оросительная система)

Наблюдения и результаты (испытание 13)

Наблюдаемый характер горения поленицы был аналогичен предыдущим испытаниям, хотя температура в глубине поленицы (рис. 34) составляла на 200°C ниже, чем в эквивалентных испытаниях 10 и 11. Это могло быть обусловлено наличием перегородки над поленицей, предотвратившей формирование естественного факела пламени и, таким образом, препятствовавшей горению, а так же влажностью воздуха, проходившего через поленицу.

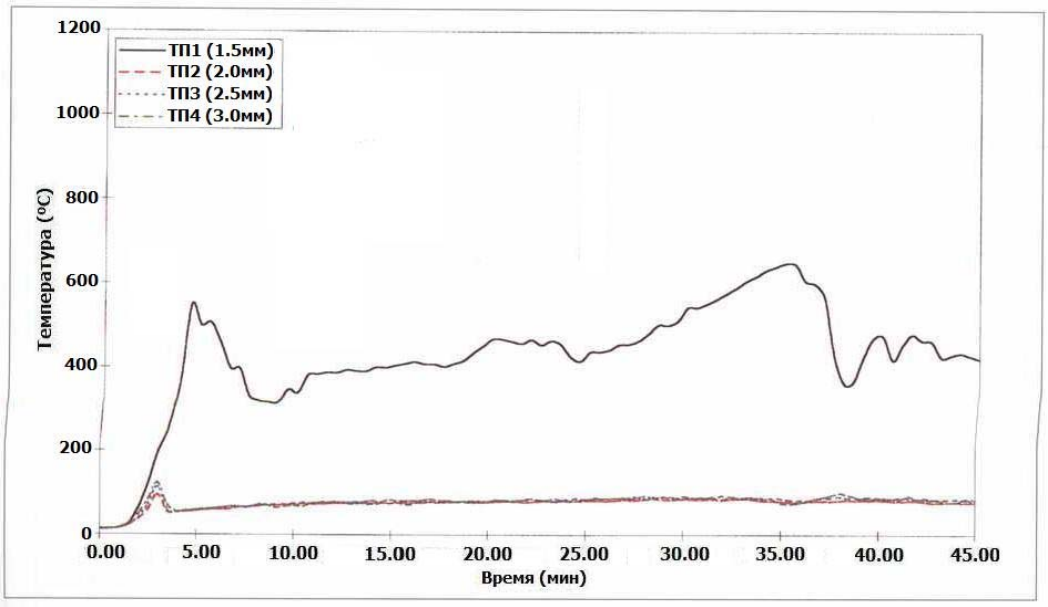


Рис. 34 Кривые термопар, расположенных в зоне факела поленицы (испытание №13)

Несмотря на применение идентичного источника нагревания, температурные показатели газов в помещении не превышали 100°C (рис. 34 и 35), кроме показателей термопары, закрепленной на потолке над головками спринклеров.

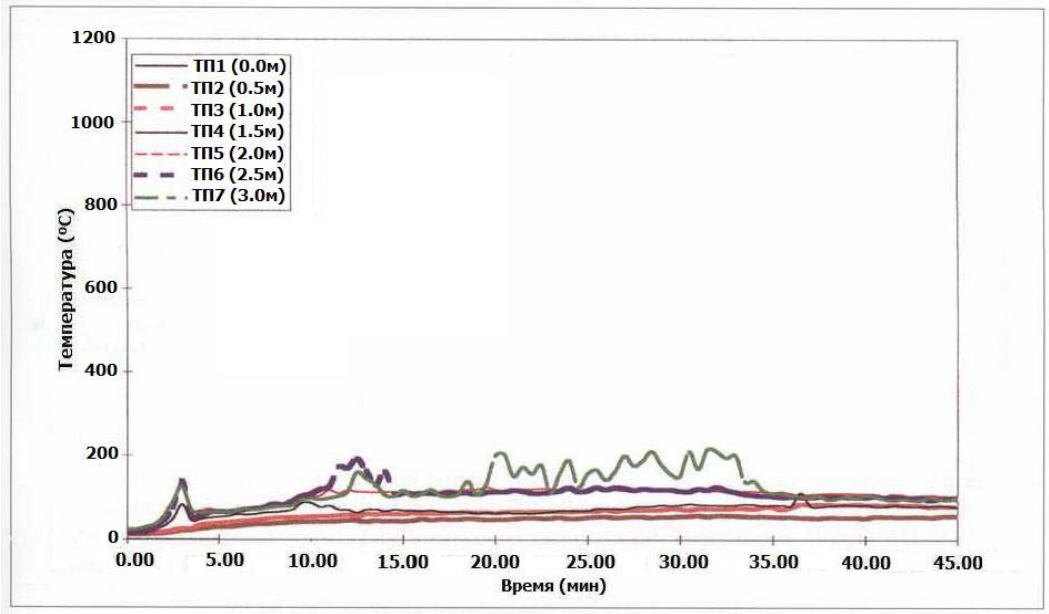


Рис. 35 Кривые термопар, расположенных отдаленно от зоны факела поленицы (испытание №13)

Эти условия существенно повлияли на характер поведения всех прилегающих элементов. Температура вертикальных импостов (рис. 36) не превышала 100°C, что вызвало очень незначительные сдвиги (рис. 37) и снизило вероятность смещения огнеупорного материала. Температура в зазоре кронштейна (рис. 38) также снизилась по причине охлаждения газов, что препятствовало смещению огнеупорного материала и предотвратило распространение огня на вышележащий этаж. И, что самое главное, удалось избежать разрушения

элементов остекления, поскольку температуры поверхности стекла не достигли достаточно высоких уровней, чтобы вызвать перепады температур, необходимые для разрушения (рис. 39). По прошествии приблизительно 30 минут началось затухание пожара поленицы, и вероятность разрушения сокращалась. Таким образом, спринклерная система эффективно сдерживала температуру газов в помещении, предотвратив распространение пожара на вышерасположенный этаж и значительно снизив ущерб на этаже загорания.

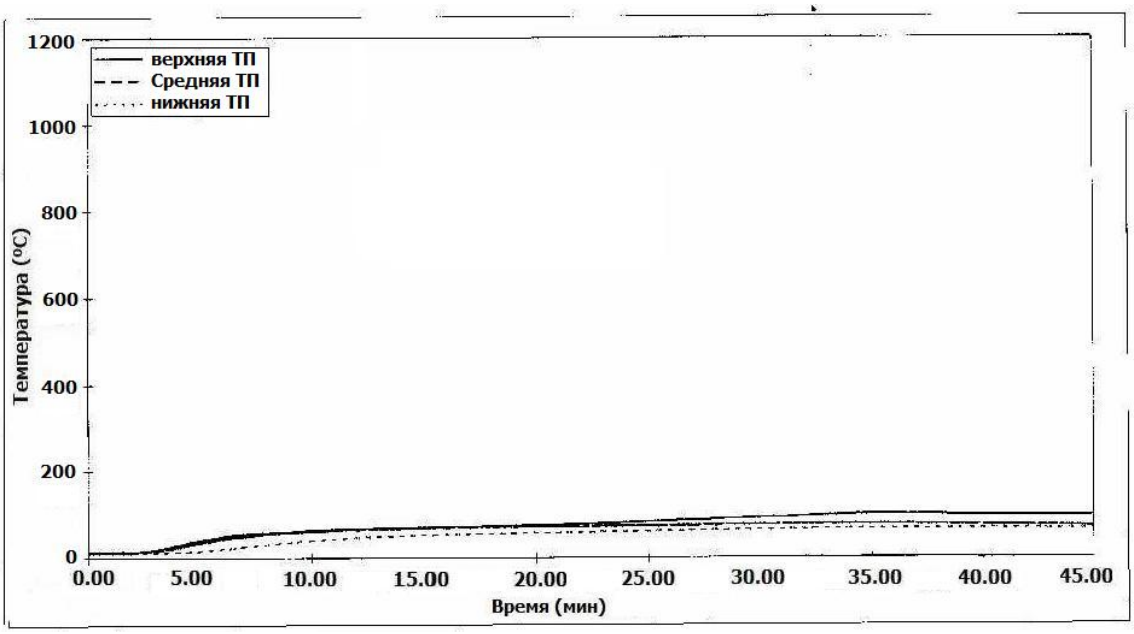


Рис. 36 Кривые термопар вертикального импоста (испытание №13)

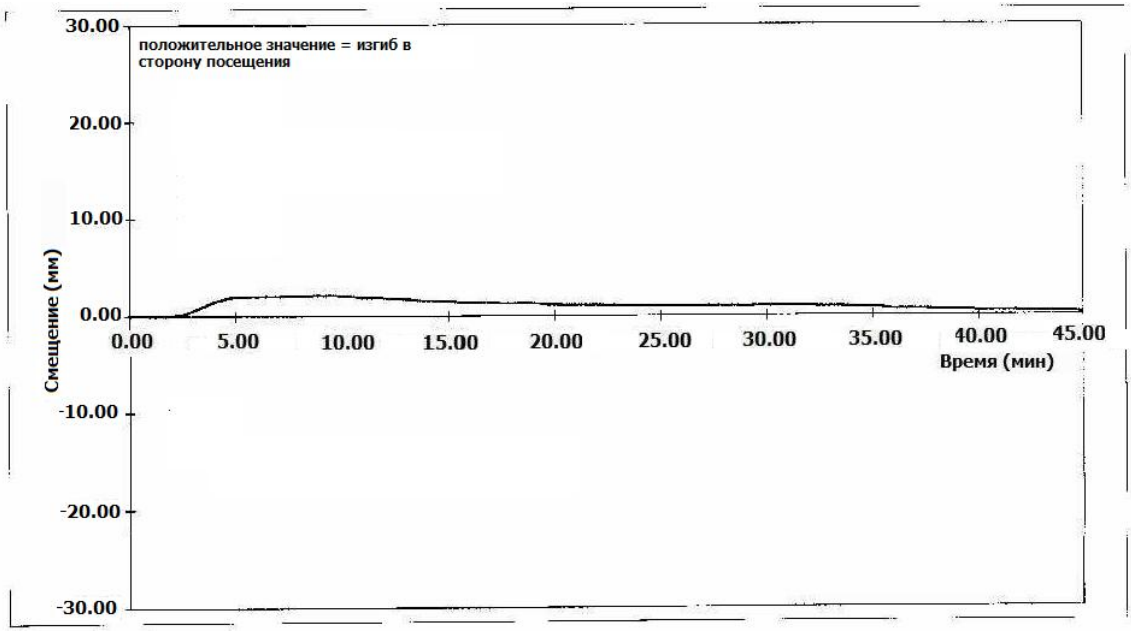


Рис. 37 Смещение центра вертикального импоста (испытание №13)

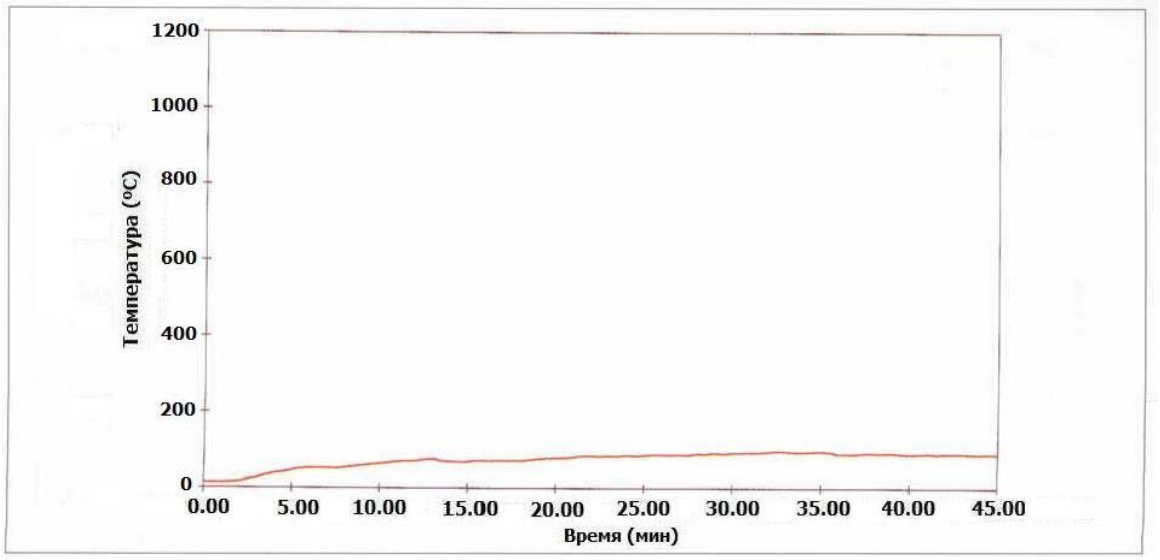


Рис. 38 Кривая температуры в зазоре кронштейна (испытание №13)

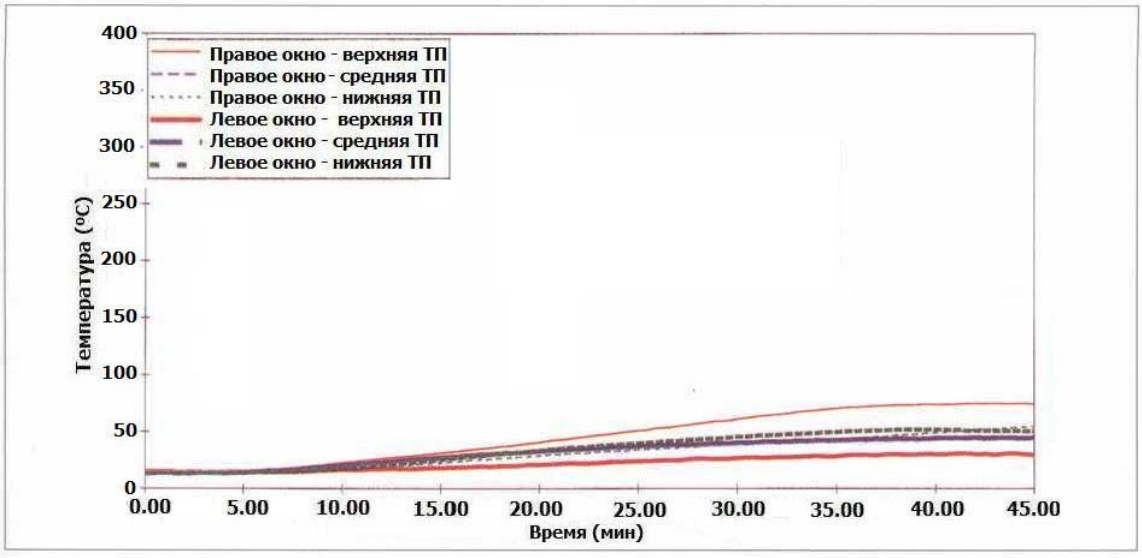


Рис. 39 Кривые температуры поверхности стекла (необогреваемая сторона, испытание №13)

Оборудование (испытание 14)

Обустройство помещения отличалось от предыдущего испытания тем, что межоконные панели на уровне пола и потолка были оснащены огнезащитными панелями Supalux, спринклеры размещались напротив окон с внутренней стороны помещения, а перегородка была убрана. Цель данного испытания заключалась в том, чтобы исследовать насколько ограничится распространение пожара при применении спринклерных систем для орошения окон. На каждое оконное стекло приходилось одна спринклерная головка. Давление и, следовательно, интенсивность потока были увеличены, чтобы обеспечить наиболее полную площадь покрытия.

Наблюдения и результаты (испытание 14)

Температурные показатели газов, измеренные в факеле пламени поленицы (рис. 40) были схожи с теми же показателями в сценариях, в которых не применялись спринклерные системы, и демонстрировали, что активация спринклеров не влияла на увеличение очага пожара. Термопары, расположенные отдаленно от зоны факела поленицы, который дают более общее представление о температуре в помещении (рис. 41), демонстрировали формирование четкого и устойчивого температурного градиента с увеличивающимися показателями температур от пола к потолку. Более того, эти температурные показатели составляли до 150°C ниже показателей предыдущих испытаний, в которых не применялись спринклерные системы, что указывает на тот факт, что орошение окон действовало как теплоотвод в помещении, в то же время, обеспечивая местное охлаждение элементов остекления.

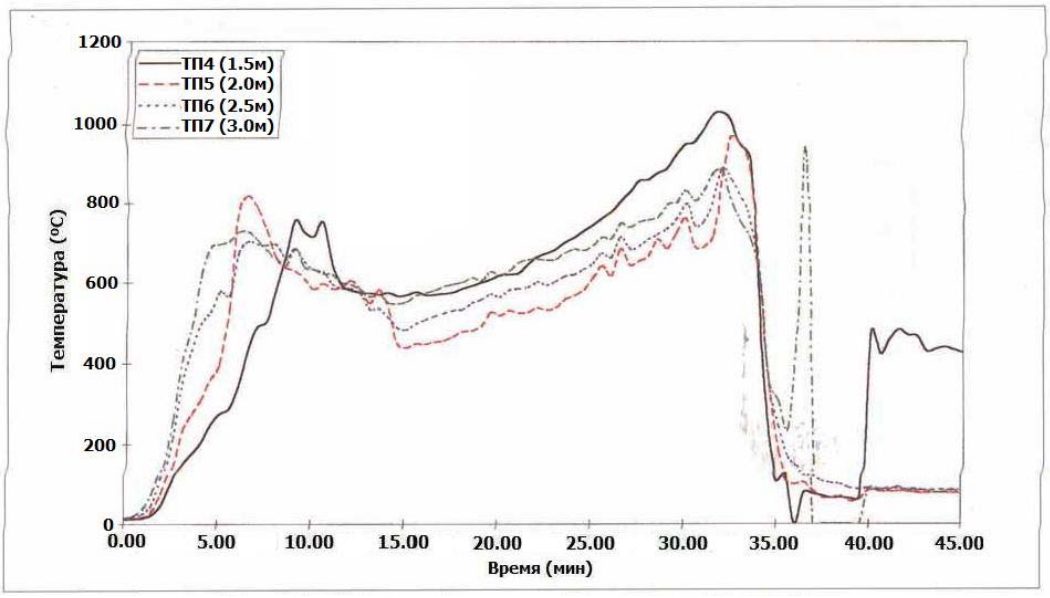


Рис. 40 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №14)

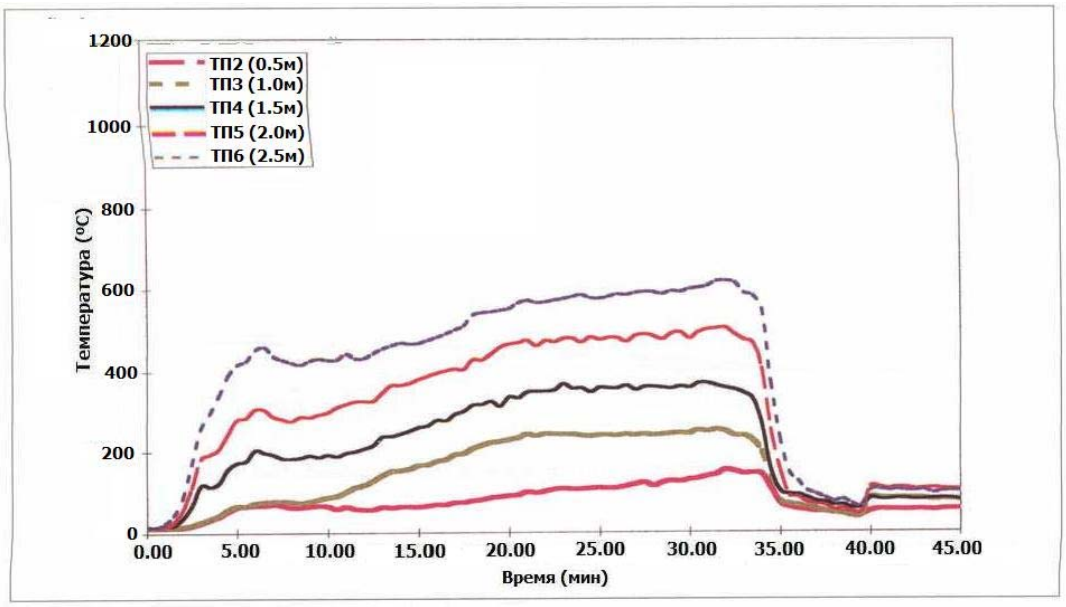


Рис. 41 Кривые термопар, расположенных отдаленно от зоны факела поленицы (испытание №14)

Поскольку спринклеры были расположены с целью охлаждения окон, распыляемая ими вода также воздействовала на вертикальные импосты, что позволило предотвратить формирование температурных градиентов (рис. 42) и не вызвало искажения. Смещение вертикального импоста (рис. 43), таким образом, оставалось в пределах 5 мм практически на протяжении всего испытания; оно было вызвано нагреванием межоконной части элемента, находившейся вне зоны распыления спринклера. Температуры в зазоре кронштейна, хотя и были незначительно ниже, чем в предыдущих испытаниях, все же достигали достаточно высоких уровней, чтобы вызвать воспламенение возгораемых материалов на вышерасположенном этаже (рис. 44).

Температурные показатели термопар, установленных на окнах (рис. 45), не превышали 100°С. При таком уровне температур значительного разрушения произойти не могло. Однако наблюдалось незначительное смещение в верхней части оконных стекол (произошедшее приблизительно на 32 минуте); оно было вызвано образованием участков перегрева, находившихся за пределами зоны распыления спринклеров. Разрушение произошло на позднем этапе испытания, было несущественным и не несло значительной угрозы для элементов остекления вышерасположенного этажа.

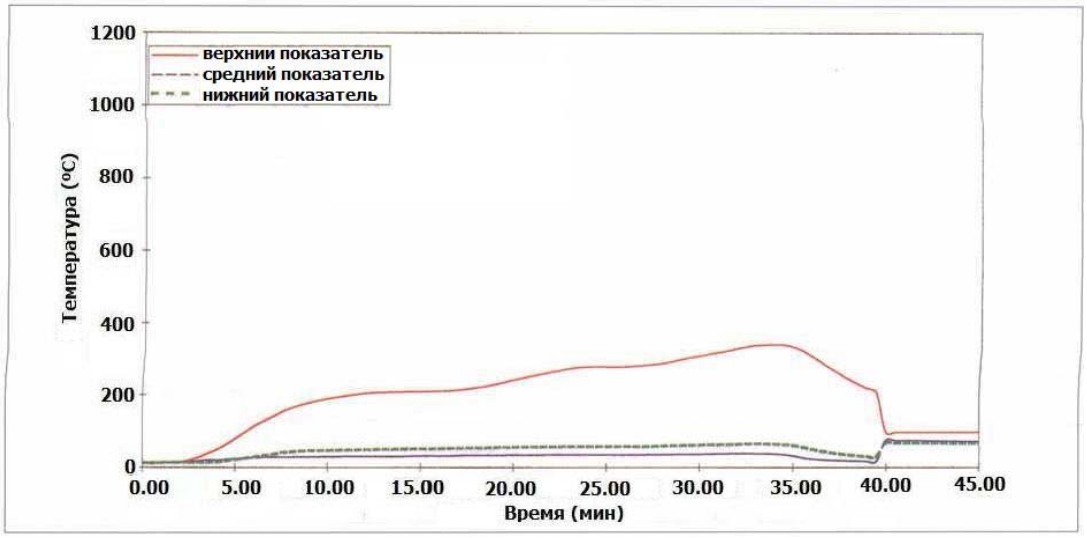


Рис. 42 Температуры вертикальных импостов (испытание №14)

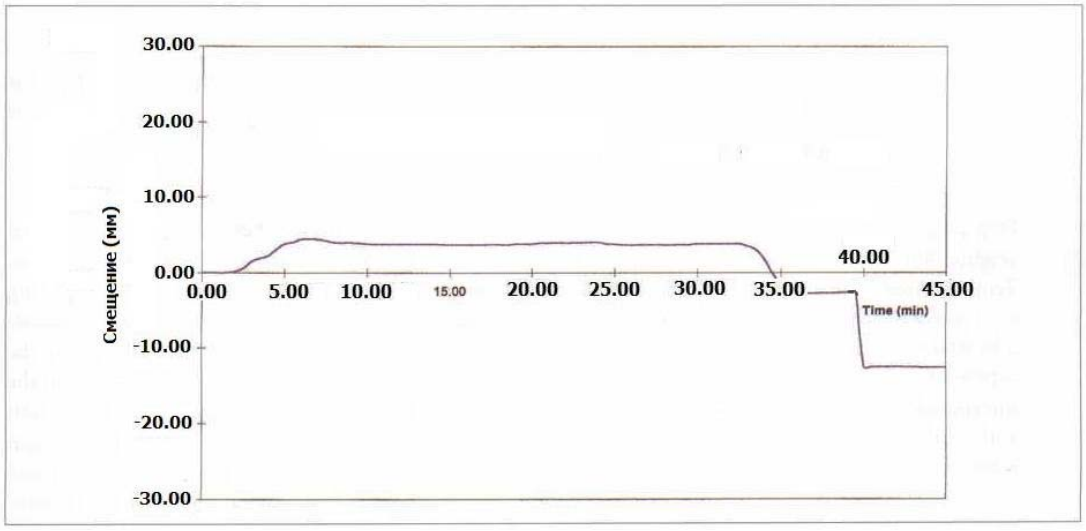


Рис. 43 Смещение центра вертикального импоста (испытание №14)

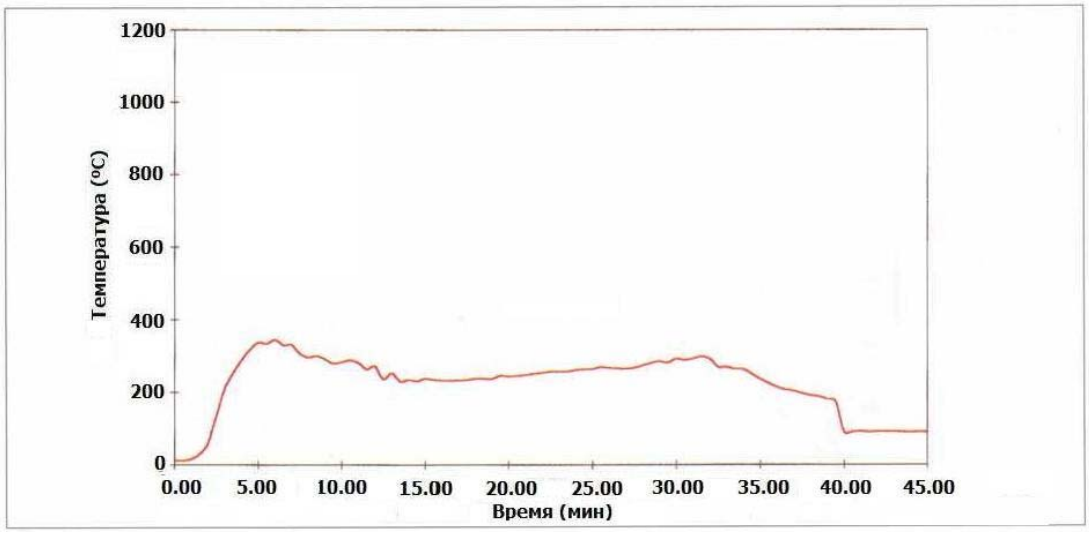


Рис. 44 Температура в зазоре кронштейна (испытание №14)

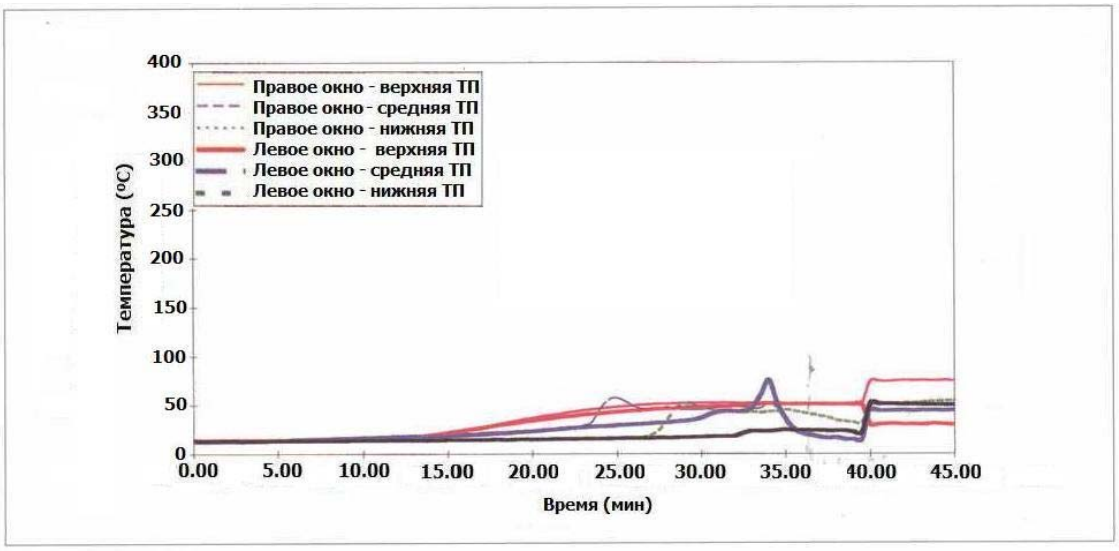


Рис. 45 Температура остекленной поверхности (необогреваемая сторона, испытание №14)

Оборудование (испытание 15)

Оборудование для данного испытания было аналогично испытанию 14, за исключением того, что в данном случае спринклеры использовались для орошения внешней, а не внутренней поверхности панелей остекления. В испытании использовались спринклеры той же формы, что в предыдущих испытаниях, однако давление и, следовательно, интенсивность потока были увеличены, чтобы обеспечить орошение по всей площади оконного стекла и, тем самым, предотвратить появление участков перегрева.

Наблюдения и результаты (испытание 15)

Температурные показатели термопар, расположенных в зоне факела пламени (рис. 46), были схожи с показателями термопар в предыдущем испытании и указывали на равномерный рост пожара поленицы. Температурные показатели, полученные угловым деревом термопар (рис. 47) превышали значения, зафиксированные угловым деревом термопар в испытании 14, подтверждая, как и ожидалось, что орошение с внешней стороны менее эффективно для поглощения тепла в помещении. Стратификация температур по высоте помещения была резко выраженной. Температуры вертикальных импостов с обогреваемой стороны (рис. 48) также достигали более высоких уровней, чем в предшествующих испытаниях, поскольку охлаждение производилось с необогреваемой стороны. Охлаждение усилило естественный температурный градиент, образовавшийся вдоль секции, вызвав более значительное смещение, приблизительно равное 20 мм (рис. 49). И хотя температуры в зазорах кронштейнов не достигали уровней температур предыдущих испытаний, они были достаточно высокими и указывали на вероятность проникновения пожара на вышерасположенный этаж через зазоры (рис. 50). Температуры охлаждаемой поверхности окон, зафиксированные термопарами с необогреваемой стороны (рис. 51), не превышали 100°C. Безусловно, температуры на обогреваемой стороне поверхности окон были значительно выше. Обрушение остекления вновь произошло на позднем этапе испытания (приблизительно на 32 минуте), происходило постепенно и пришлось на момент догорания поленицы, без существенной угрозы распространения пожара на вышележащий этаж.

Данные о механизме разрушения были получены при изучении образцов элементов остекления по прошествии испытания. Образцы внутренних оконных стекол были покрыты плотной сеткой волосных трещин с обогреваемой стороны, и в то же время, остались нетронутыми с необогреваемой стороны. Это свидетельствовало о дифференциальном нагревании по толщине оконного стекла, при котором разрушение с обогреваемой стороны поверхности предотвращалось благодаря охлаждению с наружной стороны. Разрушение внешних оконных стекол имело более традиционный характер: оно сопровождалось угловатыми трещинами больших размеров по всему стеклу.

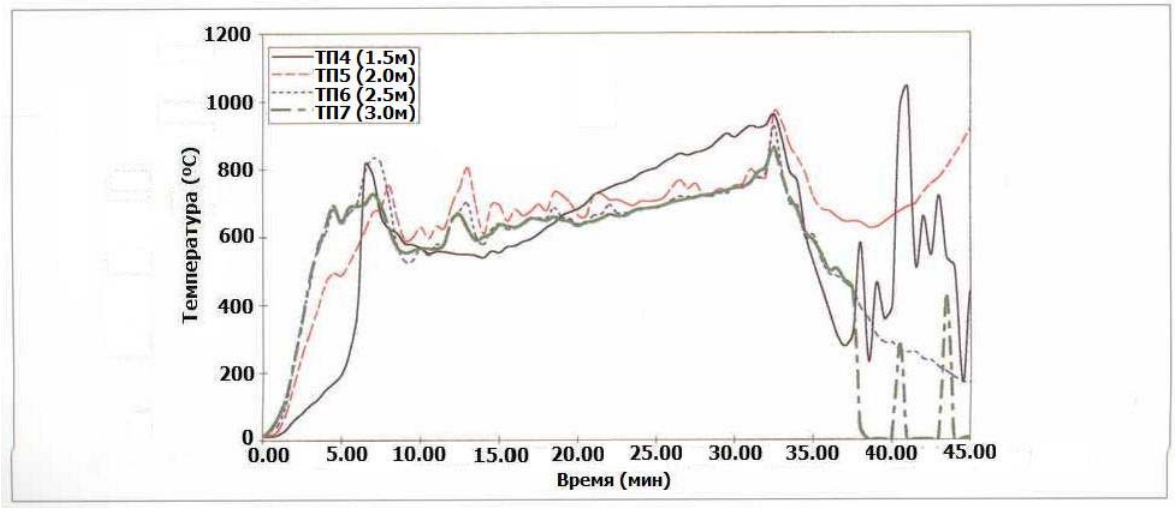


Рис. 46 Кривые термопар, расположенных в зоне факела пламени поленицы (испытание №15)

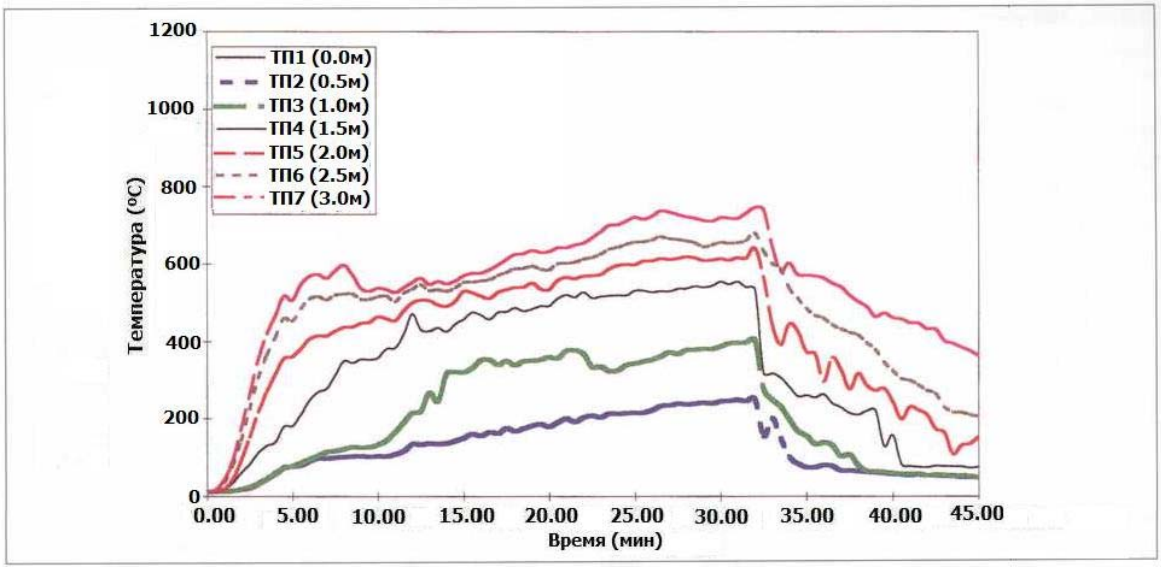


Рис. 47 Кривые термопар, расположенных отдаленно от факела пламени поленицы (испытание №15)

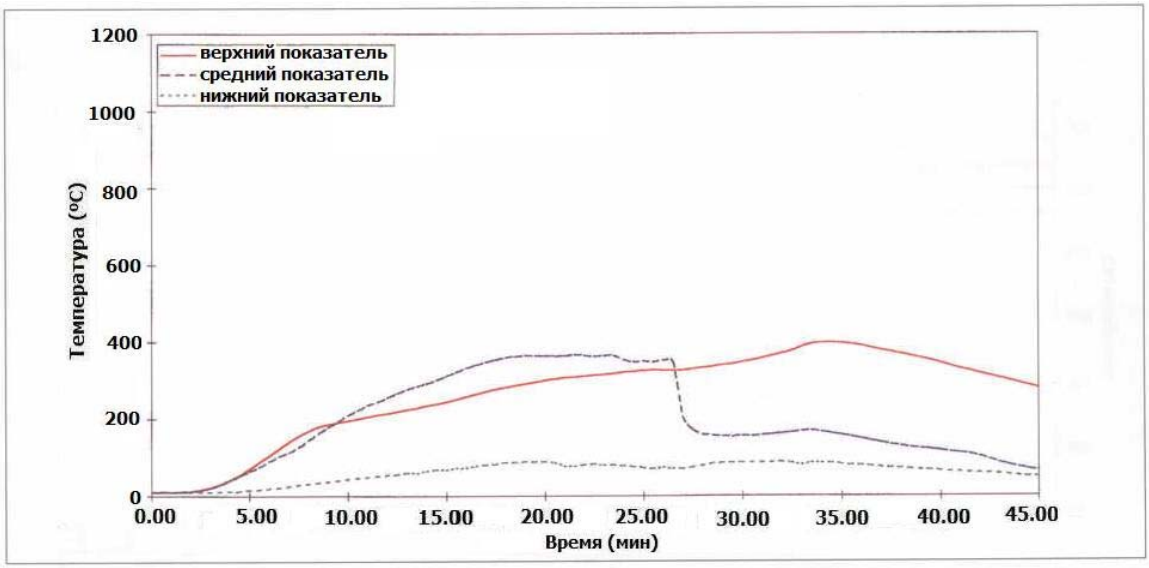


Рис. 48 Температуры вертикальных импостов (испытание №15)

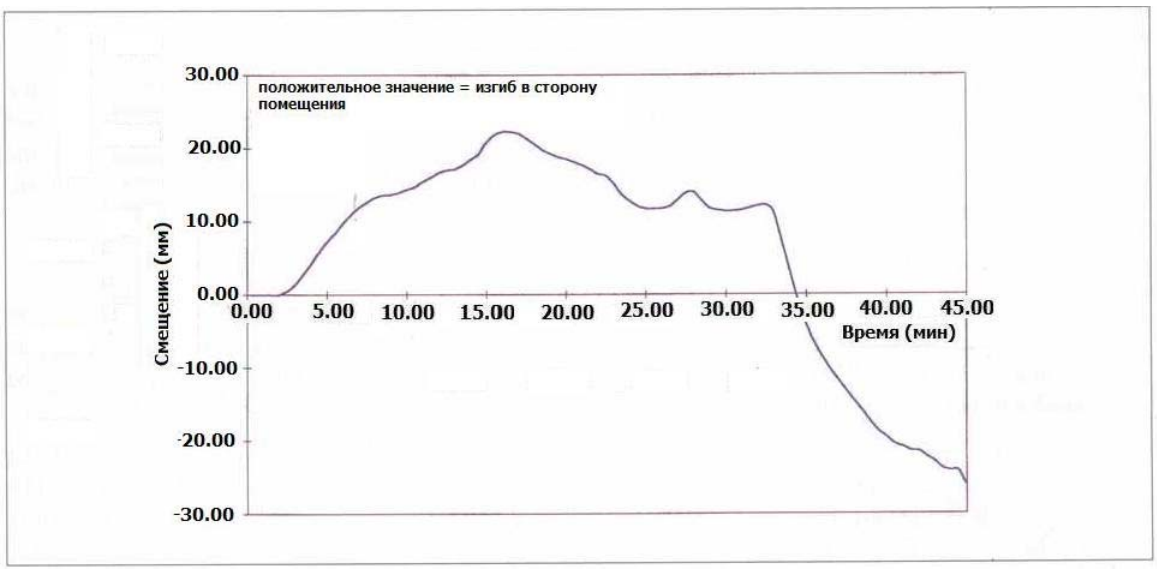


Рис. 49 Смещение центра вертикального импоста (испытание №15)

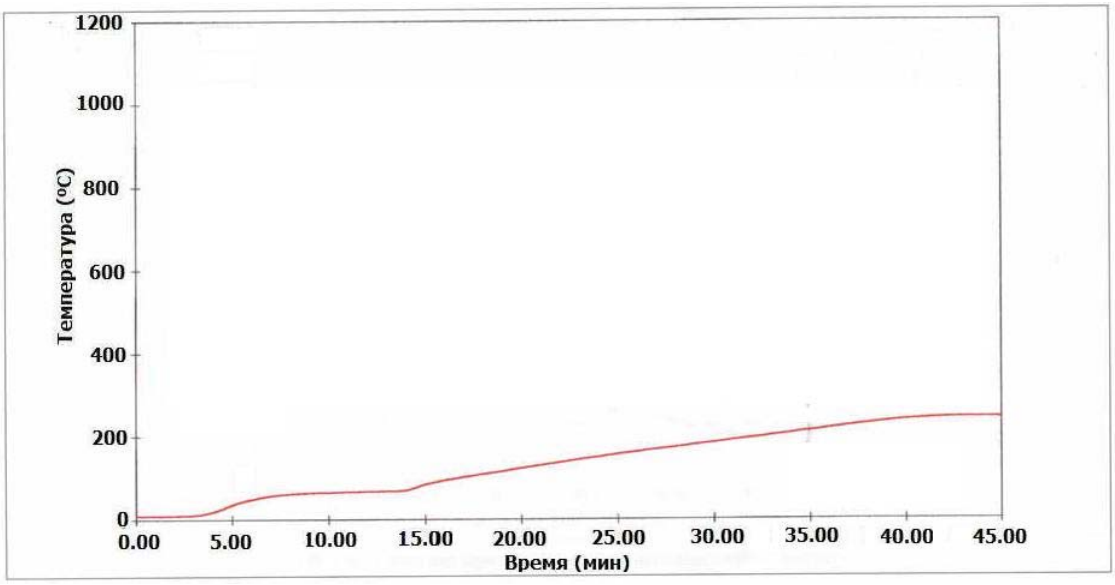


Рис. 50 Кривая температуры в зазоре кронштейна (испытание №15)

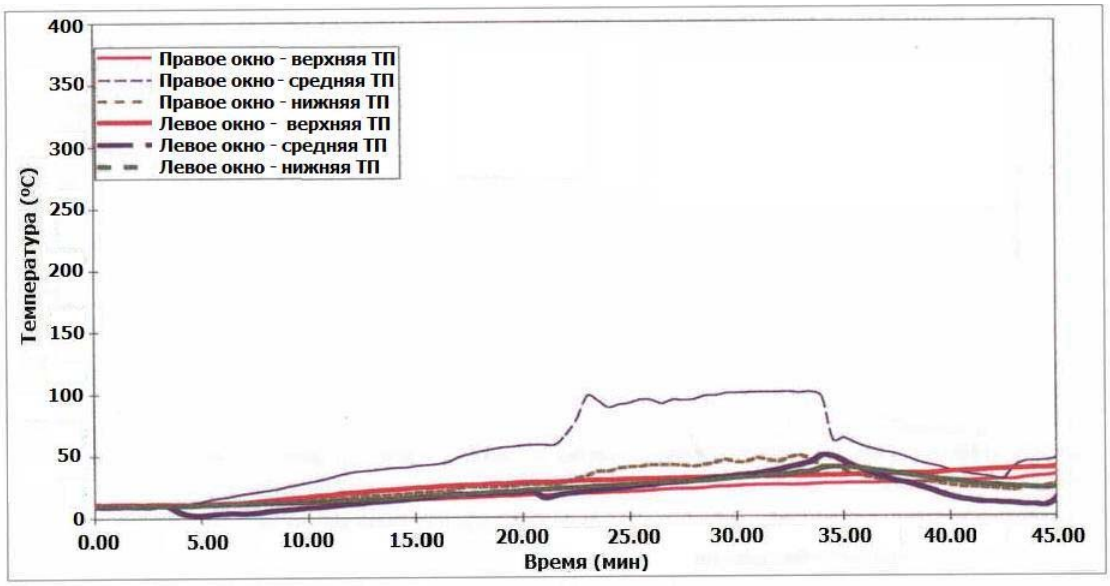


Рис. 51 Кривые температуры стекла (необогреваемая сторона, испытание №15)

Обсуждение

Нетрадиционное применение спринклерных систем, представленное в данных трех испытаниях, заключалось в том, что они использовались не для активного тушения пожара, но с целью предотвращения его распространения за пределами помещения путем охлаждения горячих газов или сохранения изоляции помещения. Все три конфигурации спринклеров были в различной степени эффективны для предотвращения вспыхивания пожара на этаже загорания и, следовательно, для предотвращения проникновения пожара на вышерасположенный этаж.

В течение испытаний спринклеры приводились в действие вручную на 3 минуте. Время активации спринклеров приходилось на момент после стандартного времени срабатывания автоматического спринклера и до момента первого разрушения элементов остекления в испытаниях с поленицей. В связи с этим, ускоренный рост пожара, наблюдаемый в натурном испытании 12 с мебелью, очень настораживает и требует дальнейшего исследования с целью определить, что момент активации спринклера или автоматической системы пожаротушения был выбран верно.

Охлаждение горячих газов при помощи спринклеров (испытание 13) в целом вызвало снижение температур и, таким образом, предотвратило возможное образование отверстий в противопожарном материале и проникновение горячих газов через зазоры на вышерасположенный этаж, а также защитило навесной фасад. Кроме того, удалось избежать возгорания в дымовом слое, что снизило ущерб от пожара в противопожарном помещении.

Две конфигурации систем орошения, используемые в испытаниях 14 и 15, оказались менее эффективны, поскольку охлаждению подвергалась лишь часть поверхности остекления. Важно отметить, что в данном случае использовалась противопожарная защита межоконных панелей, что вызвало дополнительные затраты. Разрушение элементов остекления произошло в обоих испытаниях, но, учитывая, что воспламенение в горячем слое (приблизительно на 10 минуте) предшествовало разрушению, изменения в вентиляционных характеристиках не способствовали возникновению обратной тяги. В ходе применения метода орошения результаты повреждения противопожарного помещения и вероятность вертикального распространения пожара посредством дверных проемов, вентиляционных каналов, лестничных колодцев или лифтовых шахт не учитывались, следовательно, он представляет собой только частичное решение.

Из двух испытаний, испытание с внутренним орошением было более эффективным для защиты навесного фасада, несмотря на значительный ущерб, который вода могла бы нанести нижележащим этажам по причине близкого расположения оросительной системы от зазора между фасадом и основной конструкцией. Однако орошение оболочки здания с внешней стороны также имеет преимущество, поскольку позволяет снизить ущерб, причиненный водой.

Преимущества стандартной системы спринклерной защиты значительно преобладают над преимуществами системы орошения по своим свойствам пожаротушения. Однако выбор системы пожаротушения зависит стоимости. Длина участка трубопровода для оросительной системы будет зависеть от периметра здания, в то время как участок трубопровода для стандартной системы спринклеров будет проходить по всей площади в плане.

Испытания 16, 17, 18: Исследования высоты пламени

Задача испытаний 16, 17 и 18 заключалась в том, чтобы предоставить больше данных о способности пожара к проникновению на вышележащий этаж после того, как им был охвачен этаж, на котором произошло возгорание, и преодолен навесной фасад. В сущности, эти испытания носили показательный характер и проводились скорее с целью наблюдения, чем для сопоставления данных.

Оборудование (испытание 16)

Первоочередной задачей данного испытания было изучение высоты пламени, исходившего от пожара в помещении офисного типа, в котором разрушилась часть остекленного фасада. Учитывая, что испытательная установка, смонтированная для последнего испытания со спринклерами, осталась неповрежденной, за исключением окон на первом этаже, было решено использовать ее для показательного испытания. Оконный проем был облицован противопожарной панелью в качестве «половинного оконного стекла» (размером приблизительно 1445мм x 925мм), оснащенной проволокой необходимой длинны, за которую можно потянуть в определенный момент, чтобы отдернуть панель и имитировать ранее наблюдаемое воздействие первого разрушения остекления на развитие пожара (рис. 52). Данный опыт мог дать представление о максимальной высоте пламени, которую можно ожидать от данного типа пожара. В качестве источника пожара использовалась деревянная поленица с принятой мощностью тепловыделения, равной 3 мВт.

Наблюдения и результаты (испытание 16)

На ранних этапах, пожар развивался аналогично испытаниям 7, 8, 9, 10 и 11, основываясь на взаимодействии поленицы, вентиляции и ограничивающих поверхностей. Примерно на 8 минуте произошло возгорание в дымовом слое, и пламя возвышалось над дверным проемом с задней стороны помещения. Приблизительно на 10 минуте, когда пожар перешел в стадию полностью развившегося пожара, противопожарная панель была отдернута. Из образовавшегося отверстия вырвался густой черный дым, который практически мгновенно воспламенился в форме огненного шара, достигая расстояния нескольких метров от фасада под углом 30 градусов относительно линии горизонта. Это явление наблюдалось на протяжении нескольких секунд, после чего ослабло, и пламя, вырывавшееся через отверстия, стало более коротким, и в то же время более плотным и непрозрачным. Свойства данного пламени отличались от свойств пламени пожаров, обычно наблюдаемых в

зданиях, тем, что пламя не «липло» к фасаду, но направлялось прочь от фасада, как будто находясь под воздействием давления. Это поведение продолжалось на протяжении 15 минут, прежде чем наступил этап затухания пожара. На этапе затухания устойчивое, но оживленное пламя продолжало гореть, охватив рамную конструкцию горизонтальных и вертикальных импостов. На 17 минуте выпала соседняя полноразмерная панель и повлекла за собой постепенное обрушение всех вышерасположенных межоконных панелей. После этого пламя набрасывалось на внешнюю поверхность фасада, но его высота составляла не более 1.0 метра, что было обусловлено характером пожара, регулируемого топливом. Окна над противопожарным помещением потрескались, но не обрушились.

Поставленная в испытании задача, заключавшаяся в оценке высоты пламени, не была достигнута, поскольку воспламенение было нетипичным для пожара в здании. Стандартное разрушение остекления, наблюдавшееся в предыдущих испытаниях, имело прогрессивный характер и приводило к полному выпадению всех оконных панелей в пределах 1-2 минут, начиная с первого разрушения. Применение противопожарных оконных панелей означало, что после первого разрушения практически устойчивое интенсивное горение должно продолжаться на протяжении 8 минут, прежде чем произойдет обрушение следующей оконной панели. Пламя было направлено перпендикулярно фасаду и, следовательно, не оказывало разрушительное воздействия не остекленный навесной фасад.

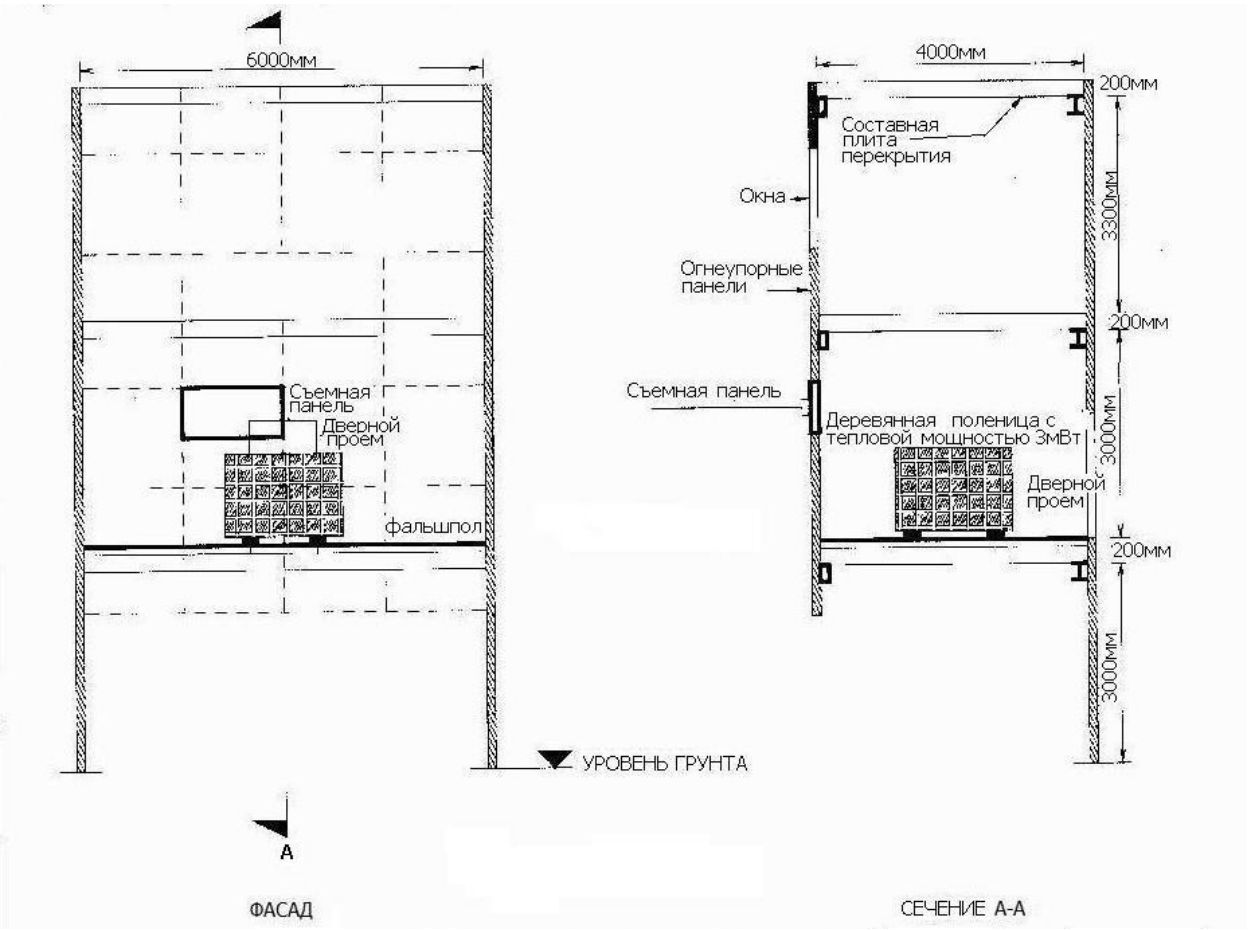


Рис. 52 Расположение рамной конструкции, фасада и поленицы для испытания №16

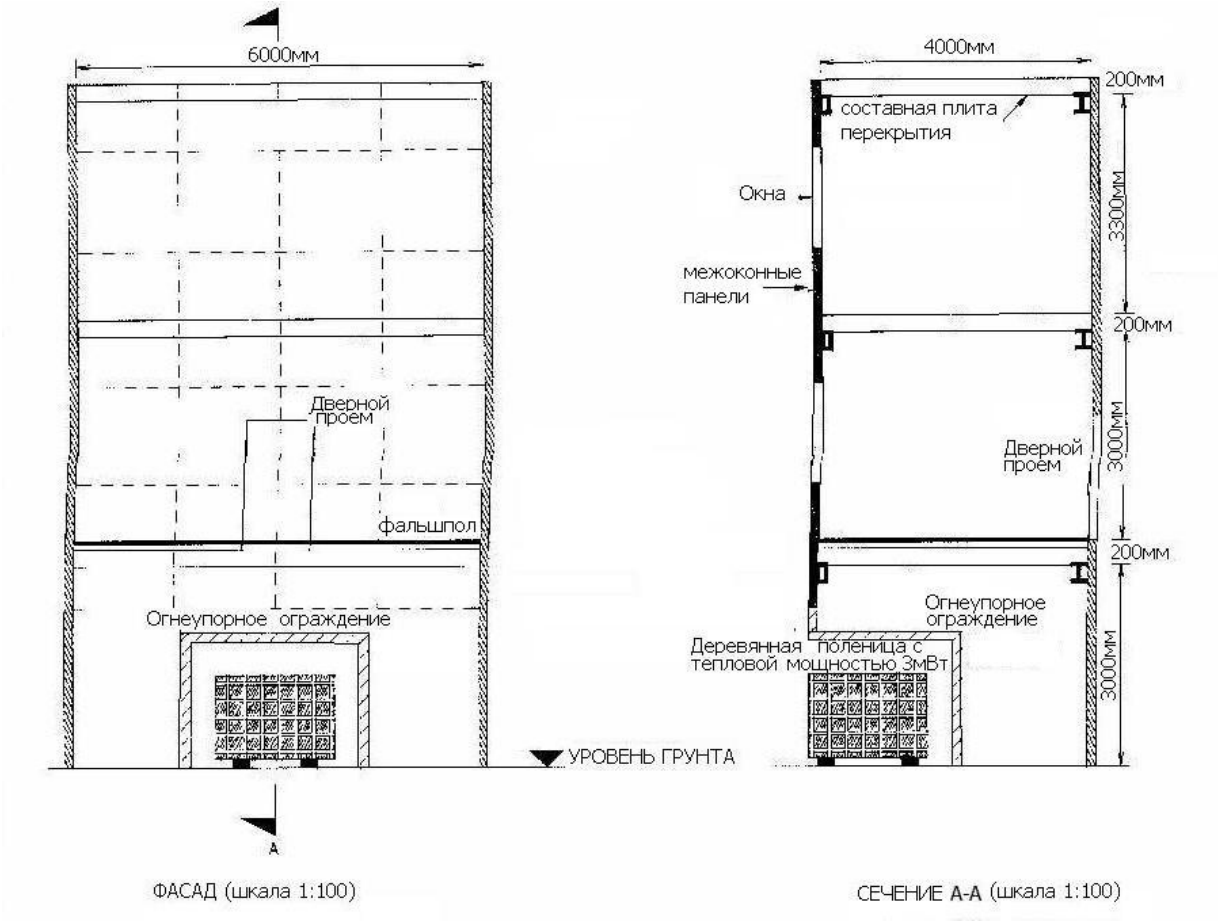


Рис. 53 Расположение рамной конструкции, фасада и поленицы для испытания №18

Оборудование (испытание 17, 18)

Оборудование для данных испытаний отличалось тем, что деревянная поленица с мощностью тепловыделения в 3 мВт была установлена на нижнем этаже (рис. 53). Для того чтобы смоделировать механизм обратной связи стен помещения, вокруг поленицы было построено помещение, огороженное огнеупорными панелями. Передняя часть помещения была оставлена открытой для доступа воздуха и расположена вровень с фасадом, чтоб пламя могло набрасываться на наружную сторону навесного фасада. Испытание 17 было показательным, чтобы дать представление об ожидаемой высоте пламени при данной расстановке. В данном случае навесной фасад состоял из огнеупорных панелей. Зафиксированная высота пламени превосходила 2.5 метра. На лицевой стороне здания был установлен остекленный навесной фасад с окнами и межоконными панелями. Термопары были размещены на разной высоте в предполагаемой зоне факела пламени для фиксирования температурных показателей горячего газа. В помещении на первом этаже напротив окна были установлены предметы мебели в виде двух деревянных столов. Этажом выше были расположены дополнительные предметы мебели, стопки бумаг и отдельные листы бумаги с целью оценить возможность перебрасывания огня на два этажа вверх.

Наблюдения и результаты (испытание 17, 18)

Стекло межоконных панелей, расположенных непосредственно над огнем, начало трескаться в течение первых 2 минут после загорания и разрушилось в течение 6 минут. Это позволило пламени проникнуть на первый этаж и немедленно охватить деревянные столы. Обе центральные оконные панели на этом этаже разрушились приблизительно на 8.5 минуте под воздействием нагревания с обеих сторон. На 10.5 минуте произошло разрушение одной из центральных верхних межоконных панелей. Пламя достигло этого уровня с помощью горящих столов на первом этаже, но ни один из воспламеняемых предметов, расположенных на втором этаже, не загорелся. На рис. 54 показана разница температур на разной высоте, зафиксированная термопарами, расположенными вблизи, но вне зоны факела горячих газов. На нем показан быстрый рост температур до максимальной интенсивности тепловыделения в течение 10 минут, с последующим постепенным угасанием на протяжении полу часа. На максимальное значение совпало с главным этапом наблюдения испытания. Снижение температуры с приблизительно 800ºС до 400ºС на этапе максимальной интенсивности горения наблюдалось в показателях всех термопар. Показатели температур верхней части поленицы были ниже, поскольку термопара находилась в основании факела пламени, где температура горения ниже и вовлекается большое количество воздуха.

Смещения рамной конструкции (рис. 55) было аналогично предыдущим испытаниям, но в данном случае центральный вертикальный импост первоначально смещался в направлении от помещения, поскольку пожар

протекал снаружи помещения. Смещение достигло максимального значения на приблизительно 4,5 минуте, затем направление изгиба изменилось в обратную сторону, что привело к значительному смешению в направлении помещения. Приблизительно на 10 минуте произошел сбой измерительного датчика смещения под воздействием высоких температур, прервавший дальнейшие изменения.

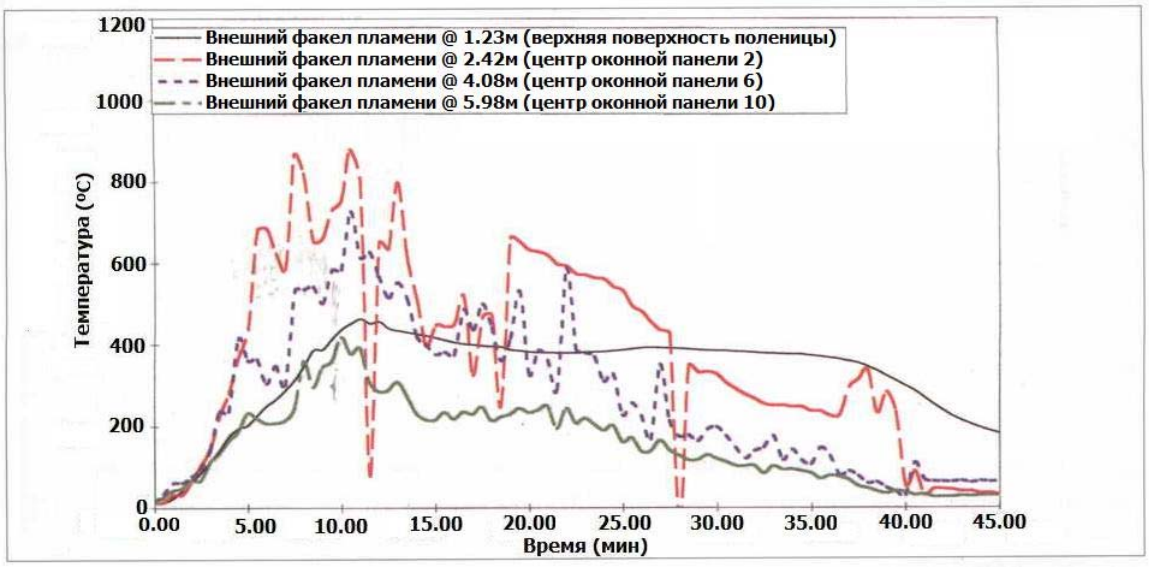


Рис. 54 Колебания температур с высотой примыкающей к факелу пламени

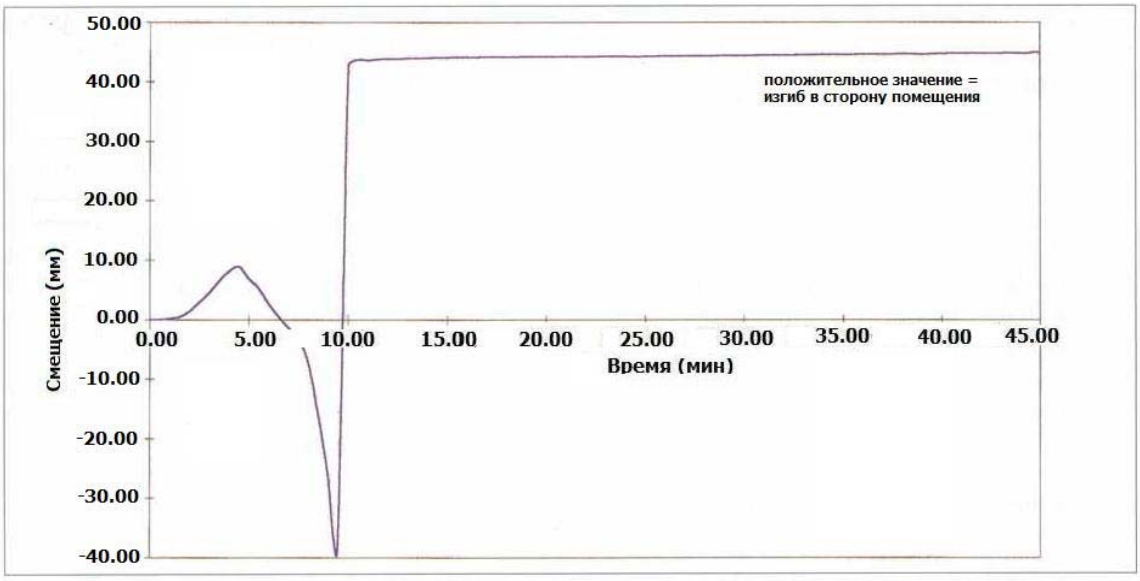


Рис. 55 Смещение центра вертикального импоста (испытание №18)

Данные термопары, фиксировавшей температуры горячих газов в помещении первого этажа приведены на рис. 56. В течение первых 6 минут в помещении сохранялась низкая температура, поскольку оно было эффективно изолировано от пожара. После разрушения двух нижних межоконных панелей пламя проникло внутрь помещения, что сопровождалось внезапным и значительным ростом температур, зафиксированным всеми датчиками в помещении. При максимальных температурных значениях, равных примерно 800°C, при которых воспламеняются горючие материалы в помещении, рабочие столы, расположенные напротив фасада, начали гореть. Между 8.5 и 10.5 минутой обрушились центральные пары окон и межоконных панелей, что вызвало охлаждение помещения первого этажа благодаря выветриванию горячих газов, и привело к снижению температур. Последующее падение контрольно-измерительного оборудования в очаг поленицы или вблизи от него вызвало увеличение температуры.

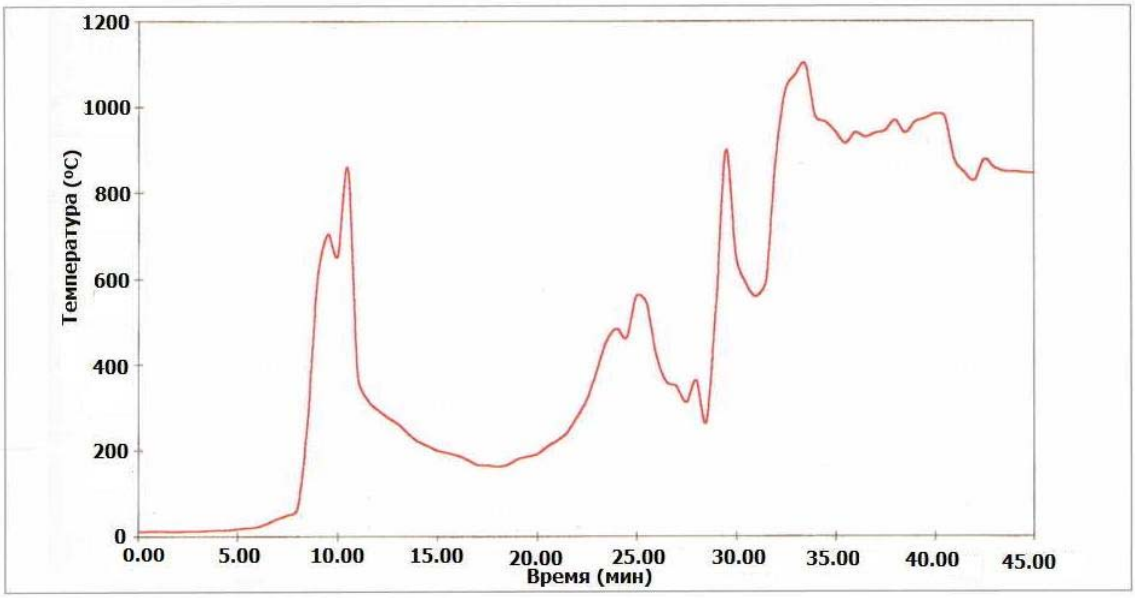


Рис. 56 Кривая термопары в помещении, высота h=0.5 м (испытание №18)

Обсуждение

Результаты испытания 16 представляли собой преимущественно теоретический интерес в отношении факторов, регулирующих форму и размеры факелов пламени. Испытание 18 (испытание 17 имело характер «пробного») подтвердило способность пожара напрямую проникать на вышерасположенные этажи посредством межоконных панелей и вызывать вторичное возгорание горючих материалов. В данном конкретном случае предметы мебели были расположены только вблизи от фасада для наглядности испытания, однако если предположить, что все помещение было обставлено мебелью, аналогично испытанию 12, тогда можно было ожидать пожара эквивалентной силы, который распространился бы вверх по зданию. Теплота, скопившаяся в помещении первого этажа, преимущественно вырабатывалась поленицей и, следовательно, дальнейшие разрушения оконных и верхних межоконных панелей способствовали эффективному охлаждению помещения. Этого явления можно было избежать, если бы в помещении находилось достаточно горючих материалов для поддержания независимого пожара высокой мощности.

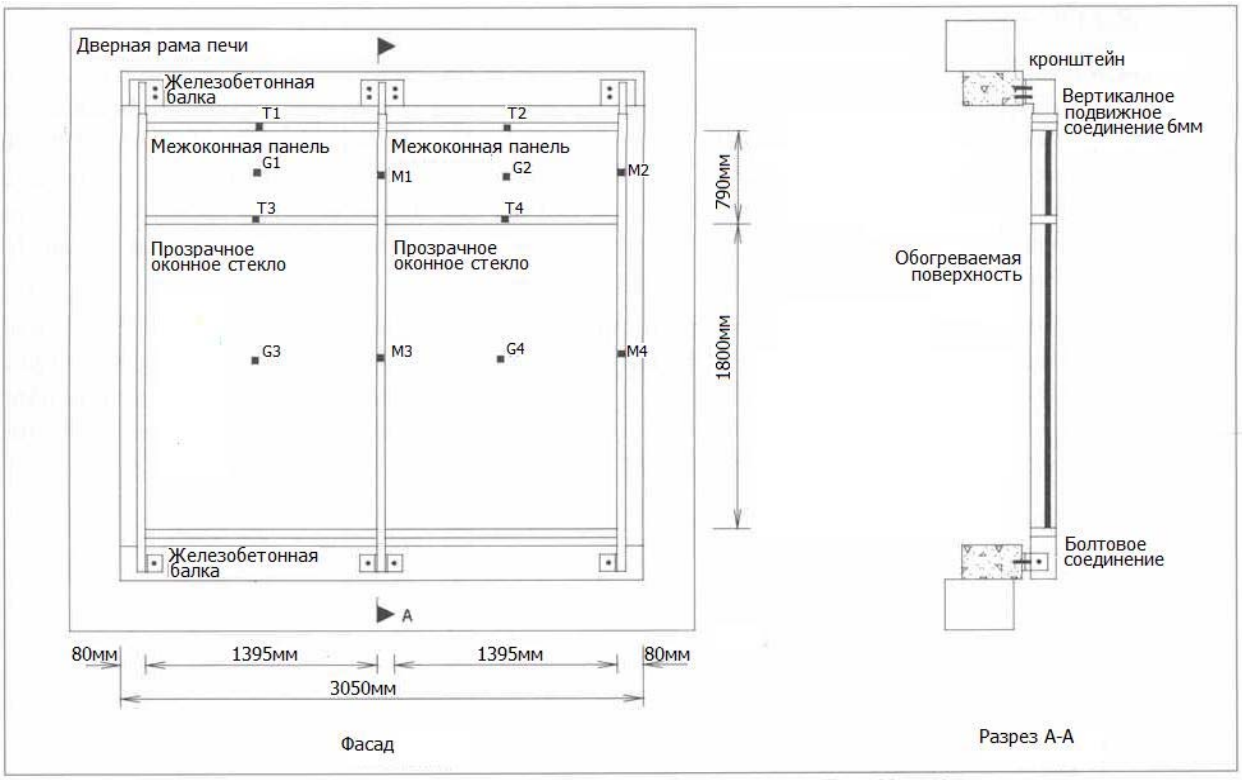


Рис. 57 Оборудование для «стандартного» испытания с печью (испытание №19)

Несомненно, применение межоконных панелей без огнезащитного покрытия позволили пожару распространиться в помещении на первом этаже на раннем этапе. Если бы межоконные панели имели огнезащитное покрытие, первыми элементами в очереди на разрушение оказались бы окна на уровне первого этажа. В этом случае распространение огня и возможные повреждения были бы предотвращены. Разрушение межоконных панелей на раннем этапе испытания рассматривается как критический момент для распространения пожара в программе испытаний.

Испытание 19: «Стандартное» испытание печью

Оборудование

Остекленные навесные фасадные системы прошли ряд испытаний по некоторым возможным пожарным сценариям в помещении. Однако если бы потребовались данные об огнестойкости внешней оболочки здания, испытания фасада проходили бы в сравнении со «стандартной» кривой пожара, подобно другим элементам конструкции. Кроме того, это могло бы предоставить дополнительные данные о том, насколько действенным является «стандартное» пожарное испытание в сравнении с натурным поведением. В связи с этим, была спроектирована и установлена показательная система на настенной печи и испытуемая в соответствии со «стандартной» кривой пожара.

Установка представлена на рис. 57. Конфигурация рамной конструкции была задана таким образом, чтобы покрывать как можно больше площади обогреваемой поверхности печи (3 м²). Рамная конструкция включает два полномасштабных оконных отверстия и два небольших межоконных отверстия, относящихся к участку фасада, расположенному ниже уровня потолка. Элементы остекления, как и раньше, состояли из листового полированного стекла с двойным остеклением для окон и упрочненного стекла с двойным остеклением для межоконных панелей. Была установлена соответствующая рамная конструкция из вертикальных и горизонтальных импостов. Опорные вертикальные импосты крепились при помощи болтовых соединений в нижней части и муфтовых соединений в верхней части с зазором на расширение 5 мм и на сокращение 100 мм. Предел расширения был рассчитан согласно относительной высоте вертикальных импостов между испытательной установкой и печью. На необогреваемой стороне элементов рамной конструкции и остекления были установлены термопары для измерения уровней температур. Датчики смещения были установлены на центральном импосте для измерения осевого и бокового смещения, а также на правом краю вертикального импоста для измерения горизонтального смещения в плоскости фасада.

Наблюдения и результаты

Испытание началось с загорания рядов горелок по обе стороны настенной печи. Трещинообразование было замечено с первой минуты нагревания, но, несмотря на то, что левое внутреннее оконное стекло частично разрушилось на 5.5 минуте, наружное оконное стекло оставалось неповрежденным. Обе внутренние межоконные панели провалились в печь приблизительно на 6.5 минуте. Оконные панели продолжали разрушаться, но оставались на месте. Левая внешняя межоконная панель, в конце концов, разрушилась и выпала из рамной конструкции на 9.5 минуте, оставив отверстие, после чего горелки были немедленно выключены.

Зависимость измеренной температуры от времени была изображена на графике в сравнении со «стандартной» кривой. Температурная кривая соответствовала «стандартной» кривой нагревания до момента разрушения. Первые 10 минут нагревания в стандартной печи рассматриваются как переходный процесс. Большая часть теплопередачи осуществляется через конвекцию от пропановых горелок, в то время как тепловое излучение только начинает доминировать на более поздних этапах и при более высоких температурах, при которых выделение тепла от задней стены камеры становится значительным.

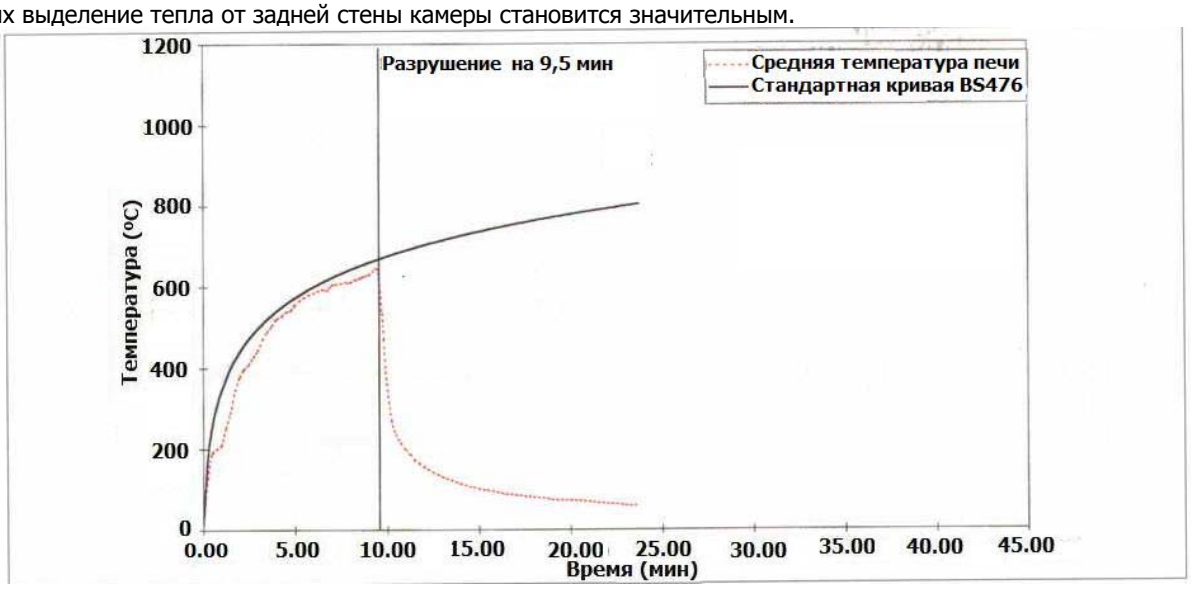


Рис. 58 Сопоставление кривой средней температуры печи и «стандартной» кривой (испытание №19)

После испытания был произведен сбор данных с целью обнаружения несоответствий с испытаниями в помещениях. Было замечено, что вертикальные и горизонтальные импосты (рис. 59 и 60 соответственно) демонстрировали практически линейные повышения температур до момента разрушения. В частности, нагревание вертикальных импостов было очень однородным по всей длине. Максимальная температура не превышала 300°C и, следовательно, повреждение алюминиевого сплава было минимальным по сравнению с испытаниями в помещениях.

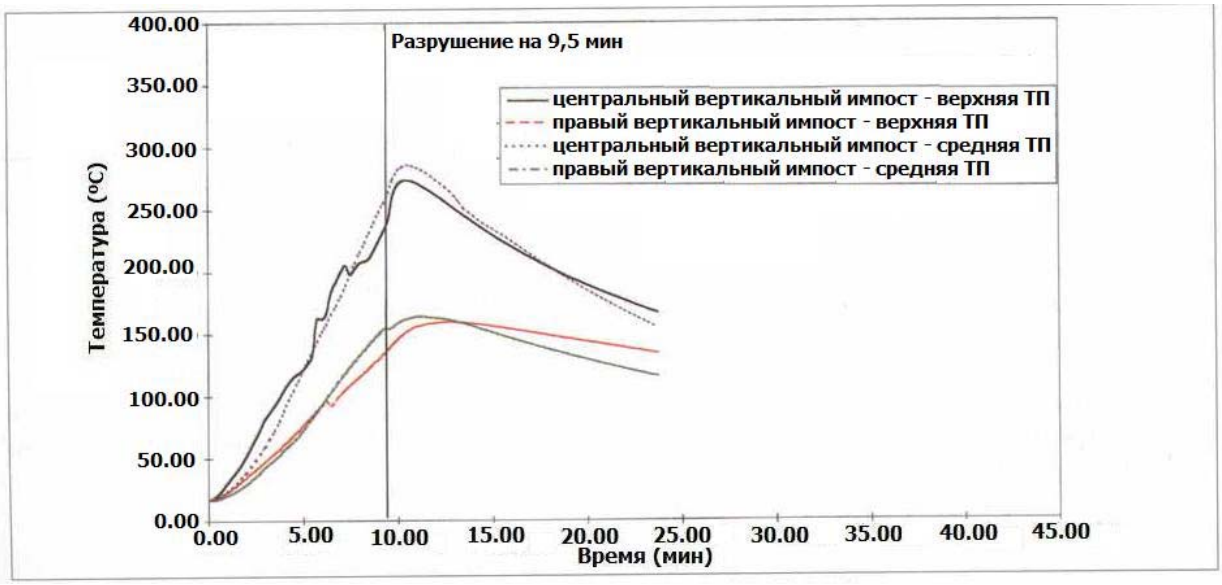


Рис. 59 Кривые температур вертикальных импостов (испытание №19)

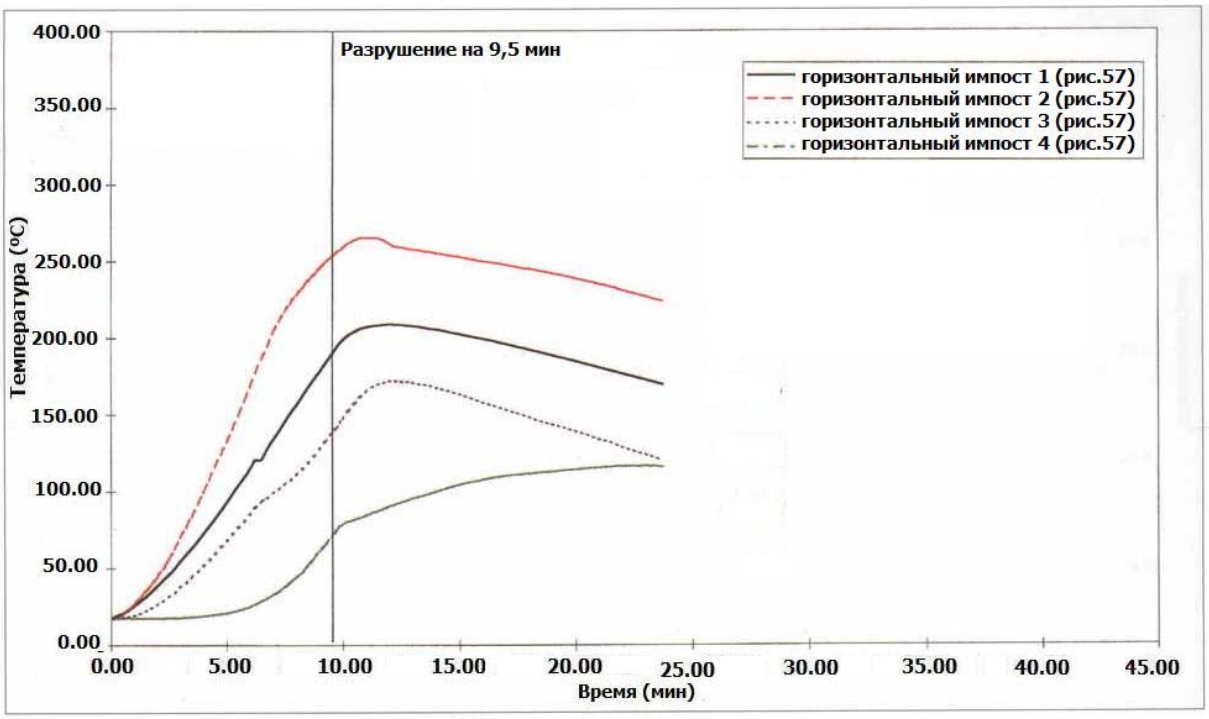


Рис. 60 Кривые температур горизонтальных импостов (испытание №19)

Поведение элементов остекления носило несколько отличительный характер. Значительного возрастания температур не наблюдалось в течение первых 6.5 минут нагревания, но после выпадения внутренних оконных стекол, температуры резко возросли до значения 275°C, при котором произошло разрушение. Затем последовало быстрое снижение температур.

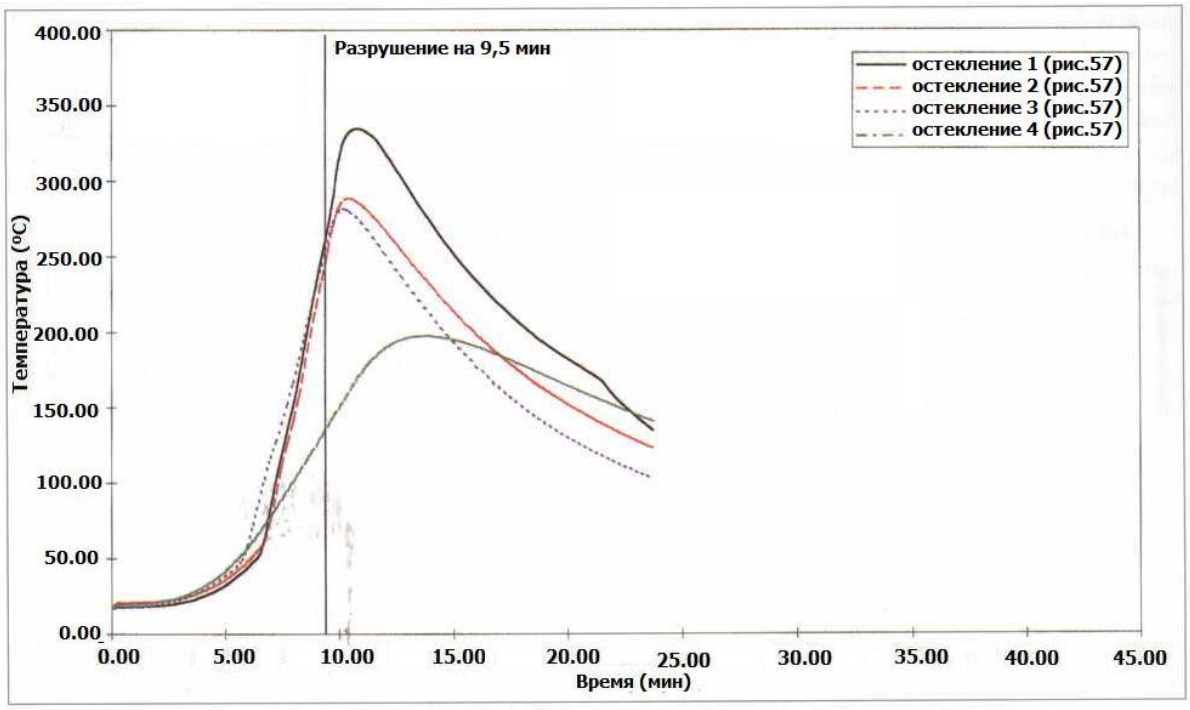


Рис. 61 Кривые температур элементов остекления (испытание №19)

Характер бокового смещения центрального вертикального импоста (рис. 62) первоначально был аналогичен поведению вертикальных импостов в предыдущих испытаниях в помещении. Температурный градиент вызвал смешение вертикального импоста в направлении печи. После разрушения межоконной панели и отключения горелок последовало выравнивание температурного градиента, и элемент вернулся в исходную форму. Поскольку дальнейшего нагревания и снижения прочности материалов не происходило, смещение не стало причиной повреждений, как в случаях с предыдущими испытаниями.

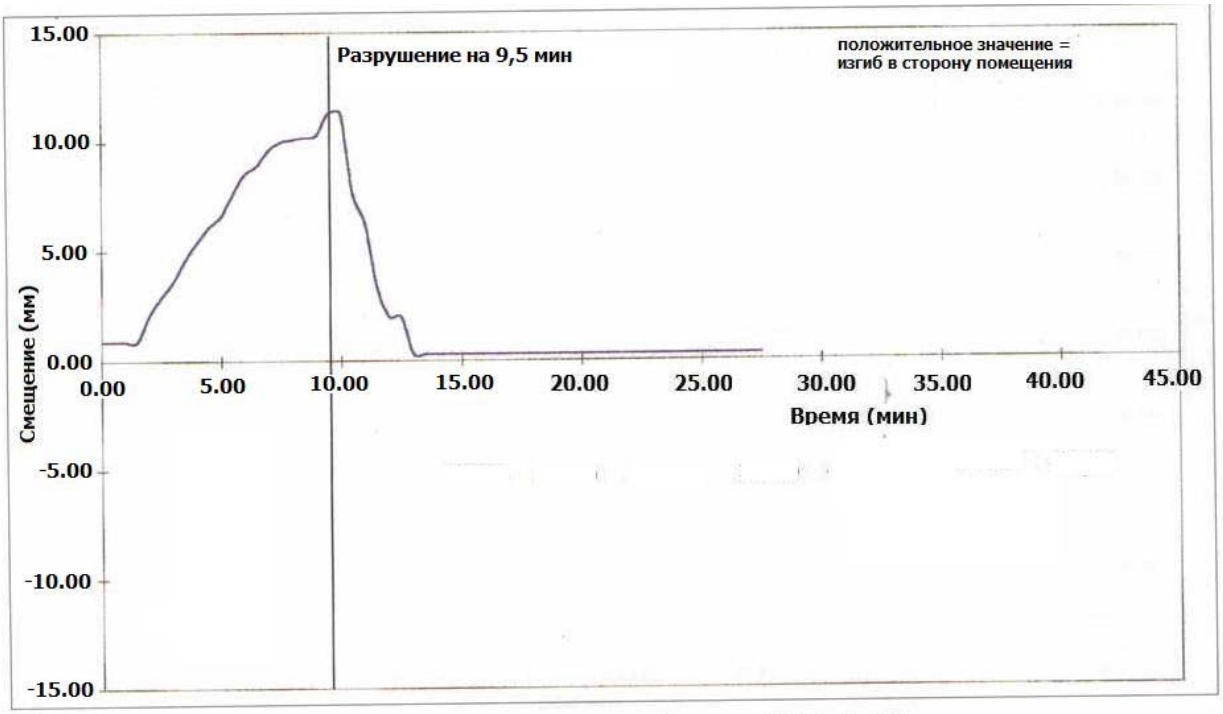


Рис. 62 Боковое смещение вертикального импоста (испытание №19)

График осевой деформации (рис. 63) демонстрирует первоначальное нисходящее смещение, связанное с движением вертикального импоста по направлению к печи, однако после этого указывает на устойчивое расширение, которое соответствовало значениям, вычисленным при помощи коэффициента линейного расширения для алюминиевого сплава.

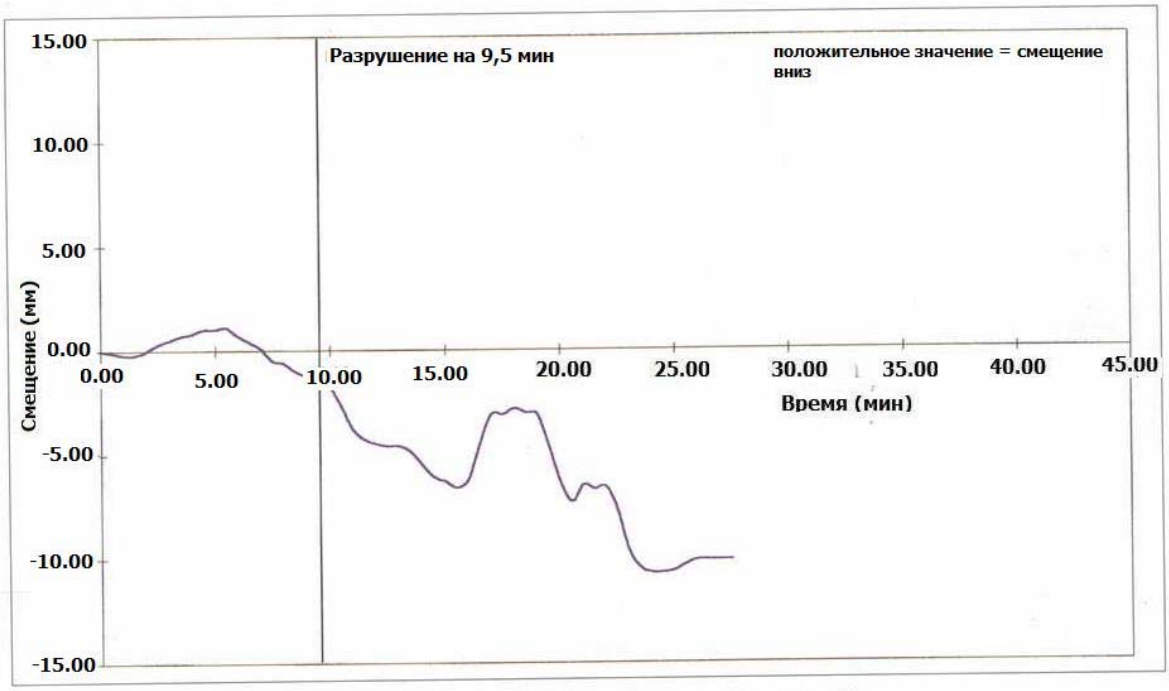


Рис. 63 Осевое смещение вертикального импоста (испытание №19)

Смещение правого вертикального импоста в плоскости фасада (рис. 64) демонстрировало значительное движение в направлении от центра, обусловленное расширением горизонтальных импостов, эффективно вытеснявших крайний данный элемент рамной конструкции.

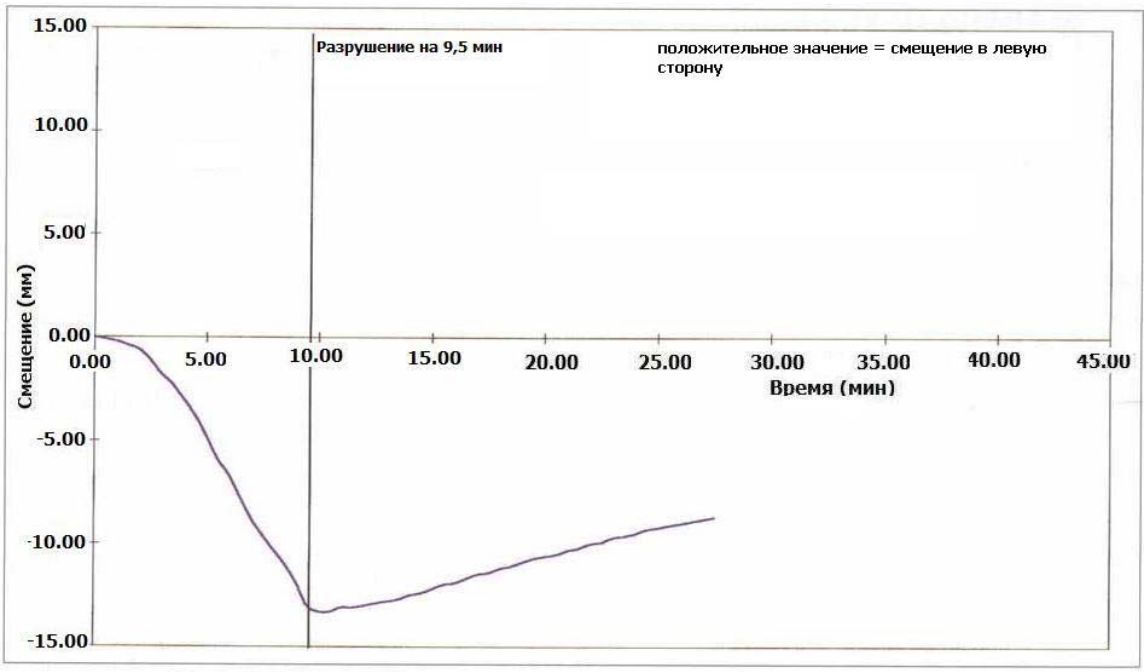


Рис. 64 Смещение крайнего вертикального импоста в плоскости фасада (испытание №19)

Обсуждение

«Стандартное» испытание на огнестойкость предоставило метод анализа некоторых аспектов поведения навесных фасадов при пожаре. Однако нагревание печи регулировалось конвекцией горячих газов с минимальным потоком излучения через элементы остекления и при регулируемом давлении, в то время как испытания в помещении предполагали значительную долю потока излучения от источника тепла и конвективные потоки от факела пламени, а также высокую плотность задымления. Тем не менее, при сравнивании с результатами испытаний в противопожарном помещении, «стандартное» время до разрушения общей системы было схожим, даже при использовании различных экспериментальных конфигураций. В испытаниях с помещениями давление не регулировалось и действовало выталкивающим усилием на элементы остекления, обеспечивая приток воздуха к пожару. В испытании с печью элементы остекления разрушились, но оставались на месте. В

испытании с печью разрушение одного элемента остекления привело к завершению испытания, в то время как в испытаниях с помещениями разрушение приводило к увеличению развития пожара, грозившему распространиться на вышележащие этажи.

Следовательно, «стандартные» испытания могут применяться с целью оценки поведения и определения времени до первого разрушения элементов остекления или рамной конструкции, но не для демонстрации последствий, которые они могут иметь на скорость развития пожара и вероятность распространения огня на вышележащие этажи.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ

В Таблице 1 приведены результаты испытаний в виде краткого описания, времени до разрушения и комментария к типам разрушения.

Таблица 1. Результаты программы испытаний многоэтажных зданий

№ Испытания	Описание	Время до разрушения (с момента возгорания)	Комментарий
1-6	Калибровка поленицы	-	Возникновение очага пламени у задней двери через 8 минут.
7	Испытание тяжелой рамной конструкции (поленица)	28.0 мин	Разрушение рамной конструкции, вызванное смещением огнеупорных панелей.
8	Испытание легкой рамной конструкции (поленица)	23.0 мин	Разрушение рамной конструкции, вызванное смещением огнеупорных панелей.
9	Испытание алюминиевых кронштейнов (поленица)	29.0 мин	Смещение панелей играло более значительную роль, чем разрушение кронштейнов.
10	Тяжелая рамная конструкция с фасадом (поленица)	11.5 мин	Обрушение элементов остекления. Последующая вспышка пламени вызвала прогрессирующее разрушение фасада.
11	Легкая рамная конструкция с фасадом (поленица)	13.0 мин	Обрушение элементов остекления. Последующая вспышка пламени вызвала прогрессирующее разрушение фасада.
12	Легкая рамная конструкция с фасадом (мебель)	5.0 мин	Разрушение элементов остекления. Последующая вспышка пламени вызвала прогрессирующее разрушение фасада.
13	Применение спринклерных систем для воздействия на горячие газы (поленица)	Разрушения не произошло	Подавление температур
14	Орошение панелей остекления с внутренней стороны (поленица)	32.0 мин	Смещение остекления без прогрессирующего разрушения фасада.
15	Орошение панелей остекления с внешней стороны (поленица)	32.0 мин	Смещение остекления без прогрессирующего разрушения фасада.
16	Распространение пламени с 1 этажа	10.0 мин	Подготовленное разрушение при помощи съемной панели
17	Распространение пламени с нижнего этажа №1 (поленица)	-	Показательное
18	Распространение пламени с нижнего этажа №2 (поленица)	6.0 мин	Проникновение пожара
19	«Стандартное» испытание в печи (газового отопления)	9.5 мин	Разрушение элемента остекления.

Ряд испытаний, проведенных на навесных фасадных системах, позволил выявить недостатки прочности свойственные этому виду конструкций и их неспособность противостоять распространению пожара на вышележащие этажи здания. Однако в ходе программы испытаний также были выявлены методы, при помощи которых можно предотвратить большие убытки.

- В здании, не оснащенном спринклерными системами, вероятность распространения пожара по высоте здания крайне высока. Особенно это относится к зданиям, оснащенным обширными остекленными фасадами или неогнестойкими легковесными материалами. Таким образом, традиционное предположение, заключающееся в том, что пожар охватывает только один или два этажа, должно быть пересмотрено с учетом параметров здания.

- Алюминиевые кронштейны, используемые для крепления рамной конструкции, значительно деформировались под воздействием нагрузки и температурного расширения и подвергались разрушению вытягивающим усилием. В случаях, когда происходило разрушение отдельных кронштейнов, нагрузка перемещалась на другие опорные элементы, что помогло избежать катастрофического обрушения. Важно отметить, что столь существенные элементы в цепи нагрузки, как правило, поставляются отдельно от навесной фасадной системы и, следовательно, не подлежат техническому контролю. Причиной ослабления некоторых кронштейнов послужила дефектная сварка. В целом же, крепежные элементы выдержали нагрузку на протяжении пожара в помещении.

- Элементы остекления, состоявшие из стандартного листового полированного стекла, безусловно, являлись наиболее слабыми элементами навесной фасадной системы и вызывали значительный ущерб вследствие преждевременного разрушения (на 11.5 и 13 минутах в испытаниях с поленицей), и сопутствующего ему образования вспышек пламени и обратной тяги. Вторичным результатом этого явления было пламя, набрасывавшееся на здание с внешней стороны и врывавшееся на вышерасположенные этажи. Использование упрочненного стекла в качестве межоконных панелей не дало значительных преимуществ. Фактически, межоконные панели из стекла уже рассматривались как недостаток прочности системы. Возможным решением остается остекление из огнеупорного стекла, ограниченное лишь вопросом стоимости.

- Применение натуральной мебели способствовало более стремительному росту пожара и вспыхиванию всего помещения. Время до первого разрушения элементов остекления, составлявшее всего 5 мин, вызвало особую тревогу. Определяющими факторами при оценке размеров убытков послужат детальная характеристика отклика на пожар и последующей мобилизации ресурсов пожарной команды.

- Применение различных конфигураций спринклерных систем значительно облегчило задачу. Независимо от того, что спринклерная система не оказывала прямого воздействия на источник пожара, стандартное распыление воды внутри помещения способствовало охлаждению горячих газов, что предотвратило проникновение огня через противопожарный материал, разрушение элементов остекления и последующее распространение пожара по внешней поверхности навесного фасада, а также смещение элементов рамной конструкции и элементов крепления. Оросители, применявшиеся с внутренней или с наружной стороны окон навесных фасадов, эффективно защищали элементы двойного остекления от разрушения до тех пор, пока не миновала основная угроза пожара, но не смогли предотвратить формирование слоя горячих газов в припотолочном пространстве и вероятность проникновения этих газов через зазоры в противопожарном материале.

- В «стандартных» испытаниях на огнестойкость производилось адекватное моделирование таких аспектов поведения навесных фасадов, как время до первого разрушения или смещение рамной конструкции, но не рассматривались пагубные последствия этих разрушений, вызывающие рост пожара.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была проведена серия всесторонних испытаний для оценки вероятности распространения пожара и соответствующих повреждений в многоэтажных зданиях с навесными фасадами. Также были рассмотрены средства снижения убытков от пожара.

Приводятся следующие выводы для оценки максимальных убытков для сценариев пожаров в многоэтажных зданиях:

- Прогрессирующее распространение пожара на верхние этажи в здании, не оснащенном спринклерной системой, при неблагоприятных условиях внешней среды, имеет высокую степень вероятности. Следовательно, традиционное предположение, заключающееся в том, что при пожаре могут быть потеряны только один или два этажа, должно быть пересмотрено с учетом параметров здания.
- Наличие правильно установленного противопожарного материала в пространстве между перекрытием и оболочкой здания является необходимым условием. В случае отсутствия противопожарного материала, пожар распространится вертикально по фасаду здания путем проникновения горячих газов через перекрытия в течение 5 минут независимо от типа навесного фасада, что увеличит ущерб от пожара в несколько раз.
- Составные элементы навесной фасадной системы, такие как горизонтальные и вертикальные импосты и соединительные кронштейны терпят значительный ущерб под воздействием пожара в условиях высоких температур. Деформация в данном случае играет более значительную роль, чем разрушение, поскольку деформация происходит намного раньше и создает отверстия в огнеупорном волокне, позволяя пожару распространяться на вышерасположенный этаж посредством горячих газов, как в случае описанном выше.
- В системах с двойным остеклением из полированного листового стекла разрушение происходит в течение 5-13 минут. Будет ли ущерб от пожара ограничен одним этажом, будет зависеть от реагирования пожарной команды.
- В случае, когда для вертикального разделения окон используются межоконные панели из упрочненного стекла, возгорание на вышерасположенном этаже может произойти в течение нескольких минут после первого разрушения элементов остекления на этаже возгорания. Данная особенность должна расцениваться как неблагоприятное условие при оценке убытков.
- Спринклерные системы, используемые для охлаждения пожарных газов или для орошения окон (изнутри или снаружи), препятствовали разрушению элементов остекления на протяжении горения поленицы, что ограничило ущерб от пожара только одним этажом, на котором произошло загорание. В случаях, когда используются спринклерные системы, могут ожидаться малые убытки от пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] EN 1991-1-2:2002. «Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-2: Общие воздействия. Воздействия на подвергающиеся пожару конструкции»
EN 1991-1-2:2002. Eurocode 1. Actions on structures. Part 1-2: General actions. Actions on structures exposed to fire

[2] LPR-11:1999. «Распространение огня в многоэтажных зданиях с остекленными навесными фасадами»
LPR-11:1999. Fire spread in multi-storey buildings with glazed curtain wall facades

[3] NFPA 72:1999. «Национальные нормы по пожарной сигнализации»
NFPA 72:1999. National Fire Alarm Code

[4] NFPA 92B:2000. «Руководство по системам противодымной защиты атриумов, торговых центров и больших помещений»
NFPA 92B:2000. Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria and Large Areas.

[5] Бученен Э. «Противопожарное проектирование конструкций», 2002 год
Buchanan A. Structural Design for Fire Safety, 2002

[6] «Международное руководство по противопожарной защите», 2005 год
International Fire Engineering Guidelines, 2005

[7] Эванс Д., Клоут Дж. «Требования к противодымной защите в Международных строительных нормах 2003 года», 2005 год
Evans D. and Klote J. Smoke control provisions of the 2003 IBC, 2005