

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ**

### **БЕЗОПАСНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

УДК 614.8:[624+699.8]

**М. М. Казиев**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры  
пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России

**А. В. Подгрушный**

кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры  
пожарной тактики и службы Академии ГПС МЧС России

**А. В. Дудунов**

адъюнкт Академии ГПС МЧС России

**M. Kaziev, A. Podgrushnyj, A. Dudunov**

#### **РАЗРУШЕНИЕ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА**

В статье приводятся предпосылки существующих методик прогнозирования разрушения остекления окон при пожаре. Представлены результаты испытания листового стекла различной толщины с краями, закрытыми рамой, а также экспериментальные значения предела прочности листового стекла при стандартном температурном режиме пожара.

Ключевые слова: пожароустойчивость, фактор масштабности, малая огневая печь, огнестойкость, целостность, объемное воспламенение.

#### **A PANE OF GLASS DESTRUCTION UNDER THERMAL INFLUENCE IN THE CONDITIONS OF A FIRE**

Theoretical prerequisites of existing methods of a pane of glass destruction prediction in the conditions of a fire are presented. Results of a various thickness sheet glass test with edges closed by a window-frame and experimental values of endurance limit under standard fire conditions are presented.

Keywords: fire stability, scale factor, small furnace of fire effect, fire endurance, integrity, flash-over.

Пожароустойчивость оконного остекления, т. е. способность противостоять растрескиванию и обрушению, является важным фактором, влияющим на динамику развития пожара и его тушения. Это связано с тем, что при разрушении остеклений происходит резкий приток воздуха в зону горения и пожар начинает интенсивно развиваться с выделением большого количества тепла, дыма и токсичных продуктов горения. При внезапном вскрытии оконного остекления в помещении, как правило, происходит объемное воспламенение (объемная вспышка), при которой пожар мгновенно охватывает всё помещение, и быстрое выгорание всей пожарной нагрузки. Очевидно, что повышение пожароустойчивости оконного остекления позволит значительно замедлить интенсивность развития пожара и повысить безопасность людей в здании. Для достижения этой цели требуется решить две взаимосвязанные задачи: первая – изучение поведения стекла в условиях пожара и разработка методики прогнозирования его разрушения. И вторая, наиболее сложная задача, это обоснование необходимой и достаточной пожароустойчивости

остекления, основанной на обеспечении предельно допустимой степени риска, с точки зрения обеспечения безопасности людей, находящихся в здании, развития пожара и его тушения.

Разнообразие зданий по функциональному назначению, объёмно-планировочных и конструктивных решений обуславливает актуальность разработки научно-обоснованного метода определения необходимой и достаточной пожароустойчивости и, соответственно, требуемого предела огнестойкости стеклоконструкций [1].

Необходимая пожароустойчивость остекления в здании определяется требуемым уровнем безопасности людей и защиты материальных ценностей, а также температурным режимом пожара в помещении и фактическим временем прибытия пожарных подразделений. С этой точки зрения можно считать, что пожароустойчивость достаточная, если сохраняется целостность остекления до завершения эвакуации людей и начала активных действий пожарных подразделений по спасанию людей и тушению пожара.

Условие безопасности по аналогии с огнестойкостью можно записать в следующем виде:

$$P_{y(\phi)} \geq P_{y(\text{тр})}, \quad (1)$$

где  $P_{y(\phi)}$  – фактическая пожароустойчивость стеклоконструкции, определяемая временем от начала пожара до момента потери целостности, мин;

$P_{y(\text{тр})}$  – требуемая пожароустойчивость стеклоконструкции, определяемая необходимым временем эвакуации людей из здания и временем прибытия пожарных подразделений, мин.

Фактическая пожароустойчивость стеклоконструкций складывается из следующих элементов:

$$P_{y(\phi)} = \tau_{\text{раст}} + \tau_{\text{вс}}, \quad (2)$$

где  $P_{y(\phi)}$  – фактическая пожароустойчивость стеклоконструкций, мин;

$\tau_{\text{раст}}$  – время от начала пожара до растрескивания остекления, мин;

$\tau_{\text{вс}}$  – время выпадения фрагментов стекла из плоскости, мин.

В выражении (2) время выпадения стекла ( $\tau_{\text{вс}}$ ) зависит от многих факторов, различных по своей природе: это площадь стеклоконструкции, толщина стекла, качество самого стекла, условия закрепления стекла, ориентация в пространстве. Значительную роль могут играть также внешние факторы: ветровая нагрузка, разница температур внутри и снаружи помещения, попадания влаги на нагретую поверхность, динамические воздействия и др. Исходя из этого, точно спрогнозировать момент выпадения стекла достаточно сложно, поэтому значение  $\tau_{\text{вс}}$  можно определить по результатам экспериментальных исследований, приняв усредненную величину времени от начала растрескивания до начала обрушения, т. е. начала выпадения фрагментов стекла.

Проведенные нами экспериментальные исследования показали, что время начала растрескивания остекления ( $\tau_{\text{раст}}$ ) прежде всего зависит от предела прочности самого стекла и динамики нарастания внутренних напряжений, которые определяются режимом теплового воздействия и геометрическими размерами стекла (площадь и толщина) [9].

В настоящее время известны некоторые методики расчёта и прогнозирования разрушения остекления окон при пожаре. В 1994 г. А. А. Джоши и П. Дж. Пагни [5] предложили методику, основанную на учёте разности концентрации внутренних напряжений в плоскости и по краям (кромкам) листа, из-за разности температур между средней частью стекла и закрытыми рамой краями:

$$\alpha \Delta T = R / E, \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – критическая разница температуры между краями и центром стекла, °С;

$\alpha$  – коэффициент линейного теплового расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$E$  – модуль упругости, МПа.

Исследователем Скелли М. Дж. получены экспериментальные данные по разрушению стекла при нагреве [6]. Пожарной нагрузкой служила горючая жидкость в поддонах. Эксперименты показали, что зависимость (3) справедлива для расчёта теплового разрушения стекла.

В работе Б. Р. Куззилло и П. Дж. Пагни [7] предложен метод расчета пожаростойкости оконного остекления. В своей статье авторы описывают разрушение одинарного и двойного стекла и доказывают, что причиной разрушения стекла является механическое напряжение, которое возникает вследствие неравномерности прогрева стекла по площади и по толщине. В ходе эксперимента была рассмотрена схема прогрева стекла, где показано, что температура стекла быстрее повышается в середине окна, чем около рамы. Следовательно, центральная часть полотна стекла расширяется быстрее, чем более холодные края, защищенные рамой. Проведенные испытания [8] подтверждают, что первоначальное разрушение остекления окон при пожаре происходит на краях стекла. Стекло разрушается, когда средняя температура в центральной части  $T$ , достигает критической температуры:

$$T - T_i = f T_c, \quad (4)$$

где  $f$  – фактор масштабности,

$$f = 2[\tanh(s/L) + \ln(\cosh(H/L)/\cosh(s/L))]L / (s+H)]^{-1},$$

$s$  – часть стекла, закрытая рамой, мм,

$L$  – толщина стекла, мм,

$H$  – половина ширины окна, мм;

$$T_c = R/E\alpha;$$

$R$  – предел прочности стекла на растяжение, МПа,

$\alpha$  – коэффициент линейного теплового расширения,  $1/^\circ\text{C}$ ,

$E$  – модуль упругости, МПа;

$T_i$  – начальная температура,  $^\circ\text{C}$ .

Анализ рассмотренных методик показал следующее:

1. Фактор масштабности  $f$ , приведенный в методике [7], не в полной мере учитывает толщину стеклоконструкций, что в значительной степени влияет на время разрушения остекления. Об этом свидетельствуют полученные нами результаты испытаний на «малой огневой печи» [9].

2. Геометрические размеры остекления влияют на величину предела прочности и на время разрушения стекла при тепловом воздействии.

На основании проведенного анализа в выражение (4) следует добавить коэффициенты, учитывающие геометрические размеры стекла:

$$\Delta T = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{R}{\alpha \cdot E}, \quad (5)$$

где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий толщину стекла;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий площадь стекла.

Для прогнозирования времени разрушения оконного остекления и определения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  необходимо знать предел прочности стекла.

В своем исследовании авторы [11] задались целью определить предел прочности методом сгибания. Испытания проводились на 59 одинаковых образцах листового стекла небольшого размера. Результаты показали, что имеется большой разброс в значениях прочности почти идентичных образцов. Низший предел прочности составил 36,5 МПа, самый высокий – 128 МПа.

Как известно [4], прочность стекла зависит от температуры, поэтому полученные значения предела прочности без теплового воздействия на стекло нельзя использовать для определения огнестойкости оконного остекления. Для определения величины предела прочности листового стекла при тепловом воздействии в Академии ГПС МЧС России был проведен ряд испытаний обычного стекла различной толщины с краями, закрытыми рамой, на установке «малая огневая печь». В результате проведенных исследований установлена критическая разность температур между открытой и закрытой частями стекла относительно начала растрескивания.

Значение предела прочности для листового стекла различной толщины при температурном воздействии можно определить, пользуясь следующим выражением:

$$R = \alpha \cdot \Delta T \cdot E \quad (6)$$

Полученные значения критической разности температур обогреваемой и необогреваемой частей стекла различной толщины (4 мм – 34 °С, 5 мм – 71 °С, 6 мм – 115 °С), при модуле упругости  $E = 70\,000$  МПа и коэффициенте линейного теплового расширения  $\alpha = 85 \cdot 10^{-7}$  1/°С [2] позволили рассчитать пределы прочности листового стекла толщиной 4, 5, 6 мм (табл. 1).

**Значения пределов прочности листового стекла размером 370×270 мм при стандартном температурном воздействии**

Таблица 1

Толщина стекла, мм	4	5	6
Предел прочности, МПа	21	42	70

В соответствие с полученными значениями предела прочности по формуле (3) можно вычислить значения коэффициента  $K_1$  (табл. 2).

**Значения коэффициента  $K_1$ , учитывающего изменение предела прочности, от толщины стекла при стандартном температурном режиме**

Таблица 2

Толщина стекла, мм	4	5	6
Коэффициент $K_1$	0,47	0,93	1,55

В зависимости от толщины стекла полученные значения предела прочности  $R$  имеют разброс от 21 МПа до 70 МПа, поэтому  $R$  принимается средним и составляет 45 МПа [10].

В результате испытаний оконного остекления в испытательной лаборатории г. Ардатова Нижегородской области было установлено, что время разрушения первого остекления толщиной 4 мм, в среднем составляет 35 с.

В соответствие с полученными значениями построим график функции зависимости коэффициента  $K_1$  от толщины стекла  $K_1 = f(\delta)$ , где  $\delta$  – толщина стекла.

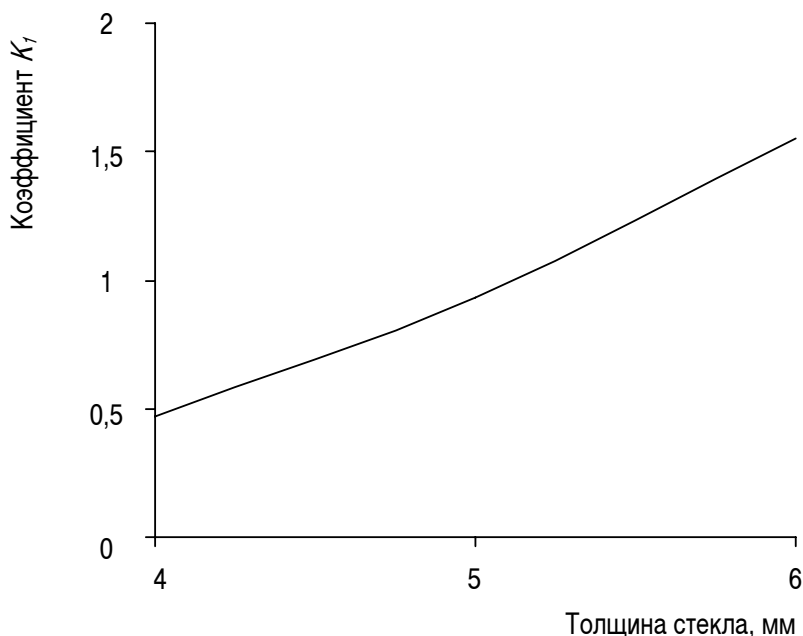


Рис. 1. График зависимости коэффициента  $K_1$ , учитывающего изменение предела прочности от толщины стекла при стандартном температурном режиме

Для определения функции зависимости коэффициента  $K_2$  от геометрических размеров (площади) листового стекла необходимо провести испытания реальных оконных стеклоконструкций.

### **Поведение стекла при попадании воды на нагретую поверхность**

Знание сценариев поведения нагретого при пожаре остекления в ограждающих строительных конструкциях в случае попадания на его поверхность воды, позволит разработать противопожарные требования к остеклению и витражам зданий и сооружений, а также выбрать тактику оперативно-тактических действий пожарных подразделений при тушении пожаров. Алгоритм поведения нагретых светопрозрачных конструкций при их орошении будет также диктовать меры безопасности для участников тушения пожара.

Испытания проводятся в условиях, приближенных к условиям эксплуатации остеклений и стеклоконструкций в зданиях и сооружениях.

Испытание образцов проводится на установке «малая огневая печь». Испытывались закаленные и сырые стекла. Орошение производилось с момента начала испытания, а также спустя некоторое время после начала испытания. Полученные результаты сравнивались с результатами испытаний тех же стекол без орошения.

Для орошения образцов водой была изготовлена медная трубка диаметром 6 мм и длиной 340 мм. На трубке сделано 18 отверстий диаметром 2 мм. Трубка устанавливается внутри печи ниже верхнего края рамки и прикрепляется к ней. Один конец трубки запаян, а другой выведен наружу из печи для присоединения к водопроводной сети гибким трубопроводом.

### **Выводы**

Проведенные исследования позволяют сделать некоторые выводы о поведении светопрозрачных конструкций при пожаре.

1. Для листового стекла толщиной 4, 5 и 6 мм и размерами 370×270 мм, значения коэффициента, учитывающего изменение предела прочности листового стекла при тепловом воздействии составляет, соответственно, 0,47; 0,93 и 1,55.

2. Время разрушения стекла на маломасштабной установке превышало время разрушения на установке с реальными конструкциями на 10–12 %.

3. Предел прочности стекла при изгибе в нормальных условиях [11] выше на 40 %, чем предел прочности стекла в раме, что вызвано разностью температур между открытой и закрытой частью стекла.

4. Орошение водой обычного и закаленного листового стекла при нагреве уменьшает их пожароустойчивость и фактический предел огнестойкости.

5. При испытании обычных стекол толщиной 4 и 5 мм разрушение происходило через 3 и 6 мин соответственно, а при испытании с орошением водой они разрушались через 1,2 и 1,5 мин (трескались уже на десятой секунде).

6. Закаленное стекло толщиной 5 мм при 30-минутном испытании не разрушилось, а при орошении водой разрушилось через 13 мин 20 с.

7. При попадании воды на поверхность со стороны прогрева закаленного стекла по истечении 15 мин от начала испытания (температура стекла составляла 313 °С) стекло разрушилось на первой секунде.

8. Чрезвычайно важным является владение информацией руководителем тушения пожара в здании с наличием светопрозрачных конструкций о свойствах и поведении этих конструкций при пожаре. Компетентность участников тушения пожара в зданиях с наличием светопрозрачных строительных конструкций об их поведении позволит принимать решения на пожаре, направленные на охрану труда ствольщиков, на управление газообменом. Для этого необходимо выработать алгоритм действий участников тушения пожара в зависимости от складывающейся оперативно-тактической обстановки в подобных зданиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казиев М. М.* Некоторые аспекты пожаробезопасного применения светопрозрачных строительных конструкций в зданиях и сооружениях // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 4. – С. 38–41.
2. *Клинд Л., Клейн В.* Стекло в строительстве. Свойства. Применение. Расчеты / Перевод с нем. П. И. Глазунова, Т. Ф. Гусевой, З. А. Липкинда / Под ред. И. П. Трохимовской, Ф. Л. Шехтера. – М.: Стройиздат, 1981. – 240 с.
3. *Христофоров А. И., Христофорова И. А.* Расчет физико-химических свойств стекол: Учебное пособие. – Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2004. – 59 с.
4. *Бондарев К. Т.* Стекло в строительстве. – Киев, 1969. – 193 с.
5. *Joshi A. A., Pagni P. J.* Fire-Induced thermal Fields in Window Glass. I. Theori // Fire Safety Journal, 1994. – P. 25–43.
6. *Skelly M. J., Roby R. J., Beyler C. L.* Window Breakage in Compartment Fires // Journal of Fire Protection Engineering. 1991. – P. 25.
7. *Cuzzillo B. R., Pagni P. J.* Thermal Breakage of Double-pane glazing by fire // Journal of Fire Protection Engineering, 1998. Vol. 9. – № 1. – P. 1–11.
8. *Shields T. J., Silcock G. W., Hassani S. K. S.* The Behavior of Double Glazing in an Enclosure Fire // Journal of Applied Fire Science. 1997–98. Vol. 7(3). – P. 267–286.
9. *Казиев М. М., Дудунов А. В.* Огнестойкие светопрозрачные конструкции // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 2. – С. 53–55.
10. *Подстригач Я. С., Осадчук В. А., Марголин А. М.* Остаточные напряжения, длительная прочность и надежность стеклоконструкций. – Киев: Наукова думка, 1991. – 292 с.
11. *Joshi A. A., Pagni P. J.* Fire-Induced Thermal Fields in Window Glass. II. Experiments // Fire Safety Journal, 1994. – P. 45–63.

УДК 614. 8:691(048)

### **Б. Б. Серков**

доктор технических наук, профессор, начальник учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России

### **А. Б. Сивенков**

кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС России,

### **Е. В. Сулейкин**

научный сотрудник научно-исследовательского отдела пожарной профилактики в строительстве и сертификации УНК ППБС Академии ГПС МЧС России

### **Н. И. Тарасов**

адъюнкт Академии ГПС МЧС России

**B. Serkov, A. Sivenkov, E. Sulejkin, N. Tarasov**

## **ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ДРЕВЕСИНЫ НА ОСОБЕННОСТИ ЕЕ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ**

В статье представлены результаты исследования влияния возраста лиственных и хвойных пород древесины на особенности и характер протекания процесса термоокислительной деструкции. Установлено, что изменение особенностей термоокислительного разложения древесины во многом связано с изменением ее химического и элементного состава во времени. Показано, что изменению вышеуказанных физико-химических параметров предшествуют различные условия и воздействия, которые сопровождают древесину во время ее эксплуатации.