

В. А. КОРАБЛЕВ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры физики, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49)

Д. А. МИНКИН, канд. техн. наук, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: mindim-spb@mail.ru)

А. В. ШАРКОВ, д-р техн. наук, профессор кафедры физики, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Россия, 197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49)

Н. Н. РОМАНОВ, канд. техн. наук, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

УДК 536.2

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ШТОРЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Приведен обзор вспучивающихся материалов, используемых в качестве огнезащитного покрытия. Предложены тепловая и математическая модели огнезащитной шторы. Проведен расчет теплового сопротивления трех вариантов конструкции штор и рассчитаны температуры на не обогреваемой стороне. Выработаны рекомендации по обеспечению высоких теплоизоляционных характеристик огнезащитных штор. Предложено использовать вспучивающееся покрытие, нанесенное на кремнеземное полотно штор.

Ключевые слова: тепловое сопротивление; тепловая изоляция; вспучивающийся материал; огнезащитная штора; тепловой режим.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.29-36

Введение

Современные производственные, офисные, торговые и складские помещения характеризуются большими объемами, разнородной пожарной нагрузкой (оборудование, вещества и материалы). Пожары в таких условиях могут носить катастрофический характер и сопровождаться большим материальным ущербом. Одним из способов снижения последнего является применение огнезащитных штор, выполненных из огнестойких текстильных материалов. До возникновения пожара шторы находятся в сложенном или скрученном виде в верхней части ворот, дверей или открытых проходов, а при угрозе распространения огня дистанционно или вручную опускаются, отсекая пути распространения пламени, дыма и раскаленных газов. Один из вариантов такой шторы показан на рис. 1.

Основные технические требования к конструкциям противопожарных штор и методам их испытаний приведены в ГОСТ Р 53307–2009, ГОСТ 30247.0–94 и ГОСТ Р 53305–2009.

Огнезащитные шторы представляют собой новый, активно развивающийся вид противопожарных преград, который позволяет решать все более сложные задачи пожарной безопасности. Одним из важных преимуществ противопожарных штор перед другими трансформируемыми конструкциями, на-

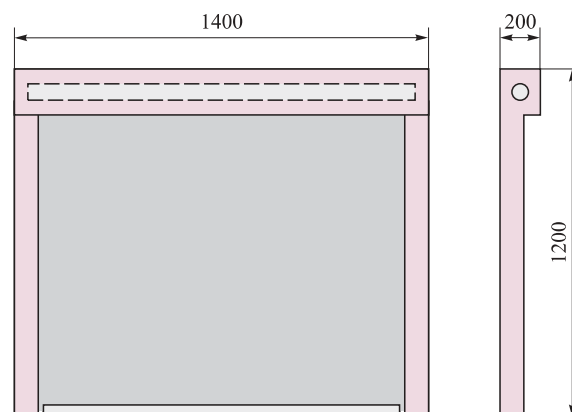


Рис. 1. Противопожарная штора в развернутом состоянии

пример противопожарными воротами или орошаемыми преградами, является возможность автономного использования их в автоматическом режиме без применения электроприводов и систем подачи воды. Кроме того, совершенствование конструкций штор позволило обеспечить их огнестойкость в диапазоне от EI 60 и до EI 180 [1–3].

Обзор современных противопожарных штор [1–4] показал, что одним из путей повышения огнестойкости их конструкции является применение воды как в пористой структуре многослойной шторы, так и для орошения нагреваемых поверхностей. Однако этот способ имеет ряд недостатков: материальный ущерб, наносимый распыляемой водой; конденсация испарившейся при пожаре влаги на открытых поверхностях кожи и лица человека, что приводит к серьезным термическим поражениям; необходимость организации системы подачи воды; увеличение массы и габаритов шторы; ограничения по условиям хранения штор с влагонаполненным пористым слоем; высокая стоимость конструкций.

Цели и задачи

Целью настоящей работы является разработка рекомендаций по созданию огнезащитной шторы, обладающей таким тепловым сопротивлением, которое позволит ей в стационарном режиме выдерживать высокоинтенсивное тепловое воздействие (пламени). Для этого необходимо решить следующие задачи:

- разработать тепловую модель шторы;
- рассмотреть механизмы теплопереноса;
- провести оценку тепловых характеристик шторы при изменении ее геометрических размеров, количества слоев, используемых материалов, температур воздействия, степени черноты полотна.

Материалы и методы

1. Для выполнения поставленной цели необходимо выбрать материал для полотна шторы, который должен сохранять механическую прочность в газовой среде с высоким содержанием кислорода и химически активных продуктов горения и не выделять вредных и горючих газов. Одним из перспективных материалов, удовлетворяющих этим требованиям, является ткань ВАТИ КТ-600 или КА-1100, изготовленная из кремнеземных волокон. Она способна выдерживать в течение длительного времени контакт с газом, раскаленным до температуры 1500 °С, без существенной потери прочности. С этой целью могут использоваться также: ткань из базальтового волокна, например ТБК-100, выдерживающая нагрев до 700 °С; арамидная ткань Style 200HF [5], выдерживающая длительное время нагрев до 250 °С и в течение короткого промежутка до 1000 °С; ткани

“Арселон” и “Кевлар”, сохраняющие целостность при температурах среды до 450 °С. Эти материалы различаются по физическим свойствам и стоимости. Выбор материала для изготовления шторы может быть сделан исходя из совокупности его характеристик.

Для уменьшения передачи теплоты излучением с поверхности ткани она может быть покрыта металлической фольгой, однако в условиях сильного задымления сажа, оседающая на ткани, существенно снижает экранирующий эффект, создаваемый металлизацией.

Для надежной защиты от воздействия высокой температуры газа и теплового излучения можно использовать термостойкие пористые материалы, однако штора, выполненная из них, будет иметь недопустимо большой объем в сложенном состоянии, поэтому альтернативой может быть применение вспучивающихся в результате сильного теплового воздействия материалов.

Промышленностью выпускается множество различных вспучивающихся покрытий, общей особенностью которых является многократное увеличение объема при достижении температуры вспучивания.

К наиболее распространенным можно отнести составы типа ВПМ-2 на основе смолы ММФ-50 и дициандиамида с различными добавками: аммофоса, фактора, мелема, асбеста со стекловолокном. Покрытие ВПМ-2 наносится на конструкции с целью повышения предела их огнестойкости.

В последнее время в составах типа ВПМ-2 используются терморасширяющиеся графиты, которые значительно улучшают теплозащитные свойства покрытий за счет увеличения кратности вспучивания. Их действие основано на способности увеличиваться в объеме при прокаливании в диапазоне температур 800–1100 К за счет термических изменений вспучивающегося материала и появления пузырей газа. В итоге существенно возрастает их пористость. Этот механизм аналогичен порообразованию в пеноматериалах, когда вспенивание достигается за счет газов, образующихся при разложении порообразователя.

К вспучивающимся огнезащитным материалам относятся также следующие составы: СГК-1, “Эндотерм” ХТ-1500, МПВО, ОСП-1, “Хенсотерм” 4КС, “Барриер 87”, “Файерфлекс” и др. [6–8]. При интенсивном тепловом воздействии их толщина может увеличиваться до 40 раз, при этом теплопроводность уменьшается в 4–6 раз.

Конструкция огнезащитной шторы включает полотно из огнеупорной ткани, покрытое слоем вспучивающегося материала толщиной 1 мм. При возникновении угрозы распространения пожара штора опускается. При интенсивном тепловом воздействии

вии толщина нанесенного на нее покрытия многократно возрастает, что позволяет надежно отсекают горячие газы и излучение.

Критерием эффективности огнезащитных свойств шторы служит значение температуры поверхности шторы со стороны, противоположной очагу пожара, при максимальной температуре в нем. Оно зависит от следующих параметров:

- температуры в очаге пожара;
- температуры в защищаемом помещении;
- теплового сопротивления шторы;
- интенсивности лучисто-конвективного теплообмена между шторой и средой со стороны пожара;
- интенсивности лучисто-конвективного теплообмена между шторой и средой в защищаемом помещении.

2. Необходимо разработать методику расчета, на основе которой можно оценить тепловые характеристики полотна при изменении его геометрических размеров, количества слоев, используемых материалов, температур воздействия, степени черноты полотна. По результатам расчета можно определить параметры элементов огнезащитной шторы, которые позволят обеспечить требуемые тепловые характеристики.

В настоящей работе рассматривается несколько вариантов исполнения шторы:

- 1) один слой текстильного полотна;
- 2) два слоя текстильного полотна, разделенные воздушной прослойкой;
- 3) текстильное полотно с нанесенным на него вспучивающимся материалом.

Обогреваемая поверхность огнезащитной шторы подвергается интенсивному тепловому воздействию. При этом тепловой поток от продуктов горения передается на поверхность шторы за счет теплового излучения и конвекции, в результате чего поверхность нагревается. Далее тепловой поток проходит через полотно шторы за счет теплопроводности и рассеивается в окружающей среде за счет конвекции и излучения, как показано на тепловой модели, представленной на рис. 2.

В случае исполнения шторы с воздушной прослойкой, разделяющей два текстильных слоя, передача тепла через прослойку осуществляется одновременно за счет кондукции, конвекции и излучения.

В качестве исходных данных для выполнения расчета принята температура продуктов горения $t_{\text{п}} = 1193^\circ\text{C}$ согласно требованиям по огнестойкости (EI). При этом расчетное значение температуры на необогреваемой стороне шторы не должно возрастать более чем на 180°C по отношению к начальной температуре и превышать 300°C . Таким образом, при окружающей температуре среды $t_0 = 20^\circ\text{C}$

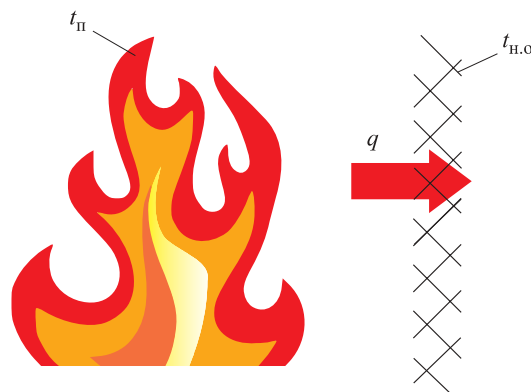


Рис. 2. Тепловая модель огнезащитной шторы: q — тепловой поток; $t_{\text{п}}$ — температура продуктов горения; $t_{\text{н.о}}$ — температура на необогреваемой поверхности шторы

температура на необогреваемой стороне должна быть $t_{\text{н.о}} \leq 200^\circ\text{C}$.

При выполнении теплового расчета шторы приняты следующие допущения:

- тепловой поток передается перпендикулярно плоскости шторы;
- отсутствуют притоки и стоки теплоты через торцы шторы;
- газ в прослойке шторы (для второго варианта исполнения) имеет свойства воздуха;
- тепловой режим стационарный.

Ключевым параметром в расчете шторы является ее тепловое сопротивление. Рассчитать температуру на необогреваемой стороне можно, предположив, что величина теплового потока, идущего через штору, одинакова на ее обеих поверхностях. В этом случае уравнение теплового баланса имеет вид:

$$q = (t_{\text{п}} - t_0) \left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + R_{\text{уд}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н.о}}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, проходящего через штору, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

t_0 — температура окружающей среды с необогреваемой стороны, $^\circ\text{C}$;

$R_{\text{уд}}$ — удельное тепловое сопротивление шторы, $\text{К}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$;

$\alpha_{\text{п}}, \alpha_{\text{н.о}}$ — коэффициенты теплоотдачи соответственно на обогреваемой и необогреваемой сторонах шторы, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$.

Величина суммарного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{п}}$ на обогреваемой поверхности за счет конвекции и излучения от греющей среды пожара зависит от множества факторов, в том числе от местоположения источника теплового воздействия, распределения температуры, концентраций и состава продуктов горения, их скорости движения вблизи рассматриваемой поверхности, и определяется по расчетным соотношениям, полученным на основе

экспериментальных исследований. Обзор литературных источников показал, что расчетные значения коэффициента теплоотдачи у разных авторов существенно расходятся между собой (более чем в два раза) [9–11].

В настоящей работе для определения коэффициента теплоотдачи на обогреваемой поверхности будет использоваться расчетное соотношение [11], которое получено для пожара в помещении и показывает хорошую сходимости с экспериментальными данными для случаев расположения факела пламени в непосредственной близости от нагреваемой поверхности:

$$\alpha_{\text{п}} = 0,135(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/3} \frac{\lambda}{L} + \frac{\varepsilon_{\text{о.п}} c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{о.п}}}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{п}} - T_{\text{о.п}}}, \quad (2)$$

где Gr — критерий Грасгофа;

$$\text{Gr} = \frac{g\beta L^3 (T_{\text{п}} - T_{\text{о.п}})}{\nu^2};$$

g — ускорение свободного падения;

β — коэффициент объемного расширения; $\beta = 1/[0,5(T_{\text{п}} + T_{\text{о.п}})]$, K^{-1} ;

$T_{\text{п}}$ — температура продуктов горения, K;

$T_{\text{о.п}}$ — температура на обогреваемой поверхности, K;

L — определяющий размер, м;

ν — кинематическая вязкость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$;

Pr — критерий Прандтля; $\text{Pr} = \nu/\alpha$;

α — температуропроводность воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$;

λ — теплопроводность воздуха, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$;

$\varepsilon_{\text{о.п}}$ — степень черноты обогреваемой поверхности;

c_0 — коэффициент излучения абсолютно черного тела; $c_0 = 5,67$.

Коэффициент теплоотдачи на необогреваемой поверхности $\alpha_{\text{н.о}}$ найдем из соотношения [10]:

$$\alpha_{\text{н.о}} = \frac{\text{Nu} \lambda}{l} + \frac{\varepsilon_{\text{н.о}} c_0 \left[\left(\frac{T_{\text{н.о}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{T_{\text{н.о}} - T_0}, \quad (3)$$

где Nu — критерий Нуссельта; $\text{Nu} = \alpha_{\text{н.о}} l/\lambda$;

l — определяющий размер, м;

$\varepsilon_{\text{н.о}}$ — степень черноты необогреваемой поверхности;

$T_{\text{н.о}}$, T_0 — температуры соответственно необогреваемой поверхности и среды, K.

Величина теплового сопротивления $R_{\text{уд}}$ зависит от конструкции шторы.

Для однослойной шторы $R_{\text{уд}}$ определяется теплопроводностью материала ткани $\lambda_{\text{тк}}$ ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$) и толщиной $\delta_{\text{тк}}$ (м) ее полотна:

$$R_{\text{уд}} = \delta_{\text{тк}}/\lambda_{\text{тк}}. \quad (4)$$

В настоящей работе рассматривается возможность использования для полотна шторы огнестойкого материала — кремнезема, обладающего высокой прочностью, температурой плавления 1500–1700 °C и теплопроводностью $\lambda_{\text{тк}} = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$. Готовое полотно шторы имеет толщину $\delta_{\text{тк}} = 3 \text{ мм}$ и удельное сопротивление $R_{\text{уд}} = 3,75 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}$.

Плотность теплового потока, проходящего через штору, рассчитанная по уравнению (1), с учетом (2) и (3) и найденного значения $R_{\text{уд}}$ составит $q = 21 \text{ кВт}/\text{м}^2$. Тогда температура на необогреваемой поверхности

$$t_{\text{н.о}} = t_{\text{п}} - q \left(\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + R_{\text{уд}} \right) = 1061 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При двухслойной конструкции шторы и расстоянии между слоями ткани более 1 см тепловое сопротивление $R_{\text{уд}}$ может быть оценено по формуле

$$R_{\text{уд}} = \left(\alpha_{\text{луч}} + \frac{\lambda_{\text{в}}}{\delta} \varepsilon_{\text{к}} \right)^{-1} + \frac{2\delta_{\text{тк}}}{\lambda_{\text{тк}}}, \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{луч}}$ — коэффициент теплообмена за счет теплового излучения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$;

$\lambda_{\text{в}}$ — теплопроводность воздуха, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$;

δ — расстояние между слоями ткани, м;

$\varepsilon_{\text{к}}$ — коэффициент конвективного теплообмена.

Величина $\alpha_{\text{луч}}$ может быть рассчитана по зависимости [6, 12]:

$$\alpha_{\text{луч}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot 5,67\varphi_{12} \left(\frac{\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4}{T_1 - T_2} \right), \quad (6)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенная степень черноты текстильного материала, складывающаяся из степени черноты 1-го (ε_1) и 2-го (ε_2) слоев;

$$\varepsilon_{\text{пр}} = (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)^{-1};$$

φ_{12} — коэффициент взаимного облучения;

T_1 , T_2 — температуры внутренних поверхностей двух текстильных полотен, образующих прослойку, K.

Коэффициент свободно-конвективного теплообмена в прослойке рассчитывается по соотношениям [13]:

$$\varepsilon_{\text{к}} = 1 \text{ при } \text{Gr} \cdot \text{Pr} < 1000;$$

$$\varepsilon_{\text{к}} = 0,18(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,25} \text{ при } \text{Gr} \cdot \text{Pr} \geq 1000.$$

Полотно каждого из двух слоев шторы имеет степень черноты $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9$, при этом приведенная степень черноты $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,81$. Коэффициент взаимного облучения находится для двух параллельных плас-

тин, находящихся на расстоянии 1 см друг от друга [12, 13]: $\phi_{12} = 0,97$. В рассматриваемом случае

$$R_{уд} = \left(400 + \frac{0,027}{1 \cdot 10^{-2}} \right)^{-1} + \frac{6 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$$

и плотность теплового потока, проходящего через штору, $q = 19 \text{ кВт/м}^2$. Тогда температура на необогреваемой поверхности

$$t_{н.о} = t_{п} - q \left(\frac{1}{\alpha_{п}} + R_{уд} \right) = 950 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Для третьего варианта исполнения огнестойкой шторы, когда на текстильное полотно наносится слой вспучивающегося материала, величина $R_{уд}$ будет равна алгебраической сумме тепловых сопротивлений каждого из слоев:

$$R_{уд} = \frac{\delta_{тк}}{\lambda_{тк}} + \frac{\delta_{всп}}{\lambda_{всп}}. \quad (7)$$

При использовании вспучивающегося покрытия “Рубеж-В”, имеющего теплопроводность $\lambda = 0,08 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ и толщину $\delta = 40 \text{ мм}$ (после вспучивания под действием высокой температуры), тепловое сопротивление шторы $R_{уд} = 0,5 \text{ К} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт}$. Плотность теплового потока, проходящего через штору, $q = 2,1 \text{ кВт/м}^2$. Тогда температура на необогреваемой поверхности

$$t_{н.о} = t_{п} - q \left(\frac{1}{\alpha_{п}} + R_{уд} \right) = 137 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Результаты и их обсуждение

Как уже отмечалось выше, в случае изготовления шторы только из одного слоя текстильного полотна температура на необогреваемой поверхности $t_{н.о} = 1061 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что существенно превышает допустимый уровень.

Изготовление шторы из текстильного материала без огнезащиты обуславливает существенное превышение допустимой температуры на необогреваемой поверхности. Наличие воздушной прослойки увеличивает тепловое сопротивление шторы незначительно. Это связано с тем, что при передаче теплоты через прослойку основной вклад вносит лучистая составляющая теплообмена. В таком случае для сни-

жения интенсивности лучистого теплообмена в прослойке можно рассмотреть вариант конструкции, при котором на каждой из поверхностей шторы, образующих воздушную прослойку, размещаются экраны из алюминиевой фольги с $\varepsilon_s = 0,1$. Приведенная степень черноты для такой пары поверхностей $\varepsilon_{пр} = 0,05$. В результате такая прослойка позволит снизить исходное значение $\alpha_{луч}$ приблизительно в 15 раз. Тем не менее для обеспечения температуры на необогреваемой поверхности в течение длительного времени не выше $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ потребуется 10 таких прослоек. Аналогичное решение — многослойная полимерно-металлическая тепловая защита было предложено в работе [14]. Однако следует отметить, что испытания этой защиты проводились при температурах до $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

В случае третьего варианта исполнения огнестойкой шторы, при котором на текстильное полотно наносится слой вспучивающегося материала, температура на необогреваемой стороне $t_{н.о} = 137 \text{ }^{\circ}\text{C}$, что не превышает допустимый уровень.

Заключение

Сравнивая результаты расчета для трех вариантов исполнения огнезащитной шторы, полученные на основе разработанной в настоящей работе методики, можно отметить, что конструкция с применением вспучивающегося покрытия обладает наибольшим тепловым сопротивлением и позволяет в стационарном режиме обеспечивать требуемую температуру на необогреваемой поверхности в соответствии с критериями огнестойкости (EI). Кроме того, такое исполнение позволяет сворачивать штору в рулон и размещать ее в кожухе над защищаемым проемом помещения. Недостатком конструкции является невозможность многократного использования шторы: после вспучивания покрытия под воздействием высоких температур штора требует замены.

Окончательные выводы можно сделать только после экспериментальной проверки огнезащитной шторы [15], тем не менее среди рассмотренных конструкций вариант со вспучивающимся покрытием по совокупности характеристик превосходит другие и является наиболее предпочтительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заикин С. В. Трансформируемые противопожарные преграды повышенной эффективности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Сергиев Посад, 2012.
2. Ляпин А. В. Современные огне- и дымозащитные преграды // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 6. — С. 49–56.
3. Корольченко А. Я., Гетало Д. П. Противопожарные шторы (обзор) // Пожаровзрывобезопасность. — 2015. — Т. 24, № 4. — С. 56–65.
4. Dombrovsky L. A., Dembele S., Wen J. X. Shielding of fire radiation with the use of multi-layered water mist curtains: preliminary estimates // Computational Thermal Sciences: An International Journal. — 2016. — Vol. 8, No. 4. — P. 371–380. DOI: 10.1615/computthermalsci.2016017601.

5. Horrocks A. R., Anand S. C. (eds). Handbook of technical textiles. — Boca Raton : CRC Press; Cambridge : Woodhead Publishing, 2000. — 559 p.
6. Халтуринский Н. А., Кудрявцев Ю. А. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия // Горение и взрыв. — 2014. — Т. 7, № 7. — С. 223–225.
7. Лобанова М. С., Каблов В. Ф., Кейбал Н. А., Бондаренко С. Н., Гаращенко А. Н. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия на основе перхлорвиниловой смолы для стеклопластика // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 8(145). — С. 207–210.
8. Афанасьев С. В., Кузьмин И. В. Металлофосфатные огнезащитные композиции для древесины и металлоконструкций // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 10. — С. 48–52.
9. Зайцев А. М., Болгов В. А., Черных Д. С. Определение коэффициента теплоотдачи в строительных конструкции при стандартном пожаре // Гелиогеофизические исследования. — 2014. — № 9. — С. 49–53.
10. Chander S., Ray A. Heat transfer characteristics of three interacting methane/air flame jets impinging on a flat surface // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2007. — Vol. 50, Issue 3-4. — P. 640–653. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.07.011.
11. Молчадский И. С. Пожар в помещении. — М. : ВНИИПО, 2005. — 456 с.
12. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. A heat transfer textbook. — 3rd ed. — Cambridge, MA : Phlogiston Press, 2008. — 750 p.
13. Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Изд-во МЭИ, 2005. — 550 с.
14. Christke S., Gibson A. G., Grigoriou K., Mouritz A. P. Multi-layer polymer metal laminates for the fire protection of lightweight structures // Materials & Design. — 2016. — Vol. 97. — P. 349–356. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.02.105.
15. Шарков А. В., Кораблев В. А., Макаров Д. С., Минкин Д. А., Некрасов А. С., Гордейчик А. А. Измерения тепловых потоков высокой плотности с помощью автоматизированной установки // Измерительная техника. — 2016. — № 1. — С. 46–48.

Материал поступил в редакцию 17 января 2017 г.

Для цитирования: Кораблев В. А., Минкин Д. А., Шарков А. В., Романов Н. Н. Тепловой режим огнезащитной шторы в условиях интенсивного теплового воздействия // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 4. — С. 29–36. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.29-36.

English

THERMAL REGIME OF FIRE-PROTECTIVE CURTAIN AT HIGH INTENSIVE THERMAL ACTION CONDITIONS

KORABLEV V. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physics Department, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverkskiy Avenue, 49, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation)

MINKIN D. A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physico-Technical Bases of Providing Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: mindim-spb@mail.ru)

SHARKOV A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor of Physics Department, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (Kronverkskiy Avenue, 49, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation)

ROMANOV N. N., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physico-Technical Bases of Providing Fire Safety Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

ABSTRACT

Today many offices and trade centers, manufacturing buildings have large areas, which include trade zones, warehouses and etc. Fires in these objects may result in huge pecuniary losses and casualties. One of the most effective fire safety equipment is fire-protective curtains.

In case of fire proliferation threat curtain falls to cut pathways of fire, smoke and hot gases to other sectors of building. The curtains may be automatically, remote or manually controlled. The aim of this work is to formulate recommendations for designing of fire-protective curtain with thermal resistance, which could provide ability to withstand high-intensity heat impact of fire in stationary regime. This requires to have thermal model of curtain and consider the ways of heat transfer. Thermal model allows to verify materials of curtain, number of layers, emissivity coefficient, geometry and calculate, how different variations of this parameters influence on thermal resistance.

We suggested thermal and mathematic models of fire curtain and solved three examples of curtain: one-layer textile curtain, two-layer textile curtain with air interlayer and one-layer textile curtain with coverage of sloughing material. The results of investigation show, that one-layer and two-layer curtains can't protect from spread of fire, because of low thermal resistance. These examples may be optimized by usage of several layers, which could reduce thermal radiation from flame, because at high temperatures (about 1000 °C) radiation realizes the main part of heat transfer. For example at textile layer about ten thin metallic polished shields with emissivity coefficient 0.1 have to be installed. Third example of fire-protective curtain shows the best thermal resistance among considered models. It provides high insulating and strength characteristics and allows withstanding intensive thermal action conditions for few hours.

Keywords: thermal resistance; thermal insulation; sloughing material; fire-protective curtain; thermal regime.

REFERENCES

1. Zaikin S. V. *Transformiruyemyye protivopozharnyye pregrady povyshennoy effektivnosti: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Transformable fire-preventive barriers with heightened efficiency. Abstr. cand. tech. sci. diss.]. Sergiev Posad, 2012 (in Russian).
2. Lyapin A. V. Modern fire- and smoke-protective barriers. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 46–56 (in Russian).
3. Korolchenko A. Ya., Getalo D. P. Fire shields (review). *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 4, pp. 56–65 (in Russian).
4. Dombrovsky L. A., Dembele S., Wen J. X. Shielding of fire radiation with the use of multi-layered water mist curtains: preliminary estimates. *Computational Thermal Sciences: An International Journal*, 2016, vol. 8, no. 4, pp. 371–380. DOI: 10.1615/computthermalsci.2016017601.
5. Horrocks A. R., Anand S. C. (eds.). *Handbook of technical textiles*. Boca Raton, CRC Press; Cambridge, Woodhead Publishing, 2000. 559 p.
6. Khalturinskii N. A., Kudryavtsev Yu. A. Fireproof intumescent paints. *Goreniye i vzryv / Combustion and Explosion*, 2014, vol. 7, no. 7, pp. 223–225 (in Russian).
7. Lobanova M. S., Kablov V. F., Keybal N. A., Bondarenko S. N., Garashchenko A. N. Flame retardant intumescent coatings based on perchlorovinyl resin for fiber-glass plastic. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskkiye nauki / Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2013, no. 8(145), pp. 207–210 (in Russian).
8. Afanasyev S. V., Kuzmin I. V. Metall-phosphatic fireproofing compositions for wood and steel structures. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 10, pp. 48–52 (in Russian).
9. Zaytsev A. M., Bolgov V. A., Chernykh D. S. Determination of the coefficient of heat transfer in building designs at standard fire. *Geliogeofizicheskiye issledovaniya / Heliogeophysical Research*, 2014, no. 9, pp. 49–53 (in Russian).
10. Chander S., Ray A. Heat transfer characteristics of three interacting methane/air flame jets impinging on a flat surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2007, vol. 50, issue 3-4, pp. 640–653. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2006.07.011.
11. Molchadskiy I. S. *Pozhar v pomeshchenii* [Indoors fire]. Moscow, VNIPO Publ., 2005. 456 p. (in Russian).
12. John H. Lienhard IV, John H. Lienhard V. *A heat transfer textbook*. 3rd ed. Cambridge, MA, Phlogiston Press, 2008. 750 p.

13. Tsvetkov F. F., Grigoryev B. A. *Teplomassoobmen* [Heat and mass transfer]. Moscow, Izdatelstvo MEI, 2005. 550 p. (in Russian).
14. Christke S., Gibson A. G., Grigoriou K., Mouritz A. P. Multi-layer polymer metal laminates for the fire protection of lightweight structures. *Materials & Design*, 2016, vol. 97, pp. 349–356. DOI: 10.1016/j.matdes.2016.02.105.
15. Sharkov A. V., Korablev V. A., Makarov D. S., Minkin D. A., Nekrasov A. S., Gordeichik A. A. Measurement of high-density heat flux using an automated installation. *Measurement Techniques*, 2016, vol. 59, no. 1, pp. 67–69.

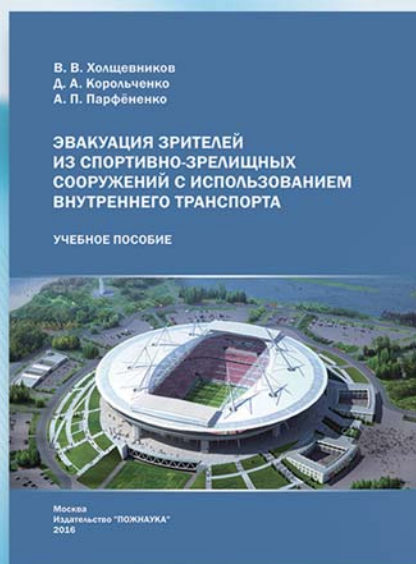
For citation: Korablev V. A., Minkin D. A., Sharkov A. V., Romanov N. N. Thermal regime of fire-protective curtains at high intensive thermal action conditions. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 4, pp. 29–36 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.04.29-36.



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



Холщевников В. В.
Корольченко Д. А.
Парфёненко А. П.

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движения людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

Для заказа книги пишите нам по адресу:

121352, г. Москва, а/я 43,
или звоните по телефону
8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:
mail@firepress.ru.