

А. Б. АХМЕДОВ, инженер ООО “СпецПожТех” (Россия, 127051, г. Москва, М. Сухаревский пер., 9, стр. 1; e-mail: ahmedov.askar@yandex.ru)

В. Ю. ШИМКО, генеральный директор, ООО “СпецПожТех” (Россия, 127051, г. Москва, М. Сухаревский пер., 9, стр. 1; e-mail: shimko.v@sss44.ru)

С. В. ПУЗАЧ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

УДК 614.841

ОСЛАБЛЕНИЕ ЛУЧИСТОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ПРЕГРАДОЙ “СОГДА”

Представлены результаты экспериментальных исследований стандартной противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) при “стандартном” режиме пожара. Предложена математическая модель расчета ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой. Выполнена оценка физических механизмов ослабления лучистого теплового потока. Получены экспериментальные зависимости от времени плотности лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды. Приведены результаты и анализ расчета коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока. Показано, что в условиях “стандартного” пожара коэффициент ослабления лучистого теплового потока вышеуказанной преградой изменяется в зависимости от времени, прошедшего с начала горения, в диапазоне от 380 до 80.

Ключевые слова: пожар; безопасность; теплозащитный экран; водяное орошение; лучистый теплообмен.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.58-66

Введение

Высокая плотность теплового излучения, возникающая при горении природного газа и других углеводородных топлив, является одной из серьезных проблем при обеспечении пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса [1–3].

В работах [4–14] предложено для защиты от лучистых тепловых потоков использовать водяную завесу. Однако в статьях [15–18] представлена более эффективная инновационная технология ослабления тепловых потоков, реализуемая с помощью теплозащитного водопленочного экрана. Экспериментальные исследования, проведенные с использованием различных источников теплового излучения, показали, что экран ослабляет лучистый тепловой поток не менее чем в 50 раз [16]. Однако физические механизмы этого процесса изучены недостаточно.

В связи с этим актуальной задачей является проведение дальнейших экспериментальных исследований в целях разработки физико-математической модели расчета коэффициента ослабления, что позволит обосновывать технические характеристики экранов под заданные условия их работы.

Цель настоящей статьи — экспериментальная и теоретическая оценка коэффициента ослабления лучистого теплового потока теплозащитным водо-

плочным экраном [15–18] при “стандартном” режиме пожара [19]. Для ее достижения решались следующие задачи:

- разработка математической модели расчета коэффициента ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой;
- оценка физических механизмов ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой;
- получение экспериментальных зависимостей от времени плотности лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды в малогабаритной печи, используемой для испытания строительных конструкций на огнестойкость.

Краткое описание противопожарной преграды

Согласно требованиям технических условий (ТУ 4854-001-81399550–2016) противопожарная преграда “СОГДА” (модель 1) производства ООО “СпецПожТех” предназначена для решения следующих задач пожарной безопасности:

- защита от теплового излучения и опасных факторов пожара;

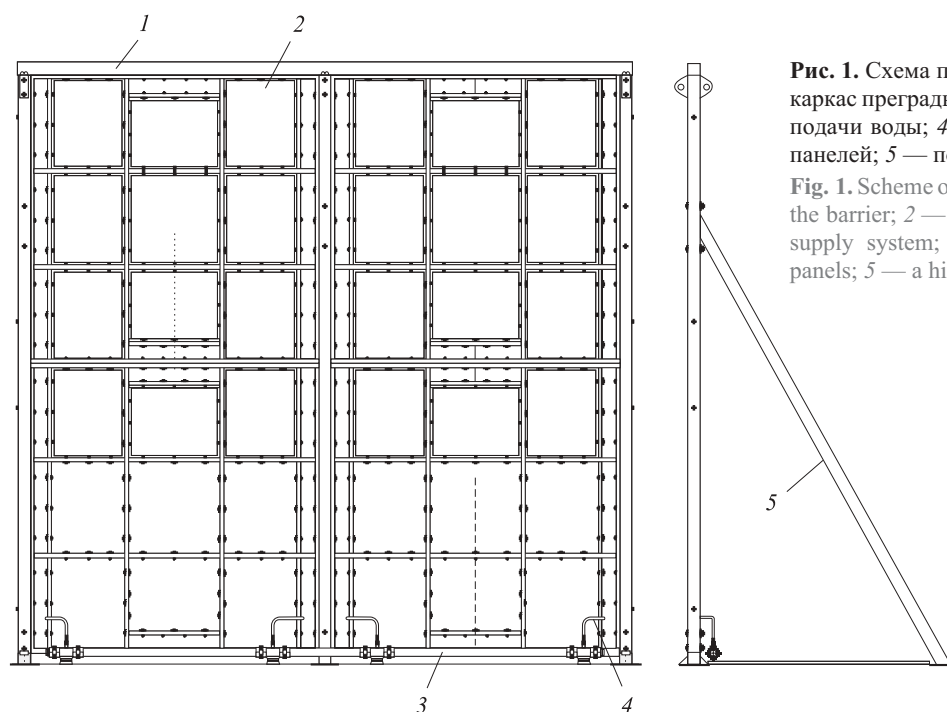


Рис. 1. Схема противопожарной преграды: 1 — каркас преграды; 2 — блок-панели; 3 — система подачи воды; 4 — система орошения сетчатых панелей; 5 — подкос крепления преграды

Fig. 1. Scheme of the fire barrier: 1 — framework of the barrier; 2 — the block of the panel; 3 — water supply system; 4 — irrigation system of mesh panels; 5 — a hitch of fastening of the barrier

- локализация и недопущение распространения огня на промышленных и гражданских объектах, в резервуарах с нефтепродуктами, емкостях со сжиженным природным газом (СПГ) и сжиженными углеводородными газами (СУГ);
- ограждение емкостей с тушащим веществом;
- деление внутреннего объема помещений на противопожарные отсеки.

Стандартная противопожарная преграда “СОГДА” (модель 1) представляет собой вертикальную сборную ограждающую конструкцию, состоящую из теплозащитных блок-панелей с габаритными размерами (длина × ширина × высота) $(1940 \pm 10) \times (80 \pm 5) \times (1856 \pm 10)$ мм. Размеры блок-панелей и конструкции в целом могут изменяться в зависимости от поставленных задач.

Схема противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) приведена на рис. 1. Каркас 1 выполнен из профильной трубы размером $80 \times 80 \times 4$ мм из коррозионностойкой стали. Блок-панели 2 состоят из верхних и нижних теплозащитных панелей, каждая из которых представляет собой две соединенные друг с другом рамы (внешнюю и внутреннюю), выполненные из профильной трубы размером $20 \times 20 \times 1,5$ мм из коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. На рамах закреплены экранирующие сетчатые панели из металлической коррозионностойкой сетки. Между сетками внешней и внутренней рам по всей толщине панели находится свободное пространство.

Система подачи воды 3 состоит из фильтров грубой очистки воды и трубопровода, соединяющего фильтры между собой.

Система орошения 4 теплозащитных блок-панелей состоит из щелевых ударно-струйных форсунок с лопаточным отражателем, последовательно соединенных между собой трубопроводной магистралью [20].

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Образец для сертификационных испытаний представляет собой стационарную противопожарную преграду размером $1,5 \times 1,5$ м. Конструкция образца преграды состоит из одной блок-панели, с необогреваемой стороны которой находятся напорные шланги для подвода воды к распыляющим форсункам, расположенным в верхней части конструкции. Рабочее давление в шлангах $0,4$ – $0,6$ МПа. На испытаниях было принято давление $0,4$ МПа. В испытываемой преграде использовались четыре форсунки. При рабочем давлении $0,4$ – $0,6$ МПа расход воды составлял $0,10$ – $0,13$ л/с на каждую форсунку.

В соответствии с требованиями п. 7.4 ГОСТ 30247.0–94 образец подвергался входному контролю, при котором была выявлена комплектность образца и его соответствие технической документации.

Испытания проводились в малогабаритной печи, предназначенной для испытания строительных конструкций на огнестойкость (рис. 2). Размер огневого пространства печи составляет $1,5 \times 1,5 \times 1,5$ м, высота печи — 2 м. Печь снабжена четырьмя горелками. В качестве горючего вещества применяется природный газ с расходом $2 \text{ м}^3/\text{ч}$.



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки — малогабаритной печи для испытания строительных конструкций на огнестойкость

Fig. 2. General view of the experimental installation — the small-sized furnace for testing building structures for fire resistance

В ходе испытаний осуществляются автоматический контроль и регулировка избыточного давления и содержания кислорода в огневом пространстве печи.

Испытания представленных образцов проводились в испытательной лаборатории ИКБС НИУ МГСУ при температуре окружающей среды 8–15 °С, атмосферном давлении 98,6–100,2 кПа и относительной влажности окружающего воздуха 43–51 %. Измерения всех вышеуказанных параметров осуществлялись перед началом испытаний на расстоянии 1,2 м от необогреваемой поверхности испытуемого образца.

Фрагмент испытаний образца противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) в малогабаритной печи показан на рис. 3.

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. Образец преграды жестко заделывался по периметру испытательной рамы путем приваривания к ней с использованием четырех металлических пластин и прикручиванию к последним



Рис. 3. Фрагмент испытания образца противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) в малогабаритной печи

Fig. 3. Fragment of the test of the fire barrier “СОГДА” (model 1) in the small-sized furnace

саморезами по металлу. Зазор между торцами и обрамлением держателя образца заделывался огнеупорным керамическим стекловолокном. Монтаж держателя с образцом в технологическом проеме вертикальной печи и установка термоэлектрических преобразователей проводились специалистами испытательной лаборатории. Горячие спаи печных термоэлектрических преобразователей устанавливались равномерно по площади вертикального огневого проема на удалении не менее 200 мм от стен, пола и потолка огневой камеры и на расстоянии (100 ± 10) мм от обогреваемой поверхности образца. На необогреваемой поверхности одну термопару располагали в центре, а остальные — на пересечении прямых, соединяющих центр и углы огневого проема печи.

Измерения плотности потока теплового излучения проводились на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды.

Для испытаний применялось метрологически аттестованное испытательное оборудование. Температурный режим в печи соответствовал режиму “стандартного” пожара [19].

Математическая модель расчета ослабления лучистого теплового потока

Для расчета уменьшения плотности теплового потока за счет установки противопожарной преграды “СОГДА” (модель 1) необходимо выполнить расчет теплопередачи от огневого пространства малогабаритной печи через ее стенки и водяную завесу к наружному воздуху.

Уменьшение плотности лучистого теплового потока, проходящего через противопожарную преграду, оценим по величине коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока:

$$k_r = q_r / q_p, \quad (1)$$

где k_r — коэффициент снижения плотности лучистого теплового потока;

q_r — плотность лучистого теплового потока, падающего на поверхность противопожарной преграды со стороны огневого пространства печи, Вт/м²;

q_p — плотность лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды, полученная в ходе экспериментов, Вт/м².

Основой для расчета нагрева строительной конструкции от теплового излучения является уравнение лучистого теплообмена Стефана–Больцмана [21]:

$$q_r = \varepsilon c_b \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right] \Psi_{io}, \quad (2)$$

где ε — приведенная степень черноты системы;

c_b — коэффициент излучения абсолютно черного тела; $c_b = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$;

T_i — температура излучающей поверхности, К;

T_o — температура на облучаемой поверхности конструкции, К;

Ψ_{io} — коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями, в который в неявной форме входит расстояние r (м) по нормали между излучающей и облучаемой поверхностями.

Коэффициент облученности для одной четвертой части площади поверхности факела вычисляется по формуле [21]:

$$\Psi_{io} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \arctg \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right), \quad (3)$$

где a, b — длины сторон прямоугольника пламени [21], м.

Оценка физических механизмов ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой

Оценим физические механизмы ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой. На рис. 4 приведена принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой.

Плотность лучистого теплового потока, падающего на поверхность противопожарной преграды, можно записать в виде:

$$q_r = q_{r.m} + q_{r.h}, \quad (4)$$

где $q_{r.m}$ — плотность части лучистого теплового потока, падающей на металлическую поверхность преграды, охлаждаемую водой, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$q_{r.h}$ — часть лучистого теплового потока, попадающая на отверстия металлической решетки, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Из геометрических соображений

$$q_{r.m} = k_f q_r; \quad (5)$$

$$q_{r.h} = (1 - k_f) q_r, \quad (6)$$

где k_f — коэффициент, равный отношению площади поверхности преграды, занимаемой металлом F_m (м^2), к суммарной площади поверхности преграды F (м^2); $k_f = F_m / F$.

В данном эксперименте коэффициент $k_f = 0,6213$. Таким образом, можно считать, что примерно 62 % суммарного лучистого теплового потока, падающего на противопожарную преграду, полностью погло-

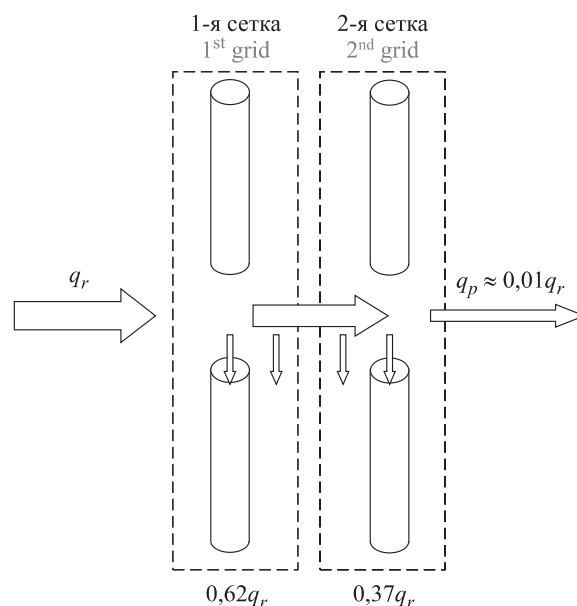


Рис. 4. Принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой

Fig. 4. Schematic diagram of the reduction of radiant heat flux by the fire barrier

щается, отражается и рассеивается металлической частью ячейки и охлаждающей ее водой.

Этот вывод подтверждается результатами экспериментов, согласно которым температура на наружной поверхности металлической сетки, непосредственно контактирующей с газовой средой печи, не превышает 367°C . При такой температуре величиной лучистого теплового потока, излучаемого наружной поверхностью вышеуказанной металлической сетки внутрь противопожарной преграды, можно пренебречь.

Экспериментальное значение коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока k_r (выражение (1)) при температуре внутри печи 1030°C при $q_r = 20 \text{ кВт}/\text{м}^2$ и $q_p = 0,2 \text{ кВт}/\text{м}^2$ равно 100.

Тогда коэффициент ослабления части лучистого теплового потока, проходящего через отверстия в металлической решетке, с учетом выражений (1) и (6) составит:

$$k_h = \frac{q_{r.h}}{q_p} = \frac{(1 - k_f) q_r k_r}{q_r} = (1 - k_f) k_r = 37,87.$$

Таким образом, можно предположить, что примерно 37 % падающего на поверхность преграды лучистого теплового потока отражается и рассеивается за счет дифракционных явлений внутри противопожарной преграды и поглощается металлическими сетками и охлаждающей их водой, так как через отверстия преграда пропускает примерно $1/20$ часть теплового потока, попадающего на них.

Этот вывод можно объяснить тем, что длина волны теплового излучения сопоставима с размерами

квадратного отверстия ячейки металлической сетки. Поэтому процессы отражения и рассеивания излучения превышают по своему эффекту процесс пропускания лучистой тепловой энергии [22, 23]. Подробный механизм дифракции на вышеуказанных отверстиях требует дополнительных исследований.

Таким образом, противопожарная преграда в вышеуказанных условиях проведения экспериментов при температуре внутри печи 1030 °С поглощает, отражает и рассеивает 99 % падающего на нее лучистого теплового потока.

Результаты и анализ расчета коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока противопожарной преградой

Выполним оценочный расчет коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока противопожарной преградой по выражению (1) с использованием формул (2) и (3).

При горении природного газа основное выделение паров воды и углекислого газа происходит при реакции: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$. При этом объемные доли углекислого газа и паров воды составляют соответственно $r_{\text{CO}_2} = 0,167$; $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,333$.

Степень черноты продуктов горения природного газа с учетом долей углекислого газа и паров воды для расчета приведенной степени черноты ϵ в выражении (2) определяли с использованием соответствующих номограмм [21].

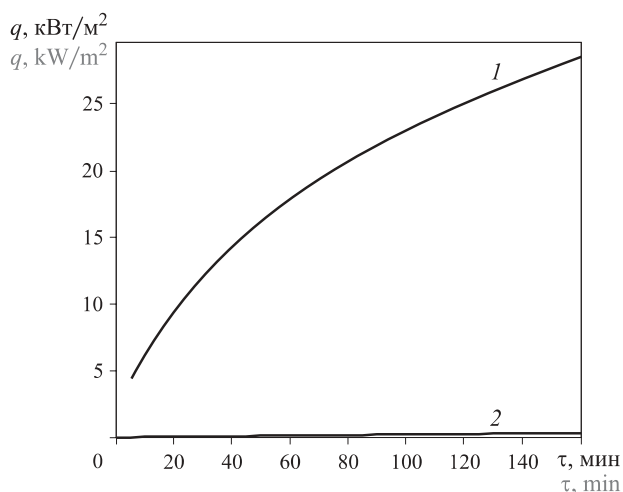


Рис. 5. Зависимости плотности теплового потока от времени при “стандартном” пожаре: 1 — расчетная зависимость по выражениям (2) и (3) при отсутствии противопожарной преграды; 2 — экспериментальная зависимость при наличии преграды на расстоянии 0,5 м от геометрического центра ее необогреваемой поверхности

Fig. 5. Dependences of the heat flux density on time for a “standard” fire: 1 — calculated dependence based on expressions (2) and (3) at the absence of the fire barrier; 2 — the experimental dependence in the presence of the fire barrier at the distance of 0.5 m from the geometric center of its unheated surface

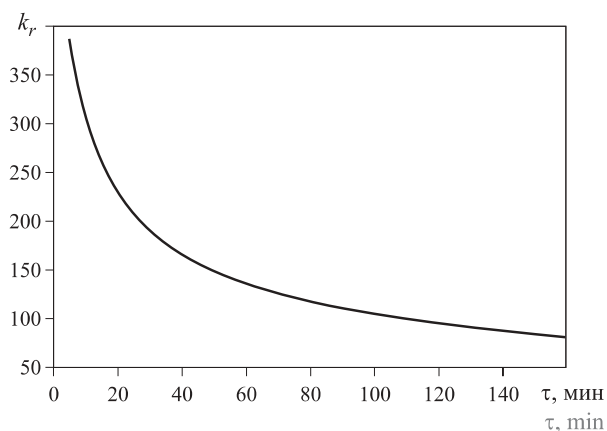


Рис. 6. Зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока от времени

Fig. 6. Dependence of the reduction coefficient of the radiant heat flux density on time

Изменение коэффициента снижения плотности теплового потока в зависимости от времени и температуры газовой среды в печи

The change in the reduction coefficient of the heat flux density as a function of time and temperature

Промежуток времени τ от начала испытания, мин The time interval τ from the beginning of the test, min	Диапазон изменения среднеобъемной температуры T , °C The range of the change of medium volume temperature T , °C	Коэффициент снижения плотности лучистого теплового потока k_r The reduction coefficient of the heat flux density k_r
$0 < \tau < 20$	$20 < T < 814,6$	380–230
$20 \leq \tau < 40$	$814,6 \leq T < 884,7$	230–170
$40 \leq \tau < 60$	$884,7 \leq T < 945,3$	170–140
$60 \leq \tau < 80$	$945,3 \leq T < 988,4$	140–120
$80 \leq \tau < 100$	$988,4 \leq T < 1021,8$	120–105
$100 \leq \tau < 120$	$1021,8 \leq T < 1055,2$	105–95
$120 \leq \tau < 140$	$1055,2 \leq T < 1092,1$	95–90
$140 \leq \tau < 160$	$1055,2 \leq T < 1092,1$	90–80

Результаты расчетов плотности лучистого теплового потока с использованием формул (2) и (3) в случае, когда излучение от газовой среды печи наружу происходит через открытую стенку (противопожарной преграды нет), в условиях “стандартного” пожара приведены на рис. 5

На рис. 5 представлена также зависимость от времени плотности лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды, приведенная в протоколе сертификационных испытаний.

Зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока, определяемого по формуле (1), от времени, прошедшего с начала “стан-

дартного” пожара, представлена на рис. 6. Из рис. 6 видно, что эта зависимость обратно пропорциональна и достаточно существенна.

Результаты расчета зависимости коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока от времени и, соответственно, от среднеобъемной температуры газовой среды внутри печи приведены в таблице.

Из таблицы видно, что минимальное значение вышеуказанного коэффициента на 160-й минуте горения $k_r = 80$.

Заключение

Выполненный теплофизический расчет уменьшения плотности теплового потока, проходящего через противопожарную преграду “СОГДА” (мо-

дель 1), и результаты сертификационных испытаний показали, что в условиях “стандартного” пожара коэффициент ослабления лучистого теплового потока вышеуказанной преградой изменяется в зависимости от промежутка времени, прошедшего с начала горения, в диапазоне от 380 до 80.

Дальнейшие экспериментальные исследования будут направлены на более подробное изучение теплофизического механизма ослабления лучистого теплового потока в целях разработки математической модели расчета коэффициента ослабления, что позволит обосновывать технические характеристики экранов под заданные условия их работы без проведения дополнительных экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедева М. И., Богданов А. В., Колесников Ю. Ю. Аналитический обзор статистики по опасным событиям на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Технологии техносферной безопасности. — 2013. — Вып. 4(50). — 9 с.
2. Давыдкин С. А., Намычкин А. Ю. Анализ аварий на объектах нефтегазовой промышленности // Технологии техносферной безопасности. — 2007. — Вып. 6(16). — 7 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-6/06-06-07.ttb.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).
3. Кармес А. П. Технические проблемы обеспечения тушения и предотвращения пожаров на нефтегазопроводах // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2014. — № 1. — С. 24–31.
4. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield // Numerical Heat Transfer, Part A: Applications. — 2010. — Vol. 57, Issue 8. — P. 537–553. DOI: 10.1080/10407781003744722.
5. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to fire protection of the LNG storage tank using water curtain // International Journal of Thermal and Environmental Engineering. — 2010. — Vol. 2, No. 2. — P. 91–98. DOI: 10.5383/ijtee.02.02.005.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source // Fire Safety Journal. — 2006. — Vol. 41, No. 1. — P. 15–30. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2005.07.007.
7. Choi C. L. Radiation blockade effects by water curtain // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2004. — Vol. 6, No. 4. — P. 248–254.
8. Xishi Wang, Qiong Tan, Zhigang Wang, Xiangxiao Kong, Haiyong Cong. Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain // International Journal of Thermal Sciences. — 2018. — Vol. 125. — P. 44–51. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013.
9. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 2005. — Vol. 18, No. 4-6. — P. 423–432. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.06.039.
10. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression // Fire Safety Journal. — 2004. — Vol. 39, Issue 1. — P. 41–66. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2003.07.00.
11. Tseng C. C., Viskanta R. Absorptance and transmittance of water spray/mist curtains // Fire Safety Journal. — 2007. — Vol. 42, Issue 2. — P. 106–114. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.08.005.
12. Cheng Hao, Hadjisophocleous G. V. Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings // Fire Safety Journal. — 2012. — Vol. 53. — P. 43–62. DOI: 10.1016/j.fire-saf.2012.06.005.
13. Pei Zhu, Xishi Wang, Zhigang Wang, Haiyong Cong, Hiaomin Ni. Experimental and numerical study on attenuation of thermal radiation from large-scale pool fires by water mist curtain // Journal of Fire Science. — 2015. — Vol. 33, No. 4. — P. 269–289. DOI: 10.1177/0734904115585796.

14. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtain // International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes. — 2009. — No. 1. — P. 7–13.
15. Шимко В. Ю. Использование водо пленочных теплозащитных экранов для защиты от теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 63–67.
16. Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю., Карпов В. Л., Курбанов А. Х. Метод защиты от распространения пожаров опасных газов и радионуклидов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 5. — С. 72–75.
17. Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю. Экраны “СОГДА” — гарантия эффективности тепловой защиты и тушения пожаров // Технология машиностроения. — 2010. — № 4. — С. 65–66.
18. Шимко В. Ю. Использование конструкций на основе водо пленочных экранов для повышения пожаровзрывобезопасности объектов хранения и распределения сжиженного природного газа // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 58–61.
19. Ройтман М. Я. Противопожарное нормирование в строительстве. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Стройиздат, 1985. — 590 с.
20. Корольченко А. Д. Исследование предельных состояний водо пленочной противопожарной преграды // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — М. : МГСУ, 2017. — С. 463–466.
21. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М. : Атомиздат, 1979. — 416 с.
22. Шимко В. Ю. Новый тип противопожарных преград для объектов нефтегазового комплекса // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России : в 2 ч. — М. : ВНИИПО, 2017. — С. 175–177.
23. Брушлинский Н. Н., Усманов М. Х., Шимко В. Ю. Экраны “СОГДА”. Инновационные технологии теплозащиты и тушения пожаров // Сборник научных трудов и инженерных разработок. Ориентированные фундаментальные исследования — от современной науки к технике будущего / Под ред. Б. В. Гусева. — М. : Эксподизайн-Холдинг, 2009 — С. 457–461.

Материал поступил в редакцию 20 марта 2018 г.

Для цитирования: Ахмедов А. Б., Шимко В. Ю., Пузач С. В. Ослабление лучистого теплового потока противопожарной преградой “СОГДА” // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 4. — С. 58–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.58-66.

English

REDUCTION OF RADIANT HEAT FLUX BY “SOGDA” FIRE BARRIER

AKHMEDOV A. B., Engineer, LLC “SpecPozhTech” (M. Sukharevskiy Per., 9, bld. 1, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: ahmedov.askar@yandex.ru)

SHIMKO V. Yu., General Director, LLC “SpecPozhTech” (M. Sukharevskiy Per., 9, bld. 1, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: shimko.v@sss44.ru)

PUZACH S. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: puzachsv@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The innovative technology of heat flux reduction implemented using the heat-shielding water-film barrier “SOGDA” (model 1), according to the results of previous experimental studies, allows to reduce the radiant heat flux by more than 50 times. However, the thermal and physical mechanisms of this process are not sufficiently studied, which does not allow to justify the technical characteristics of heat shields under given conditions for their operation.

Purposes and objectives. The purpose of the article is to evaluate experimentally and theoretically the coefficient of the reduction of radiant heat flux by a heat-shielded water-film fire

barrier under the “standard” fire mode. To achieve this, a mathematical model was developed for calculating the coefficient of reduction of radiant heat flux by the fire barrier, an assessment was made of the physical mechanisms of the reduction of radiant heat flux by a fire barrier, and an experimental time dependence of the density of radiant heat flux passing from a small oven through the barrier installed in one of its walls to the outside was obtained.

Methods. There are used a theoretical method for calculating radiant heat transfer based on the Stefan–Boltzmann equation and an experimental method for studying the reduction of radiant heat transfer in a small-sized furnace for testing building structures for fire resistance in the “standard” fire mode.

Results. The physical mechanisms of the reduction of radiant heat flux by the fire barrier are substantiated. It is shown that the fire barrier with a size of 1.5×1.5 m at a temperature inside the furnace 1030 °C absorbs, reflects and disperses 99 % of the radiant heat flux incident on it.

Experimental time dependence of the density of the radiant heat flux at a distance of 0.5 m from the geometric center of the unheated surface of the barrier is obtained.

It is found that in the case of the “standard” fire, the coefficient of reduction of radiant heat flux by the fire barrier “SOGDA” (model 1) varies depending on the time from the onset of natural gas combustion in the range from 380 to 80.

The conclusion. Further experimental studies will be aimed at a more detailed study of the thermal and physical mechanisms for the reduction of a radiant heat flux through the barrier, which will allow us to justify the technical characteristics of heat shields under given conditions for their operation without additional experimental studies.

Keywords: fire; security; heat safety shield; water irrigation; radiant heat transfer.

REFERENCES

1. Lebedeva M. I., Bogdanov A. V., Kolesnikov J. J. Analytical review statistics for dangerous event at the facilities of refining and petrochemical industry. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, issue 4(50). 9 p. (in Russian).
2. Davydkin S. A., Nemychkin A. Yu. The analysis of accidents on the oil and gas industry. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2007, issue 6(16), 7 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-6/06-06-07.ttb.pdf> (Accessed 15 March 2018).
3. Karmes A. P. Technical problems of ensuring fire-fighting and preventing fires on oil and gas pipelines. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2014, no. 1, pp. 24–31 (in Russian).
4. Collin A., Lechene S., Boulet P., Parent G. Water mist and radiation interactions: application to a water curtain used as a radiative shield. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 2010, vol. 57, issue 8, pp. 537–553. DOI: 10.1080/10407781003744722.
5. Benbrik A., Cherifi M., Meftah S., Khelifi M. S., Sahnoune K. Contribution to fire protection of the LNG storage tank using water curtain. *International Journal of Thermal and Environmental Engineering*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 91–98. DOI: 10.5383/ijtee.02.02.005.
6. Boulet P., Collin A., Parent G. Heat transfer through a water spray curtain under the effect of a strong radiative source. *Fire Safety Journal*, 2006, vol. 41, no. 1, pp. 15–30. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.07.007.
7. Choi C. L. Radiation blockade effects by water curtain. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2004, vol. 6, no. 4, pp. 248–254.
8. Xishi Wang, Qiong Tan, Zhigang Wang, Xiangxiao Kong, Haiyong Cong. Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain. *International Journal of Thermal Sciences*, 2018, vol. 125, pp. 44–51. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013.
9. Buchlin J.-M. Thermal shielding by water spray curtain. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2005, vol. 18, no. 4-6, pp. 423–432. DOI: 10.1016/j.jlp.2005.06.039.
10. Yang W., Parker T., Ladouceur H. D., Kee R. J. The interaction of thermal radiation and water mist in fire suppression. *Fire Safety Journal*, 2004, vol. 39, issue 1, pp. 41–66. DOI: 10.1016/j.firesaf.2003.07.00.
11. Tseng C. C., Viskanta R. Absorptance and transmittance of water spray/mist curtains. *Fire Safety Journal*, 2007, vol. 42, issue 2, pp. 106–114. DOI: 10.1016/j.firesaf.2006.08.005.
12. Cheng Hao, Hadjisophocleous G. V. Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings. *Fire Safety Journal*, 2012, vol. 53, pp. 43–62. DOI: 10.1016/j.firesaf.2012.06.005.

13. Pei Zhu, Xishi Wang, Zhigang Wang, Haiyong Cong, Hiaomin Ni. Experimental and numerical study on attenuation of thermal radiation from large-scale pool fires by water mist curtain. *Journal of Fire Science*, 2015, vol. 33, no. 4, pp. 269–289. DOI: 10.1177/0734904115585796.
14. Cheung W. Y. Radiation blockage of water curtain. *International Journal of on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 2009, no. 1, pp. 7–13.
15. Shimko V. Yu. Application of water-film heat-reflecting shields for protection against thermal radiation arising from burning spills of liquefied natural gas. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 63–67 (in Russian).
16. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shimko V. Yu., Karpov V. L., Kurbanov A. Kh. Method to prevent the fire spread of hazardous gases and radionuclides. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 5, pp. 72–75 (in Russian).
17. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shimko V. Yu. The Sogda shields as an effectiveness guarantee of thermal protection and fire extinguishing. *Tekhnologiya mashinostroyeniya / Technology of Mechanical Engineering*, 2010, no. 4, pp. 65–66 (in Russian).
18. Shimko V. Yu. Application of constructions based on water-film shields for increasing of the fire-and-explosion safety of objects of storage and distribution of the liquefied natural gas. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 58–61 (in Russian).
19. Roytman M. Ya. *Protivopozharnoye normirovaniye v stroitelstve* [Fire-prevention rationing in construction]. 2nd ed. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 590 p. (in Russian).
20. Korolchenko A. D. Study of the limiting states of a water-film fire barrier. In: *Stroitelstvo — formirovaniye sredi zhiznedeyatelnosti. Sbornik dokladov XVI Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Construction — the Formation of the Environment of Life. Collection of Reports of XVI International Interuniversity Scientific-Practical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists]. Moscow, MGSU Publ., 2017, pp. 463–466 (in Russian).
21. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena* [Bases of the theory of heat exchange]. Moscow, Atomizdat Publ., 1979. 416 p. (in Russian).
22. Shimko V. Yu. New type of fire barriers for oil and gas facilities. In: *XXIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 80-letiyu FGBU VNIPO MChS Rossii* [XXIX International Scientific and Practical Conference, dedicated to the 80th anniversary of the FGBU VNIPO of Emercom of Russia]. Moscow, VNIPO Publ., 2017, pp. 175–177 (in Russian).
23. Brushlinskiy N. N., Usmanov M. Kh., Shimko V. Yu. “SOGDA” heat shields. Innovative technologies of heat protection and fire fighting. In: Gusev B. V. (ed.). *Sbornik nauchnykh trudov i inzhenernykh razrabotok. Orientirovannyye fundamentalnyye issledovaniya — ot sovremennoy nauki k tekhnike budushchego* [Collection of scientific works and engineering developments. Oriented fundamental research — from modern science to the technology of the future]. Moscow, Ekspodizayn-Kholding Publ., 2009, pp. 457–461 (in Russian).

For citation: Akhmedov A. B., Shimko V. Yu., Puzach S. V. Reduction of radiant heat flux by “SOGDA” fire barrier. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 58–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.04.58-66.