

## О Т З Ы В

официального оппонента Заикина Сергея Вениаминовича на диссертационную работу Шимко Василия Юрьевича, выполненную на тему «Противопожарные преграды на основе теплозащитных сетчатых экранов для защиты объектов нефтегазового комплекса» и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность» (нефтегазовая отрасль, технические науки)

### **1 Актуальность темы**

Одной из важнейших отраслей национальной экономики России является нефтегазовая промышленность, обеспечивающая существенный вклад в валовый национальный продукт. Однако, предприятия нефтегазового комплекса (НГК) представляют собой объекты с высоким уровнем пожарной опасности, что обусловлено, в первую очередь, обращением в технологических процессах большого количества горючих веществ в сочетании с их высокими показателями пожаро- и взрывоопасности.

Выполненный автором в работе анализ статистики о пожарах и взрывах на этих объектах показал, что отличительной особенностью большинства пожаров проливов горючих жидкостей (ГЖ) и сжиженного природного газа (СПГ) являлась высокая интенсивность тепловых потоков, воздействие которых часто приводило к уничтожению технологического оборудования, зданий, сооружений, затруднению работы и обеспечения безопасности как персонала объекта, так и личного состава пожарной охраны. При этом выявлено, что применяемые как в отечественной, так и в мировой практике противопожарные преграды имеют ряд существенных недостатков (ограниченный предел огнестойкости, требование большого расхода воды, сложность конструкций, неприемлемо высокая стоимость и др.), устранить которые простой модернизацией не представляется возможным.

В связи с вышесказанным, тема диссертационной работы, направленной на разработку новых высокоэффективных противопожарных преград на основе теплозащитных сетчатых экранов, принцип действия которых основан на многократном ослаблении плотности теплового излучения пламени пожаров проливов ГЖ и СПГ, представляется весьма актуальной.

### **2 Научная новизна**

1. Предложен альтернативный способ защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ путем разработки противопожарных преград на основе теплозащитных сетчатых экранов, действие которых базируется на многократном ослаблении плотности теплового излучения пламени.

*Вх л 6/50 от 23.04.18*

2. В результате теоретических исследований процессов тепло- и массопереноса, протекающих при взаимодействии излучаемого пожаром потока энергии с теплозащитным сетчатым экраном, а также численных оценок коэффициентов поглощения тепловых потоков в режимах «сухой» и «мокрой» сеток экрана определены коэффициенты ослабления плотности теплового потока пожара теплозащитным экраном ( в режиме «мокрой» сетки достигает 80 раз).

3. Обосновано применение гидравлического способа для распыления воды в межсеточном пространстве теплозащитного экрана, как наиболее экономичного и имеющего максимальный КПД распыления. Разработана реализующая его оптимальная конструкция форсунки – симбиоз конструктивных схем щелевой, струйной и ударно-струйной форсунок. Определены ее параметры и режимы работы.

4. Экспериментально определены оптимальные параметры (материал сеток, диаметр проволоки, размеры ячеек, межсеточное расстояние, расход воды на 1 м<sup>2</sup> экрана) и характеристики (значения величин снижения тепловых потоков) теплозащитных экранов, обеспечивающие максимальную степень ослабления тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ.

5. Разработан модельный ряд противопожарных преград и теплозащитных экранов для защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ.

Новизна предложенного авторами способа защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ и реализующих его противопожарных преград и теплозащитных экранов подтверждается патентами.

**3 Практическая значимость выполненной диссертационной работы** заключается в использовании полученных при ее выполнении результатов теоретических и экспериментальных исследований при разработке противопожарных преград на основе теплозащитных сетчатых экранов и их применении на различных объектах НГК и в оперативных подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России.

#### **4 Оценка содержания и оформления диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 114 наименований и приложения. Содержание работы изложено на 149 страницах машинописного текста, включает в себя содержит 5 таблиц и 58 рисунков.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, проанализированы объект и предмет исследования, показаны научная новизна работы и ее практическая

значимость, представлены сведения о внедрении и апробации результатов работы.

**В первой главе** автором проанализированы данные об опасных инцидентах, произошедших за последние десятилетия на объектах НГК, требования нормативных документов к противопожарным преградам, а также результаты российских и зарубежных исследований в области разработки противопожарных преград. Отмечено, что опасные ситуации в большинстве случаев происходили из-за утечек ГЖ или СПГ из технологического оборудования в результате чего происходило образование парогазового облака с его дальнейшим воспламенением (взрывом) или пролив ГЖ (СПГ) с последующим возгоранием паров. Большинство пожаров сопровождалось высокой интенсивностью тепловых потоков. Установлено, что эффективно снижать тепловые потоки от таких пожаров способны далеко не все существующие типы противопожарных преград. При этом отмечается, что такие преграды могут отвечать многоцелевому назначению, чем, в частности, и обуславливается их эффективность и экономическая целесообразность.

В связи с тем, что существующие противопожарные преграды имеют ряд недостатков, в работе предлагается альтернативный способ защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ или СПГ – противопожарные преграды на основе теплозащитных сетчатых экранов, принцип действия которых основан на многократном ослаблении плотности теплового излучения пламени за счет создания между двумя металлическими сетками неоднородной водной среды, состоящей из водяных капель, пара и пленки.

**Во-второй главе** рассмотрены процессы тепло- и массопереноса, протекающие при взаимодействии испускаемого пожаром потока энергии с теплозащитным сетчатым экраном, в котором реализован предложенный принцип действия. Приведены результаты численных оценок коэффициентов поглощения тепловых потоков в различных режимах работы экрана.

Обоснована конструкция теплозащитного экрана, состоящая из двух сеток из нержавеющей стали, которые располагаются друг от друга на расстояниях от 0,1 до 0,2 м. В межсеточное расстояние через специально разработанную форсунку с определенной скоростью подается вода, генерируя воздушно-капельную среду.

Отмечается, что если скорость подачи воды на поверхность сетки меньше скорости ее испарения, то реализуется режим «сухой» сетки. В другом случае часть поступившей на сетку воды сливается по ней, образуя защитный водяной слой – режим «мокрой» сетки. Для этих режимов приведен анализ условий поглощения и отвода тепла теплозащитным экраном. В частности, приведена принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока преградой, представлена расчетная зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока в случае «стандартного» пожара. Приводятся данные об изменении коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока в зависимости от времени и температурных параметров.

Из представленных данных следует, что в случае «стандартного» пожара коэффициент ослабления лучистого теплового потока рассматриваемой преградой изменяется в зависимости от времени с начала горения и его минимальное значение равно  $k_d = 80$ , что указывает на высокую эффективность преграды по снижению тепловых потоков.

**Третья глава** работы посвящена разработке оптимальной конструкции форсунки для подачи охлаждающей жидкости с целью создания в межсеточном пространстве паро-капельно-воздушной среды и водяных пленок на поверхностях экрана.

В результате проведенного анализа автором выбран гидравлический способ распыления жидкости щелевой форсункой, который дает возможность получить достаточно хорошее качество распыления и КПД при относительно простой конструкции.

Отмечается, что одним из главных условий эффективной работы теплозащитного экрана – уменьшения проходящего сквозь него теплового потока, является повышение доли поглощенной и рассеянной энергии теплового излучения создаваемой в межсеточном пространстве паро-капельно-воздушной смеси. Эффективность такой защиты зависит, в первую очередь, от диаметра капель смеси, статистического распределения капель различных диаметров в потоке распыляемой воды, равномерности распределения паро-капельно-воздушной смеси в объеме межсеточного пространства и расхода воды в единицу времени.

В общей сложности автором экспериментально были проверены около 50 вариантов двух базовых типов щелевых форсунок. Разработана оптимальная конструкция, сочетающая конструктивные схемы щелевой, струйной и ударно-струйной форсунок.

Получены экспериментальные зависимости для определения оптимального расхода воды (до 80 г/с) от давления в системе (до 0,5 МПа) при изменяющемся диаметре канала форсунки (от 1,0 до 2,0 мм). При этом

установлено, что расход воды в 80 г/с для форсунки с диаметром канала 2,0 мм при рабочем давлении в системе 0,5 МПа является фактически достаточным для уменьшения теплового потока через экран площадью 1,125 м<sup>2</sup> примерно в 80 раз.

**Четвертая глава** посвящена экспериментальным исследованиям эффективности ослабления тепловых потоков противопожарными преградами на основе теплозащитных сетчатых экранов в широком диапазоне плотности тепловых потоков, характерном для условий реальных пожаров.

Следует особенно отметить разнообразие разработанных методик и объем проведенных натурных испытаний, в том числе в условиях открытого полигона.

Разработаны три экспериментальных стенда для определения:

1) параметров и характеристик теплозащитных экранов, обеспечивающих максимальную степень ослабления тепловых потоков;

2) характеристик противопожарных преград и теплозащитных экранов в условиях горения ГЖ и лесопиломатериалов с плотностью теплового излучения пламени до 75 кВт/м<sup>2</sup>;

3) характеристик противопожарного устройства в условиях горения пролива СПГ с плотностью теплового излучения пламени до 220 кВт/м<sup>2</sup>.

В результате выполненных исследований с использованием первого экспериментального стенда определены: оптимальные параметры сеток теплозащитного экрана, обеспечивающие образование устойчивых и сплошных пленок воды на их поверхностях при различных температурах и расходах воды; оптимальным расход воды 80-100 г/с на 1 м<sup>2</sup> экрана.

Предел огнестойкости образцов преград на основе теплозащитных экранов составляет не менее *EIW* 150, а их класс конструктивной пожарной опасности – К0.

В результате выполненных исследований с использованием второго экспериментального стенда установлена способность теплозащитного экрана и конструкции в виде коридора на его основе снижать тепловое излучение пламени 75 кВт/м<sup>2</sup> до безопасного для человека уровня.

Исследования характеристик противопожарного устройства на основе теплозащитных сетчатых экранов с использованием третьего экспериментального стенда проводились в два этапа:

1) в условиях горения пролива СПГ с внешней стороны конструкции;

2) в условиях горения пролива СПГ внутри конструкции.

В результате выполненных на первом этапе экспериментов установлено, что при интенсивности воздействия на противопожарное устройство теплового потока в  $220 \text{ кВт/м}^2$  значения тепловых потоков внутри конструкции на расстоянии 0,3 м от панелей устройства не превышали  $4,8 \text{ кВт/м}^2$  (коэффициент ослабления теплового потока не менее 45).

Результаты экспериментов на втором этапе показали, что панели устройства без воды являются негерметичными и через 3-5 с испаряющийся газ начинает свободно проникать через нижнюю их часть и растекаться по поверхности земли. Однако после подачи воды в панели устройства происходит его герметизация образующимися водяными пленками.

Кроме этого выявлено, что при поджоге газа, испаряющегося во внутреннем объеме конструкции, происходила вспышка с последующим переходом горения в верхнюю часть устройства из-за исключения доступа окислителя (воздуха) в наиболее опасную потенциальную зону горения – под днищем резервуара.

**В пятой главе** работы представлены описания разработанных на основе результатов выполненных исследований противопожарных преград и теплозащитных экранов, нашедших широкое применение в подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России, Минобороны РФ и на различных объектах НГК.

Впечатляет номенклатура промышленно изготавливаемых изделий под маркой «Согда», насчитывающая более 5 наименований.

**Заключение работы** содержит констатацию основных научных и практических ее результатов. **В приложении** представлены акты внедрения результатов диссертационной работы.

### **5 Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность основных результатов диссертации подтверждается обоснованностью выбора параметров и критериев, позволяющих сравнивать теоретические и экспериментальные данные; соответствием методик проведения экспериментальных исследований реальным условиям эксплуатации противопожарных преград и теплозащитных экранов на пожаре; использованием аттестованной измерительной аппаратуры, апробированных методик измерения и обработки экспериментальных данных; внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей.

### **6 Замечания по диссертационной работе**

1. Во второй главе следовало бы определить зависимость необходимого расхода подаваемой в экран воды от плотности падающего на него лучистого теплового потока.

2. В третьей главе дано описание существующих способов и средств распыления жидкости излишне подробно.

3. Вызывает сомнение эффективность применения описанных в работе сетчатых противопожарных преград для разделения зданий на пожарные отсеки из-за:

- почти мгновенной потери огнестойкости в случае прекращения подачи воды;

- значительного пролива воды при длительной работе преграды, способного нанести ущерб зданию и его содержимому.

4. В главе 5 не уточняются параметры потенциального механического поражения обломками аварийного оборудования, от которого обеспечивает защиту укрытие «Согда 4».

Следует отметить, что указанные замечания существенно не снижают качество работы и не влияют на ее основные теоретические и практические результаты.

### 7 Заключение

Рассматриваемая диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи по защите людей и оборудования от тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ за счет разработки и применения новых моделей противопожарных преград на основе теплозащитных сетчатых экранов. Внедрение которых вносит значительный вклад в обеспечение пожарной и промышленной безопасности объектов НГК, что **соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней»**, а ее автор Шимко Василий Юрьевич заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность» (нефтегазовая отрасль, технические науки).

Начальник отдела огнестойких,  
текстильных и композитных материалов  
АО «Центральный научно-исследовательский  
институт специального машиностроения»,  
кандидат технических наук  
«20» апреля 2018 г.



*С.В. Заикин*

С.В. Заикин

Подпись Заикина Сергея Вениаминовича заверяю:  
Секретарь НТС АО «ЦНИИСМ»

*Г.В. Краснова*

Г.В. Краснова

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ»)  
Россия, 141371, Московская обл., Сергиево-Посадский р-н, г. Хотьково, ул. Заводская  
Тел.: (495) 993-00-11. Факс: (49654) 3-82-94. E-mail: tsniism@tsniism.ru