

*На правах рукописи*



**Шимко Василий Юрьевич**

**ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ ПРЕГРАДЫ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ  
СЕТЧАТЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО  
КОМПЛЕКСА**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность  
(нефтегазовая отрасль, технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России в научно-исследовательском отделе управления рисками и обеспечения безопасности сложных технических систем в составе научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем государственной противопожарной службы

Научный руководитель: заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Брушлинский Николай Николаевич

Официальные оппоненты: Тагиев Рамис Марданович,  
доктор технических наук,  
Некоммерческая организация  
Ассоциация инженеров  
«Национальная палата инженеров»,  
вице-президент

Заикин Сергей Вениаминович,  
кандидат технических наук,  
АО «Центральный научно-  
исследовательский институт  
специального машиностроения»,  
начальник отдела огнестойких, текстильных  
и композитных материалов

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета»  
научно-исследовательский институт  
противопожарной обороны» МЧС России

Защита диссертации состоится «15» мая 2018 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<http://academygps.ru/upload/iblock/771/7710669478b84578bc7575007a4d854a.pdf>

Автореферат диссертации разослан «21» марта 2018 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Сивенков Андрей Борисович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Нефтегазовая промышленность России является одной из важнейших отраслей национальной экономики, способствующей развитию других отраслей народного хозяйства и обеспечивающей существенный вклад в валовый национальный продукт. Вместе с тем, предприятия нефтегазового комплекса (НГК) относятся к объектам повышенной опасности, так как газ, нефть и продукты их переработки при определенных условиях могут взрываться и (или) гореть.

Анализ статистических данных о пожарах и взрывах на объектах НГК, выполненный за период с 1998 по 2016 гг., показал, что на них практически еженедельно происходят деструктивные события, приводящие к травмам и гибели людей, значительному материальному и экологическому ущербу. При этом отличительной особенностью большинства пожаров проливов горючих жидкостей (ГЖ) и сжиженного природного газа (СПГ) являлась высокая интенсивность тепловых потоков, воздействие которых приводило к уничтожению технологического оборудования, зданий, сооружений, различной техники, затруднению работы и обеспечения безопасности как персонала объекта, так и личного состава пожарной охраны.

Таким образом, одной из актуальных задач в системе противопожарной защиты объектов НГК является разработка надежных противопожарных преград, существенно снижающих плотность тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ, чему и посвящена настоящая работа.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросам разработки противопожарных преград посвящено большое количество работ, выполненных как отечественными (Ройтман М.Я., Иванов Е.Н., Петров В.К., Исхаков Х.И., Полежаев Ю.В., Морозюк Ю.В., Кошмаров Ю.А., Карпов В.Л., Страхов В.Л., Давыдкин Н.Ф., Заикин С.В., Копылов Н.П., Брушлинский Н.Н., Усманов М.Х. и др.), так и зарубежными учеными (*Jacques R., Tonkia R., Smith W., Nevin L., Sakurai A., Stoebich J., Hattori T., Jamison W. et al*).

Однако, анализ результатов этих исследований, а также российских и зарубежных патентов на изобретения в рассматриваемой области, показал, что применяемые как в отечественной, так и в мировой практике противопожарные преграды имеют ряд существенных недостатков, в частности, ограниченный предел огнестойкости, требование большого расхода воды, сложность конструкций, неприемлемо высокая стоимость и др. При этом важно отметить, что простая модернизация любого из существующих способов обеспечения теплозащиты не позволяет существенно повысить их эффективность, что требует поиска новых технических решений.

**Целью работы** являлась разработка высокоэффективных противопожарных преград на основе теплозащитных сетчатых экранов, принцип действия которых основан на многократном ослаблении плотности теплового излучения пламени пожаров проливов ГЖ и СПГ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– предложить альтернативный способ защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ на основе применения теплозащитных сетчатых экранов;

– выполнить теоретические исследования механизма теплопереноса, протекающего при взаимодействии потока энергии, излучаемого пожаром, с теплозащитным сетчатым экраном, а также численные оценки коэффициентов поглощения тепловых потоков в режимах «сухой» и «мокрой» сеток экрана;

– обосновать наиболее эффективный способ распыления воды в межсеточном пространстве экрана и оптимальную конструкцию форсунки с экспериментальным определением ее характеристик, направленных на обеспечение равномерного заполнения межсеточного пространства экрана каплями распыляемой воды;

– экспериментально определить оптимальные параметры теплозащитных экранов (материал сеток, диаметр проволоки, размеры ячеек, межсеточное расстояние, расход воды на 1 м<sup>2</sup> экрана), обеспечивающих максимальную степень ослабления тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ, а также огнестойкость противопожарной преграды, выполненной на основе применения теплозащитных сетчатых экранов;

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

**Объектом исследования** являлся процесс ослабления плотности теплового потока пожара пролива ГЖ и СПГ, определяющий эффективность противопожарных преград и теплозащитных сетчатых экранов.

В качестве **предмета исследования** рассматривались различные модели противопожарных преград и теплозащитных сетчатых экранов, конструктивную основу которых составляли металлический каркас, сетчатые панели и специальные форсунки, распыляющие воду между панелями.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

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.

2. В результате теоретических исследований механизма теплопереноса, протекающего при взаимодействии потока энергии, излучаемого пожаром, с теплозащитным сетчатым экраном, а также численных оценок коэффициентов поглощения тепловых потоков в режимах «сухой» и «мокрой» сеток экрана установлено, что коэффициент 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. При этом показано, что оптимальным распыливающим устройством будет являться форсунка-симбиоз конструктивных схем щелевой, струйной и ударно-струйной форсунок. Численно и экспериментально определены характеристики форсунки, обеспечивающие равномерное заполнение межсеточного пространства экрана каплями распыляемой воды.

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, а также установлено, что предел огнестойкости противопожарной преграды, выполненной на основе применения теплозащитных сетчатых экранов, составляет не менее *EIW* 150, при этом класс конструктивной пожарной опасности такой конструкции – К0.

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

**Теоретическая и практическая значимость 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. В частности, разработаны и широко применяются на практике:

– противопожарные преграды «Согда» для защиты пожароопасных объектов;

– противопожарные устройства для рассеивания газового облака, образующегося при утечке СПГ из наземной емкости хранения;

– теплозащитные экраны для защиты личного состава пожарной охраны моделей «Согда» 1А.01, «Согда» 1В и «Согда» 2А;

– теплозащитные экраны для защиты оборудования, зданий и эвакуации людей модели «Согда» 3;

– теплозащитные экраны для защиты людей при проведении работ по ликвидации аварий на газовых и нефтяных фонтанах модели «Согда» 4.

**Методология и методы исследования.** Основу теоретических исследований составляли методы теории теплообмена, оптической теории излучения, теории вероятностей и математической статистики, выявления закономерностей, описания, обобщения. Результаты численных расчетов подтверждены результатами экспериментальных исследований с использованием современных поверенных приборов и оборудования.

Информационной основой исследования являлись отечественные и зарубежные литературные, правовые и нормативные источники, материалы исследований аварий и пожаров с участием ГЖ и СПГ на объектах НГК, а также научно-исследовательских работ в области разработки противопожарных преград.

**Положения, выносимые на защиту:**

– противопожарные преграды на основе теплозащитных сетчатых экранов как альтернативный способ защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ;

– результаты теоретических исследований механизма теплопереноса, протекающего при взаимодействии потока энергии, излучаемого пожаром, с теплозащитным сетчатым экраном, а также численных расчетов коэффициентов поглощения тепловых потоков в режимах «сухой» и «мокрой» сеток экрана;

– результаты численного и экспериментального определения характеристик форсунки, обеспечивающих равномерное заполнение межсеточного пространства экрана каплями распыляемой воды;

– результаты экспериментального определения оптимальных параметров теплозащитных экранов, обеспечивающих максимальную степень ослабления тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ, а также огнестойкости противопожарной преграды, выполненной на основе применения теплозащитных сетчатых экранов;

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

**Степень достоверности полученных результатов и выводов, сформулированных в 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.

**Материалы диссертации реализованы при:**

– разработке нормативного документа по пожарной безопасности «Рекомендации по применению теплозащитных экранов». М.: ВНИИПО, 2012 г.;

– разработке нормативного документа по пожарной безопасности «Рекомендации по пожаробезопасному применению малотоннажных установок хранения и распределения сжиженного природного газа». М.: ВНИИПО, 2014 г.;

– разработке свода правил СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности». М.: ВНИИПО, 2014 г.;

– разработке свода правил СП 231.1311500.2015 «Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности». М.: ВНИИПО, 2015 г.;

– практическом применении теплозащитных экранов для защиты персонала и оборудования объектов добычи, подготовки и транспорта газа на объектах ОАО «Газпром», 2015 г.;

– разработке и внедрении новых методов тушения нефтепродуктов в резервуарах и крупных площадных пожаров. Дзержинский: ФГУП «Федеральный центр двойных технологий «Союз», 2017 г.

**Основные результаты работы доложены на:**

– Международной научно-практической конференции «Организационные и научно-технические проблемы обеспечения пожарной безопасности» (г. Ташкент, ВТШПБ МВД РУз., 2008);

– Научно-практической конференции «Ориентированные фундаментальные исследования – от современной науки к технике будущего» в рамках 10-ой юбилейной специализированной выставки «Изделия и технологии двойного назначения. Диверсификация ОПК» (М.: Эксподизайн-Холдинг, 2009);

– XXIX Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России «Горение и проблемы тушения пожаров» (М.: ВНИИПО, 2017).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 научных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 149 страницах текста, включает в себя 5 таблиц, 58 рисунков, список литературы из 114 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

**В первой главе** диссертации «Анализ статистики опасных инцидентов на объектах нефтегазового комплекса, требований норм к противопожарным преградам и существующих конструкций преград» представлены результаты анализа данных об опасных инцидентах, произошедших на объектах НГК за период с 1998 по 2016 гг., основные требования нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности, предъявляемые к противопожарным преградам, а также анализ результатов российских и зарубежных исследований в области разработки противопожарных преград.

В целом, анализ статистики показал, что опасные ситуации в большинстве случаев происходили из-за утечек ГЖ или СПГ из технологического оборудования по различным причинам, в частности, из-за износа оборудования, в том числе, коррозионного, применения недостаточно качественных сальниковых уплотнений и фланцевых соединений, дефектов сварочно-монтажных работ и др. В результате этих событий происходило образование парогазового облака с его дальнейшим воспламенением (взрывом) или пролив ГЖ (СПГ) с последующим возгоранием паров.

При этом большинство возникающих на этих объектах пожаров сопровождалось высокой интенсивностью тепловых потоков, воздействие которых приводило к уничтожению зданий, сооружений, технологического оборудования, разнообразной техники, затрудняло работу и обеспечение безопасности как персонала объекта, так и личного состава пожарных подразделений и аварийно-спасательных формирований.

Анализ статистики также показал, что несмотря на существующее многообразие типов противопожарных преград, эффективно снижать тепловые потоки от таких пожаров способны из них далеко не все. Поэтому в работе сделан вывод о необходимости разработки новых типов противопожарных преград, позволяющих существенно снижать плотность тепловых потоков при пожарах проливов ГЖ или СПГ на объектах НГК.

Анализ требований нормативных документов по пожарной безопасности, предъявляемых к противопожарным преградам, показал, что они классифицируются по способу предотвращения распространения опасных факторов пожара (ОФП) и характеризуются огнестойкостью и пожарной опасностью. При этом важно отметить, что такие преграды выполняют многоцелевое назначение, чем и обуславливается их эффективность и экономическая целесообразность.

Выполненный в работе анализ результатов российских и зарубежных исследований в области разработки противопожарных преград показал, что в их конструкциях реализуются различные способы предотвращения распространения ОФП (водяные завесы, различные виды теплозащитных экранов простейших конструкций, комбинированные экраны, устройства с возможностью проявления синергически интенсивного процесса непрерывного физического эффекта испарительного охлаждения и др.). При этом установлено, что практически все преграды имеют ряд существенных недостатков, связанных с ограниченным пределом огнестойкости, требуемым большим расходом воды, сложностью конструктивного исполнения, высокой стоимостью. Следует также отметить, что простая модернизация каждого из рассмотренных способов и средств обеспечения теплозащиты не позволяет существенно повысить их эффективность, что и требует поиска новых технических решений.

В связи с изложенным, в качестве альтернативного способа защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ или СПГ, к рассмотрению и разработке предлагаются противопожарные преграды на основе теплозащитных сетчатых экранов, принцип действия которых основан на многократном ослаблении плотности теплового излучения пламени. Такой эффект достигается созданием между двумя металлическими сетками неоднородной водной среды, состоящей из водяных капель, пара и пленки. Эти состояния воды интенсивно взаимодействуют друг с другом, сетками и тепловым потоком. При этом происходят следующие физические процессы: отражение, поглощение и отвод теплового потока сеткой и пленкой воды, образуемой на панелях; частичное испарение воды, стекающей по сеткам; рассеяние теплового излучения каплями воды и частицами пара.



Во второй главе диссертации «Теоретические исследования принципа работы противопожарных преград на основе теплозащитных сетчатых экранов» рассмотрены вопросы механизма теплопереноса, протекающего при взаимодействии потока энергии, излучаемого пожаром, с теплозащитным сетчатым экраном, а также приведены результаты численных оценок коэффициентов поглощения тепловых потоков в режимах «сухой» и «мокрой» сеток экрана.

В общем виде конструкция предлагаемого в настоящей работе теплозащитного экрана представляет собой две сетки (I и II) из нержавеющей стали, высота которых равна  $l$  (рисунок 1). Сетки располагаются на расстоянии  $h$  друг от друга в диапазоне изменения межсеточного расстояния от 0,1 до 0,2 м. В пространство между сетчатыми панелями экрана подается вода, распыляемая через форсунку (III), генерируя воздушно-капельную среду со скоростью  $V$ . На сетку I падает тепловой поток с плотностью  $P_0$  (Вт/м<sup>2</sup>).

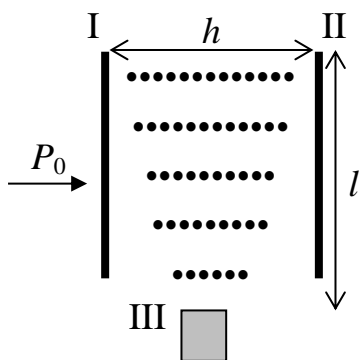


Рисунок 1 – Схематическое изображение теплозащитного экрана

В зависимости от величины потока тепла и расхода воды в системе реализуются различные режимы теплозащиты. Различие в этих режимах связано, прежде всего, с условиями подвода тепла, подвода охлаждающего реагента (в данном случае воздушно-капельной смеси) и теплообмена на первой сетке. Если скорость подачи воды на поверхность сетки меньше скорости ее испарения, то реализуется режим «сухой» сетки. В противном случае часть поступившей на сетку воды сливается по ней, образуя защитный водяной слой – режим «мокрой» сетки. Анализ условий поглощения и отвода тепла теплозащитным экраном для различных режимов приведен в диссертации.

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

$$k_{л} = \frac{q_{л}}{q}, \quad (1)$$

где  $k_{л}$  – коэффициент снижения плотности лучистого теплового потока;  $q_{л}$  – плотность лучистого теплового потока, падающего на поверхность противопожарной преграды со стороны огневого пространства печи, Вт/м<sup>2</sup>;  $q$  – плотность лучистого теплового потока на расстоянии 0,5 м от геометрического центра необогреваемой поверхности конструкции преграды, полученная по результатам сертификационных испытаний, Вт/м<sup>2</sup>.

Основой для расчета нагрева строительной конструкции от теплового излучения является уравнение лучистого теплообмена:

$$q = \varepsilon_{пр} c_0 \left[ \left( \frac{T_{и}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{пов}}{100} \right)^4 \right] \Psi_{21}, \quad (2)$$

где  $q$  – плотность лучистого теплового потока, падающего на поверхность конструкции, Вт/м<sup>2</sup>;  $T_{и}$  – температура излучающей поверхности, К;  $T_{пов}$  – температура на облучаемой поверхности конструкции, К;  $\varepsilon_{пр}$  – приведенная степень черноты системы;  $c_0$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,7 Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $\psi_{21}$  – коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями, в который в неявной форме входит расстояние  $r$  по нормали между излучающей и облучаемой поверхностями.

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

$$\psi_{21} = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{a}{\sqrt{a^2 + r^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{a^2 + r^2}} + \frac{b}{\sqrt{b^2 + r^2}} \operatorname{arctg} \frac{a}{\sqrt{b^2 + r^2}} \right), \quad (3)$$

где  $r$  – расстояние между излучающей и облучаемой поверхностями по нормали, м;  $a$  и  $b$  – стороны прямоугольника пламени, м.

Выполним оценку физических механизмов ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой в режиме «мокрой» сетки.

Конвективный тепловой поток в сетку со стороны печи стремится к нулю, так как образующиеся пары воды являются преградой на пути движения продуктов горения к сетке (режим «оттеснения» пограничного слоя).

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

$$q_{л} = q_{л.м} + q_{л.о}, \quad (4)$$

где  $q_{л.м}$  – часть плотности лучистого теплового потока, падающая на металлическую поверхность преграды, охлаждаемую водой, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_{л.о}$  – часть лучистого теплового потока, попадающая на отверстия металлической решетки, Вт/м<sup>2</sup>.

Из геометрических соображений:

$$q_{л.м} = k_{м} q_{л}; \quad (5)$$

$$q_{л.о} = (1 - k_{м}) q_{л}, \quad (6)$$

где  $k_{м} = F_{м} / F$  – коэффициент, равный отношению площади поверхности преграды, занимаемой металлом ( $F_{м}$ , м<sup>2</sup>), к суммарной площади поверхности преграды ( $F$ , м<sup>2</sup>).

При размерах металлической ячейки сетки 0,9×0,9 мм и квадратного отверстия ячейки 0,4×0,4 мм коэффициент  $k_{м} = 0,6213$ .

На рисунке 2 приведена принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока преградой при рассмотренных выше исходных данных.

На рисунке 3 представлена зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока, определяемого по формуле (1), в случае «стандартного» пожара.

В таблице 1 приведены данные об изменении коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока в зависимости от времени и температурных параметров.

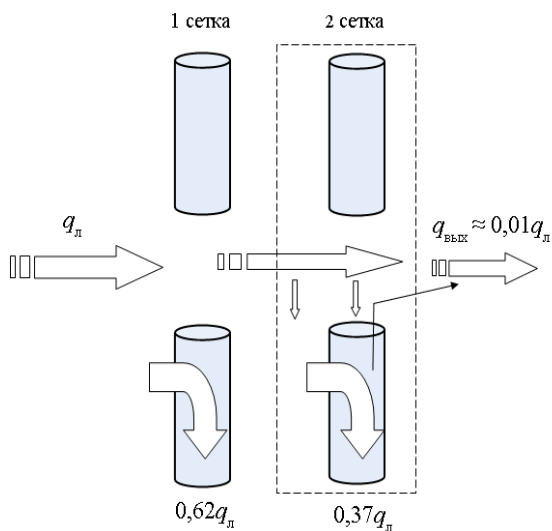


Рисунок 2 – Принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой

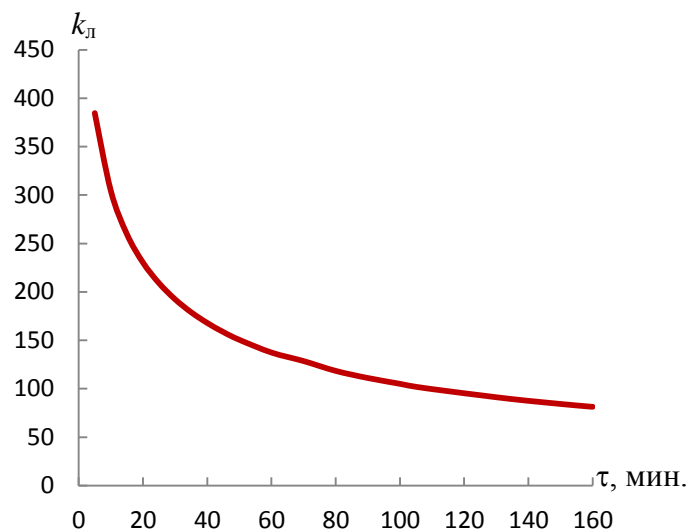


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента снижения плотности лучистого теплового потока от времени

Таблица 1 – Изменение коэффициента снижения плотности теплового потока в зависимости от времени и температуры

Промежуток времени от начала испытаний, мин.	Диапазон изменения среднеобъемной температуры, °C	Коэффициент снижения плотности лучистого теплового потока, $k_d$
$0 < \tau < 20$	$20 < T < 814,6$	$380 \div 230$
$20 \leq \tau < 40$	$814,6 \leq T < 884,7$	$230 \div 170$
$40 \leq \tau < 60$	$884,7 \leq T < 945,3$	$170 \div 140$
$60 \leq \tau < 80$	$945,3 \leq T < 988,4$	$140 \div 120$
$80 \leq \tau < 100$	$988,4 \leq T < 1021,8$	$120 \div 105$
$100 \leq \tau < 120$	$1021,8 \leq T < 1055,2$	$105 \div 95$
$120 \leq \tau < 140$	$1055,2 \leq T < 1092,1$	$95 \div 90$
$140 \leq \tau < 160$	$1055,2 \leq T < 1092,1$	$90 \div 80$

Таким образом, в случае «стандартного» пожара коэффициент ослабления лучистого теплового потока рассматриваемой преградой изменяется в зависимости от времени с начала горения и его минимальное значение равно  $k_d = 80$ .

**В третьей главе** работы «Средства распыления воды» представлено описание процесса распыления струи жидкости, рассмотрены способы распыления жидкости, характеристики распылов и конструкции форсунок, с учетом назначения разрабатываемого экрана даны обоснование способа распыления в нем жидкости и описание оптимальной конструкции форсунки, приведены результаты расчетного и экспериментального определения ее характеристик.

Процесс распыления струи жидкости заключается в дроблении струи (пленки) жидкости на большое число капель и распределении их в пространстве. Независимо от существующих точек зрения на механизм распыления (образование поверхностных микроволн, турбулентность жидкости, кавитация) причиной образования капель является колебательный процесс, развивающийся

вблизи среза сопла распылителя. Основным внешним фактором считается воздействие на поверхность струи аэродинамической силы, стремящейся деформировать и разорвать струю. Внутренними причинами являются различного рода начальные возмущения, связанные с конструкцией распылителя, качеством его изготовления, нарушением цилиндрической формы струи при выходе из сопла, вибрации сопла и др.

Распыление жидкости принято классифицировать исходя из условий перемещения струи: гидравлическое, механическое, пневматическое, пульсационное, ультразвуковое, электрическое. В работе подробно анализируется каждый из этих способов распыления, показаны их достоинства и недостатки. Отмечается, что в зависимости от конкретных условий производства и требований к качеству и дисперсности готового продукта наиболее экономичным может оказаться любой из рассмотренных способов. Кроме этого, в диссертации проанализированы основные характеристики (показатели) распылов, непосредственно влияющих на качество процесса распыления жидкости, а, следовательно, и на эффективность разрабатываемой конструкции теплозащитного экрана (дисперсные, распределения капель жидкости по сечению факела распыла, формы факела, расходные, гидродинамические, энергетические). При этом отмечается, что только расходные и энергетические характеристики связаны с конструкцией распыливающего устройства, а все остальные относятся к уже сформировавшемуся распылу.

В диссертации также приводится классификация гидравлических форсунок, основанная на принципе их работы (струйные, центробежные, центробежно-струйные, ударно-струйные, с соударением струй, комбинированные), позволяющая правильно подойти к выбору принципиальной схемы, конструированию и применению такого рода устройств в конкретных аппаратах, в том числе, и в разрабатываемых теплозащитных экранах.

В результате проведенного анализа выбор был остановлен на гидравлическом способе распыления жидкости щелевой форсункой, который дает возможность получить достаточно хорошее качество распыления, а также технологически упрощает изготовление распылителя, позволяет выйти на оптимальную величину КПД распыления и снизить до минимума энергозатраты. Таким образом, данный способ является экономически обоснованным и соответствует требованиям, предъявляемым к качеству распыления.

Одним из главных условий эффективной работы теплозащитного экрана, то есть уменьшения теплового потока, проходящего сквозь экран, является повышение степени поглощения и рассеяния энергии теплового излучения паро-капельно-воздушной смесью, создаваемой в межсеточном пространстве. Очевидно, что эффективность такой защиты зависит, в первую очередь, от диаметра капель смеси, статистического распределения капель различных диаметров в потоке распыляемой воды (количественного состава в процентном отношении), равномерности распределения паро-капельно-воздушной смеси в объеме межсеточного пространства, расхода воды в единицу времени.

Исходя из этого, поиск наиболее эффективной конструкции форсунки, отвечающей всем перечисленным требованиям, сводился к задаче по оптимизации этих важных факторов. В общей сложности экспериментально были проверены около 50 вариантов двух базовых типов щелевых форсунок. Однако в процессе опытно-конструкторской работы форсунка подвергалась неоднократному изменению, в результате чего была найдена оптимальная конструкция распыливающего устройства в виде форсунки на основе симбиоза конструктивных схем щелевой, струйной и ударно-струйной форсунок.

На рисунке 4 показана принципиальная схема работы разработанной форсунки. Вода под давлением поступает из основной магистрали 2 корпуса 1 по взаимопараллельным каналам 3 в канал 4, который пересечен пазом 5. В месте пересечения канала 4 и паза 5 происходит соударение встречных струй воды, истекающих из цилиндрических отверстий 7. Соударение струй происходит по строго встречным направлениям, образуя плоский факел. Угол раскрытия факела в  $180^\circ$  ограничивается плоским дном 6 паза 5.

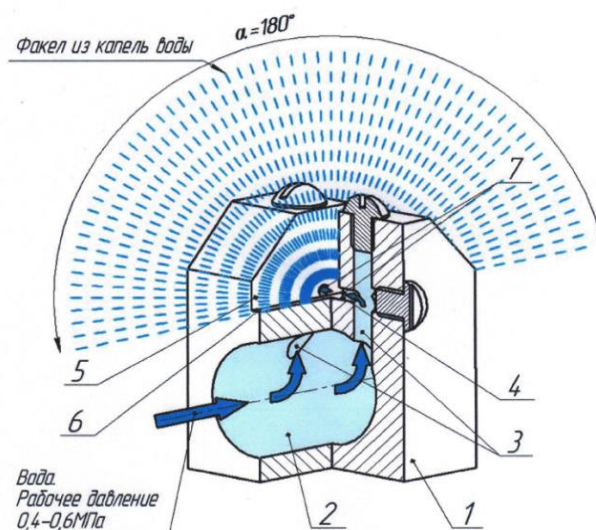


Рисунок 4 – Принципиальная схема работы форсунки

Задача по уменьшению теплового потока с помощью теплозащитных экранов, использующих паро-капельную смесь, требует также оптимизации в условиях дефицита воды по такому важному фактору, как объем воды, расходуемый на  $1 \text{ м}^2$  площади экрана или расход воды на одну форсунку. В работе приводятся экспериментальные зависимости для определения оптимального расхода воды (до  $80 \text{ г/с}$ ) от давления в системе (до  $0,5 \text{ МПа}$ ) при изменяющемся диаметре канала форсунки (от  $1,0$  до  $2,0 \text{ мм}$ ). При этом установлено, что расход воды в  $80 \text{ г/с}$  для форсунки с диаметром канала  $2,0 \text{ мм}$  при рабочем давлении в системе  $0,5 \text{ МПа}$  является фактически достаточным для уменьшения теплового потока через экран площадью  $1,125 \text{ м}^2$  примерно в 80 раз.

**В четвертой главе** работы «Экспериментальные исследования эффективности ослабления тепловых потоков противопожарными преградами на основе теплозащитных сетчатых экранов» сформулированы задачи исследований, в соответствии с которыми определены требования к разработке экспериментальных стендов, приведены описания стендов и соответствующих методик исследований, а также представлены результаты определения параметров, обеспечивающих максимальную эффективность экранов по ослаблению тепловых потоков, характерных для условий реальных пожаров, и степени огнестойкости противопожарной преграды на основе теплозащитных экранов.

Основными задачами экспериментальных исследований являлись изучение процессов, протекающих при взаимодействии потока энергии, излучаемого пожаром, с противопожарной преградой на базе теплозащитных сетчатых экранов, и определение параметров, обеспечивающих максимальную эффективность теплозащитных экранов в широком диапазоне плотности тепловых потоков, характерном для условий реальных пожаров.

В соответствии с поставленными задачами были разработаны три экспериментальных стенда, соответственно для определения:

- параметров и характеристик теплозащитных экранов, обеспечивающих максимальную степень ослабления тепловых потоков;
- характеристик противопожарных преград и теплозащитных экранов в условиях горения ГЖ и лесопиломатериалов с плотностью теплового излучения пламени до  $75 \text{ кВт/м}^2$ ;
- характеристик противопожарного устройства в условиях горения пролива СПГ с плотностью теплового излучения пламени до  $220 \text{ кВт/м}^2$ .

На рисунке 5 представлена принципиальная схема экспериментального стенда для определения параметров и характеристик теплозащитных экранов, обеспечивающих максимальную степень ослабления тепловых потоков.

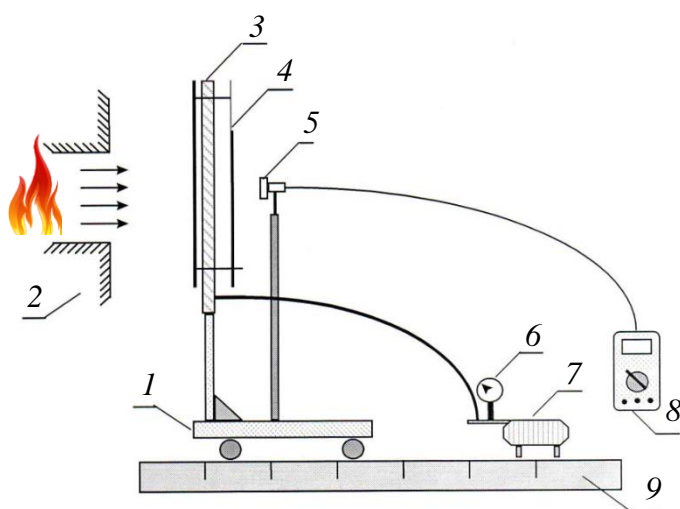


Рисунок 5 – Принципиальная схема экспериментального стенда:  
 1 – платформа; 2 – источник теплового излучения; 3 – каркас; 4 – модуль защитного экрана; 5 – датчик теплового потока; 6 – манометр; 7 – водяной насос; 8 – регистрирующая аппаратура; 9 – направляющие рельсы

В качестве источника теплового излучения (поз. 2 на рисунке 5) применялась кузнечная печь с размерами окна  $0,6 \times 0,9 \text{ м}^2$ , температура пламени  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ , плотность теплового потока до  $25 \text{ кВт/м}^2$ . Модуль защитного экрана (поз. 4 на рисунке 5) представлял собой две металлические сетчатые поверхности с размером каждой  $1 \times 1 \text{ м}^2$ , закрепленные на каркасе параллельно друг другу.

В целом конструкция экспериментального стенда позволяла: использовать сетки из различных материалов и с разными размерами ячеек; использовать различные форсунки; варьировать межсеточное расстояние и расстояние от источника теплового излучения до экрана; варьировать давление и расход воды, подаваемой на форсунки; обеспечивать измерения теплового потока в диапазоне от  $0,05$  до  $25 \text{ кВт/м}^2$  с точностью не менее  $0,01 \text{ кВт/м}^2$ ; проводить измерения температуры водной пленки на поверхностях сеток.

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Модуль защитного экрана (4) устанавливался на платформе (1) на фиксированном расстоянии от источника теплового излучения (2). Подготавливались к работе измерительные (5) и регистрирующие (8) приборы. Включался насос подачи воды (7) и регистрировалось давление воды в магистрали по манометру (6). С помощью датчика (5) фиксировались значения плотности теплового потока за модулем экрана.

Эксперимент продолжался до получения стационарных значений плотности теплового потока за модулем защитного экрана. После окончания опыта, приведения установки в первоначальное состояние и изменения одного из начальных условий эксперимента (расход воды, расстояние от модуля экрана до источника теплового потока, размер ячеек сетки, тип форсунки и т. п.), процедура опыта повторялась.

В результате выполненных экспериментов установлено, что:

- в результате подбора оптимальных параметров сеток теплозащитного экрана происходит образование устойчивых и сплошных пленок воды на сетчатых поверхностях при различных температурах и расходах воды;
- оптимальным представляется расход воды от 80 до 100 г/с на 1 м<sup>2</sup> экрана;
- оптимальное расстояние между сетками экрана составляет 0,15 м;
- при оптимальных расходах воды и расстояния между сетками экрана значение коэффициента ослабления теплового потока достигает 130.

На рисунке 6 представлена принципиальная схема экспериментального стенда для определения характеристик противопожарных преград и теплозащитных экранов в условиях горения ГЖ и лесопиломатериалов с плотностью теплового излучения пламени до 75 кВт/м<sup>2</sup>.

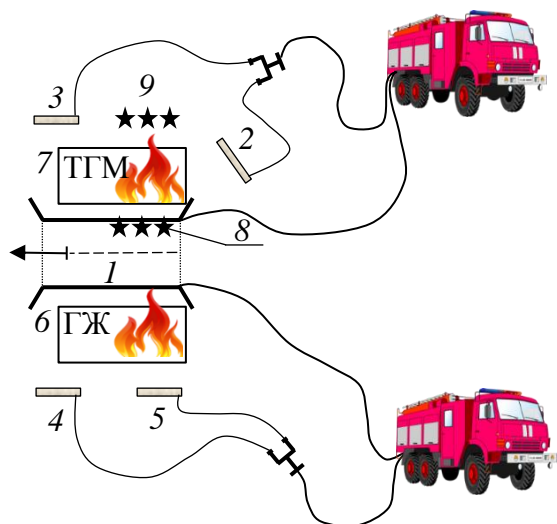


Рисунок 6 – Принципиальная схема экспериментального стенда:  
 1 – теплозащитный коридор;  
 2-5 – теплозащитные экраны;  
 6 – противень с ГЖ;  
 7 – ТГМ (штабель лесопиломатериалов);  
 8, 9 – измерительные и регистрирующие приборы

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Противопожарная преграда в виде теплозащитного коридора (1) и теплозащитные экраны (2-5) устанавливались на испытательной площадке. Размещались противень с ГЖ (6) и опытный штабель лесопиломатериалов (7), предварительно пропитанный горючей жидкостью (ТГМ).



Подготавливались к работе измерительные и регистрирующие приборы (8, 9). Поджигались источники теплового излучения (ТГМ и ГЖ) и включался насос подачи воды. Регистрировалось давление воды в магистрали, фиксировались значения плотности теплового потока внутри теплозащитного коридора. Эксперимент продолжался до получения стационарных значений плотности теплового потока внутри теплозащитного коридора, при этом отработывалась методика тушения пожара с использованием экранов.

После окончания опыта, приведения установки в первоначальное состояние и изменения одного из начальных условий эксперимента (расход воды, расстояние от противопожарных преград до источников теплового потока, размеров и массы пожарной нагрузки и т. п.), процедура опыта повторялась.

В результате выполненных экспериментов установлено, что:

– величина наибольшего проходящего через теплозащитный экран теплового потока составляла  $0,7 \text{ кВт/м}^2$  на высоте более  $1,5 \text{ м}$  от уровня земли, при этом минимальное значение коэффициента ослабления теплового потока равнялось  $80$ ;

– при величине плотности теплового потока падающего на стены теплозащитного коридора  $75 \text{ кВт/м}^2$  значения тепловых потоков, измеренных на расстояниях в  $0,2 \text{ м}$  от внутренней стенки коридора, не превышали  $1,0 \text{ кВт/м}^2$ , что является безопасным для человека в течение длительного времени.

С целью возможности применения разработанных теплозащитных экранов на практике в качестве противопожарных преград были проведены их сертификационные испытания на огнестойкость. Образец для испытаний представлял собой стационарную противопожарную преграду размерами  $1500 \times 1500 \text{ мм}$  (рисунок 7), состоящую из девяти блок-панелей с фильтрами, основу которых составляли сетки нормальной точности из нержавеющей стали. В нижней части конструкции преграды с необогреваемой стороны устанавливались соединительные напорные головки с резиновыми кольцами, к которым подсоединялись напорные рукава для подачи воды к распыляющим форсункам, расположенным в верхней части конструкции. Давление воды в системе при испытаниях составляло  $0,4 \text{ МПа}$ .



Рисунок 7 – Фрагмент испытаний образца преграды на огнестойкость

В результате выполненных испытаний установлено, что предел огнестойкости образцов преград на основе теплозащитных экранов составляет не менее  $EIW 150$ , а их класс конструктивной пожарной опасности –  $K0$ .

На основе полученных результатов сделан вывод о возможности применения теплозащитных сетчатых экранов в конструкциях противопожарных преград с целью их практического применения, в первую очередь, на объектах НГК.



На рисунке 8 представлена принципиальная схема экспериментального стенда для определения характеристик противопожарного устройства в условиях горения пролива СПГ с плотностью теплового излучения пламени до  $220 \text{ кВт/м}^2$ .

Методика проведения опытов заключалась в следующем. Цилиндрическая емкость (11) диаметром 1,0 м и высотой 3,0 м, выполняющая функцию имитатора резервуара с СПГ устанавливалась в вертикальном положении в центре бетонного ограждения (9), представляющего собой в плане квадрат со стороной 3,0 м и высотой 1,0 м.

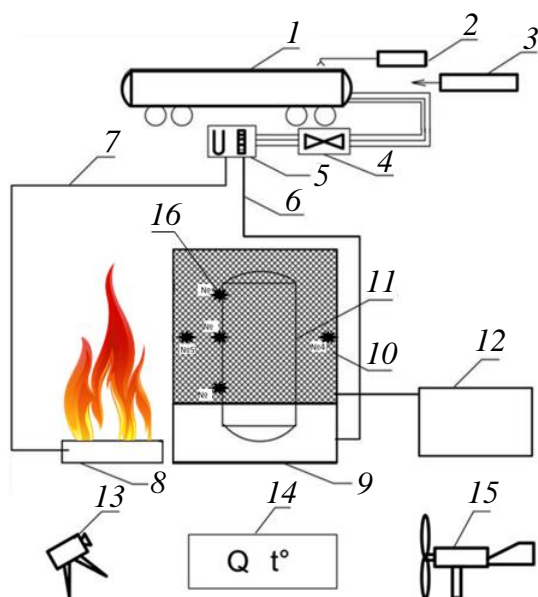


Рисунок 8 – Принципиальная схема экспериментального стенда:  
 1 – транспортная емкость с СПГ; 2 – установка водяного орошения; 3 – установка пожаротушения; 4 – пульт регулирования расхода газа; 5 – пульт измерения расхода газа; 6 – линия подачи СПГ в ограждение резервуара; 7 – линия подачи СПГ в очаг горения; 8 – очаг горения пролива СПГ; 9 – ограждение резервуара; 10 – противопожарное устройство; 11 – цилиндрическая емкость; 12 – система водообеспечения; 13 – видео- и фоторегистрирующая аппаратура; 14 – измерительная и регистрирующая аппаратура; 15 – метеостанция; 16 – датчики и термопары (№№ 1-5)

Четыре модуля противопожарного устройства (10) размером  $3,0 \times 4,0 \text{ м}$  устанавливались на верхней кромке ограждения и образовывали прямоугольный параллелепипед высотой 4,0 м, внутри которого и находилась защищаемая емкость с СПГ. Внутри конструкции экрана устанавливались термопары и датчики тепловых потоков (16). Вокруг установки размещались датчики тепловых потоков и газовые анализаторы (14). Транспортная емкость с СПГ (1) через пульт регулирования расхода газа (4) и измерительный пульт (5) подсоединялась через линии подачи СПГ (6) и (7) к ограждению резервуара (9) и внешнему очагу горения (8). Приводились в готовность установка водяного орошения транспортной емкости с СПГ (2) и установка пожаротушения транспортной емкости с СПГ (3). Включалась измерительная и регистрирующая аппаратура (13) и (14). СПГ подавалось в ограждение резервуара (9) или внешний очаг горения (8). Включалась система водообеспечения (12). Облако СПГ поджигалось и осуществлялась регистрация измеряемых параметров. В ходе проведения экспериментов с помощью метеостанции (15) регистрировались параметры окружающей среды. После окончания опыта, приведения установки в первоначальное состояние и изменения одного из начальных условий эксперимента (расход СПГ, расход воды, время горения и т. п.), процедура опыта повторялась.

Экспериментальные исследования характеристик противопожарного устройства проводились в два этапа:

- 1) в условиях горения пролива СПГ с внешней стороны конструкции (рисунок 9);
- 2) в условиях горения пролива СПГ внутри конструкции (рисунок 10).

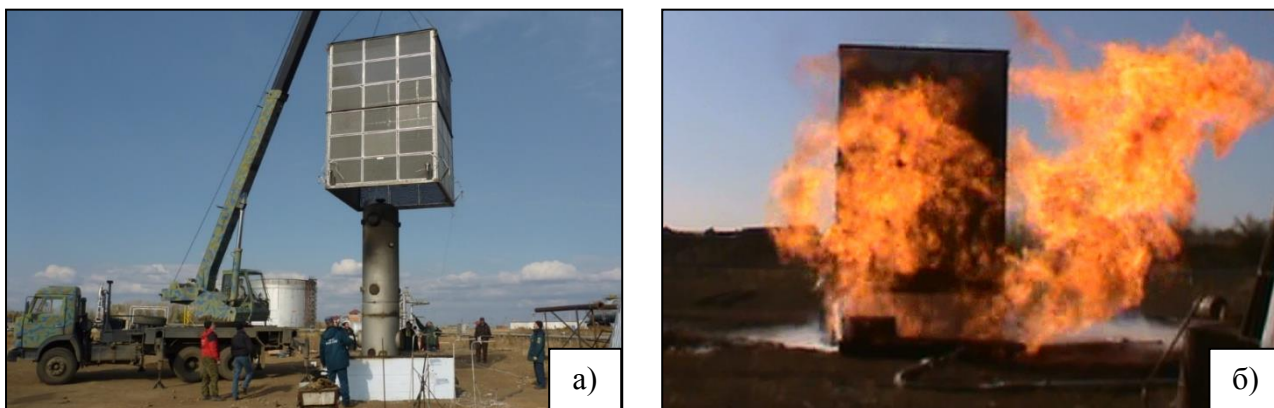
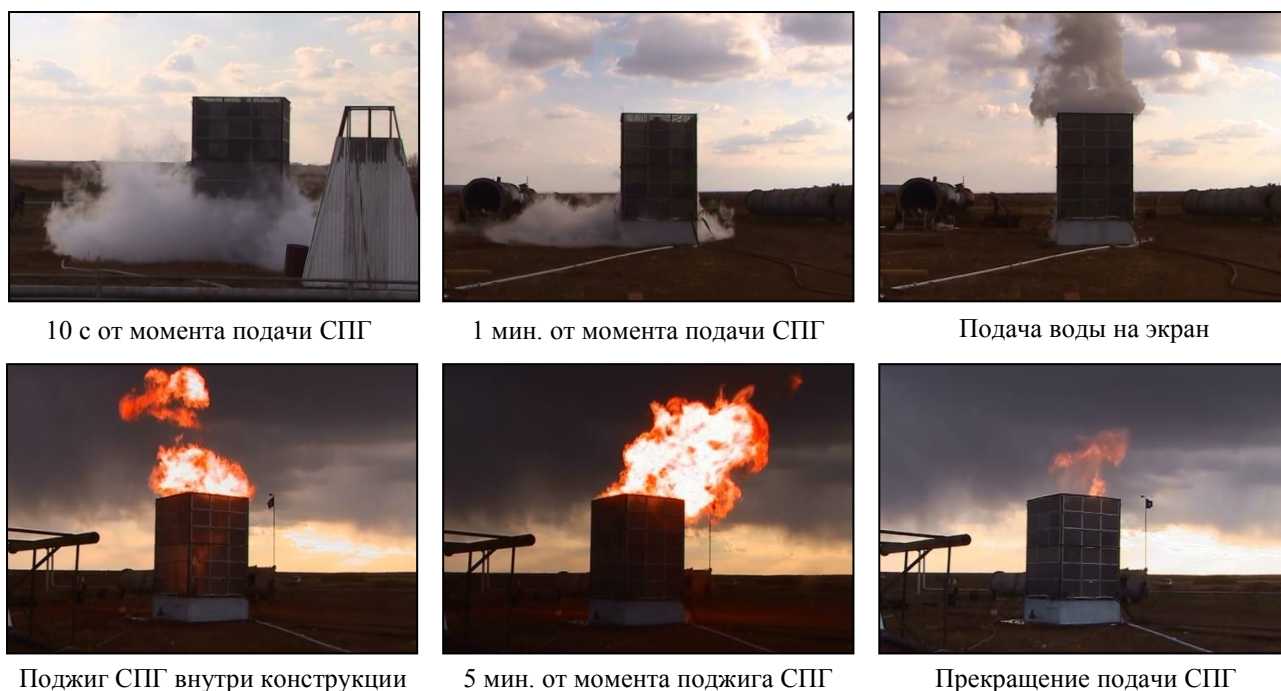


Рисунок 9 – Фрагменты монтажа противопожарного устройства (а) и воспламенения пролива СПГ в непосредственной близости от противопожарного устройства (б)



10 с от момента подачи СПГ

1 мин. от момента подачи СПГ

Подача воды на экран

Поджиг СПГ внутри конструкции

5 мин. от момента поджига СПГ

Прекращение подачи СПГ

Рисунок 10 – Фрагменты экспериментов с проливом СПГ во внутреннем объеме 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  $0,3 \text{ м}$  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.

После подачи воды в панели устройства происходит его герметизация образующимися водяными пленками, что практически исключало проникновение газа и продуктов сгорания сквозь него.

При поджиге газа, испаряющегося во внутреннем объеме конструкции, происходила вспышка с последующим переходом горения в верхнюю часть устройства. Датчики замера температуры показали, что в нижней части конструкции (от 0 до 2 м от уровня земли) нагрева не происходило, то есть горение на поверхности пролива СПГ отсутствовало. Однако, наблюдалось горение на высоте более 3,5 м от уровня земли (около 0,5 м от верхнего среза устройства), но и оно прекратилось при увеличении расхода газа, и пламя переместилось на верхний срез конструкции.

Анализируя полученные результаты сделан вывод о том, что разработанная конструкция наряду с теплозащитными свойствами обладает газоизолирующей способностью и свойствами предотвращения горения на поверхности пролива за счет исключения доступа окислителя (воздуха) в зону горения. Таким образом, исключается горение в наиболее опасном месте – под днищем резервуара, пламя переносится на уровень верхнего среза, и при соответствующей высоте конструкции защищаемый объект будет находиться вне зоны прямого воздействия пламени.

**В пятой главе** работы «Модельный ряд противопожарных преград и теплозащитных экранов, используемых на практике» представлены описания разработанных противопожарных преград и теплозащитных экранов, нашедших широкое применение в подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России, Минобороны РФ и на различных объектах НГК.

На рисунке 11 показан общий вид противопожарной преграды «Согда» на основе теплозащитных экранов, предназначенной для защиты пожароопасных объектов, в том числе резервуаров с нефтепродуктами (для ограждения емкостей с тушащим веществом или мобильных установок пожаротушения).

Такие противопожарные преграды могут использоваться также для разделения внутреннего объема помещений на противопожарные отсеки, позволяют сокращать расстояние между пожароопасными объектами. Они незаменимы на морских нефтегазовых платформах, морских судах. Из них можно создавать «островки безопасности» для персонала (пассажиров), которым при пожаре невозможно покинуть морскую платформу или судно.



Рисунок 11 – Применение противопожарной преграды «Согда» для защиты емкостей с тушащим веществом от тепловых потоков горящего бензина в резервуаре объемом 20000 м<sup>3</sup> (полигонные испытания)



На рисунке 12 показан общий вид противопожарного устройства, разработанного для повышения пожаробезопасности объектов сжижения, хранения и использования СПГ.

Противопожарное устройство обеспечивает нераспространение газового облака, возникающего при аварийной утечке из емкостей с СПГ, предотвращает его скопление до взрывоопасной концентрации и не допускает возникновения крупномасштабной аварии. При взрыве газа устройство не разрушается, так как взрывная волна проходит через сетчатые панели, при этом все противопожарные свойства устройства сохраняются. Устройство может быть использовано также для обеспечения пожарной безопасности наземных емкостей малых объемов, устанавливаемых на различных предприятиях и в населенных пунктах.

На рисунке 13 показаны варианты исполнения моделей теплозащитных экранов «Согда» для защиты личного состава пожарной охраны.



Рисунок 12 – Применение противопожарного устройства для рассеивания паров СПГ при аварийной утечке из оборудования



а)



б)



в)

Рисунок 13 – Общий вид моделей теплозащитных экранов для защиты личного состава пожарной охраны: а) «Согда» 1А.01; б) «Согда» 1В; в) «Согда» 2А

Передвижной экран модели «Согда» 1А.01 снабжен колесами для его перемещения и предназначен для защиты от теплового излучения пожарных, выполняющих тушение с помощью ручных пожарных стволов. Под защитой экрана в условиях больших тепловых потоков пожарное звено из двух человек может производить тушение огня, а также охлаждение оборудования, эффективно используя огнетушащие и охлаждающие вещества, а также производить аварийно-спасательные и неотложные работы.

Переносной складной экран модели «Согда» 1В индивидуального пользования предназначен для защиты от теплового излучения пожарного, выполняющего боевые действия с ручным пожарным стволом. После применения экран складывается и убирается в специальный футляр, предназначенный для предохранения сетчатых поверхностей от механических повреждений при его перевозке в специальных отсеках пожарного автомобиля, а также при хранении.

Экран модели «Согда» 2А предназначен для установки на стационарных лафетных стволах при защите объектов НГК. При пожаре операторы лафетного ствола, защищенные экраном, могут оставаться на боевом посту, несмотря на экстремальные тепловые потоки, и продолжать охлаждение объекта или тушение огня до полной ликвидации пожара.

На рисунке 14 показан общий вид передвижного экрана модели «Согда» 3, предназначенного как для защиты личного состава пожарной охраны при тушении пожаров, в том числе с использованием пеногенераторов, так и для защиты оборудования и людей от теплового излучения. Конструкции таких экранов позволяют монтировать из них теплозащитные стены или коридоры для безопасной эвакуации людей из зоны огня.



Рисунок 14 – Общий вид экрана модели «Согда» 3

Экран модели «Согда» 4 разработан для обеспечения защиты людей от теплового излучения при проведении работ по ликвидации пожаров и аварий на газовых и нефтяных месторождениях (рисунок 15), а также защиты персонала от возможного механического поражения обломками технологического оборудования при взрыве или выбросе газа (рисунок 16).

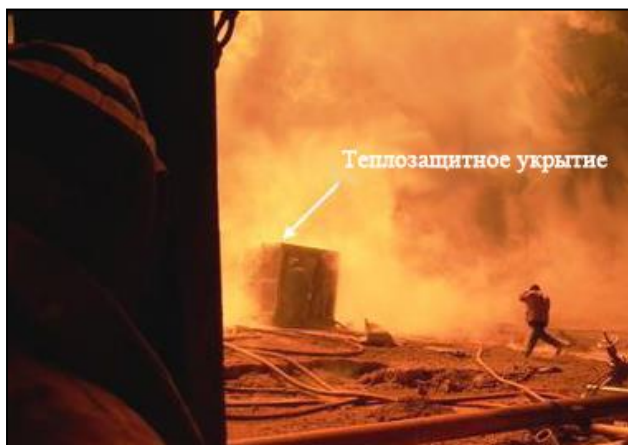


Рисунок 15 – Общий вид укрытия на основе экранов «Согда» 4 при ликвидации пожара на нефтяном месторождении



Рисунок 16 – Общий вид укрытия на основе экранов «Согда» 4 для защиты персонала от поражения обломками оборудования

Экраны устанавливаются вокруг горящего фонтана. Подаваемая через стволы вода отрывает пламя от устья скважины, что дает возможность вести работы по ликвидации аварии, не прибегая к применению эшелонированной защиты.

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

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта использования существующих преград для защиты от теплового излучения на пожарах показал, что они имеют ряд существенных недостатков, при этом простая модернизация каждого из рассмотренных способов и средств обеспечения теплозащиты не позволяет существенно повысить их эффективность, что требует поиска новых технических решений.

2. 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.

3. Выполнены теоретические исследования механизма теплопереноса, протекающего при взаимодействии потока энергии, излучаемого пожаром, с теплозащитным сетчатым экраном. В результате анализа численных расчетов коэффициентов поглощения тепловых потоков в режимах «сухой» и «мокрой» сеток экрана установлено, что коэффициент ослабления плотности теплового потока пожара теплозащитным экраном в режиме «мокрой» сетки достигает 80 раз.

4. Обосновано применение гидравлического способа для распыления воды в межсеточном пространстве теплозащитного экрана, как наиболее экономичного и имеющего максимальный КПД распыления. Показано, что оптимальным распыляющим устройством является форсунка на основе симбиоза конструктивных схем щелевой, струйной и ударно-струйной форсунок. Численно и экспериментально определены характеристики форсунки, обеспечивающие равномерное заполнение межсеточного пространства экрана каплями распыляемой воды.

5. Созданы экспериментальные стенды и разработаны методики проведения опытов по определению оптимальных параметров и характеристик противопожарных преград и теплозащитных экранов, обеспечивающих максимальную степень ослабления тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ.

В результате исследований установлено, что:

– в условиях горения пролива ГЖ и штабелей лесопиломатериалов с плотностью теплового излучения пламени до  $75 \text{ кВт/м}^2$  тепловой поток за противопожарными преградами и теплозащитными экранами с оптимальными параметрами снижается в 80 раз;

– в условиях горения пролива СПГ с плотностью теплового излучения пламени до  $220 \text{ кВт/м}^2$  тепловой поток за противопожарным устройством снижается не менее чем в 45 раз;

– противопожарное устройство, ограждающее резервуар с СПГ, в условиях горения пролива СПГ обладает газоизолирующей способностью и свойствами предотвращения горения на поверхности пролива за счет исключения доступа окислителя (воздуха) в зону горения. Таким образом, исключается горение в наиболее опасном месте – под днищем резервуара. Пламя переносится на уровень верхнего среза и при соответствующей высоте экрана защищаемый объект (резервуар) будет находиться вне зоны прямого воздействия пламени.

6. В результате выполненных сертификационных испытаний конструкции противопожарной преграды на основе теплозащитных сетчатых экранов установлено, что ее предел огнестойкости составляет не менее *EIW* 150, при этом класс конструктивной пожарной опасности – К0.

7. Разработан модельный ряд противопожарных преград и теплозащитных экранов для защиты людей и оборудования от воздействия тепловых потоков пожаров проливов ГЖ и СПГ, нашедших широкое применение в оперативных подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России, Минобороны РФ и на различных объектах НГК страны с учетом специфики обеспечения их пожарной безопасности.

**Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:**

1. Брушлинский, Н.Н. Экраны «Согда» – гарантия эффективности тепловой защиты и тушения пожаров [Текст] / Н.Н. Брушлинский, М.Х. Усманов, В.Ю. Шимко // Технология машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 65-66.

2. Брушлинский, Н.Н. Теплозащитные экраны «Согда» – наиболее эффективное решение проблемы противопожарных ограждений на автогазозаправочных станциях [Электронный ресурс] / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 3. – 5 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2012-3/06-03-12.ttb.pdf>.

3. Брушлинский, Н.Н. Инновационная технология ослабления тепловых и газовых потоков [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 5. – С. 71-80.

4. Шимко, В.Ю. Использование водопленочных теплозащитных экранов для защиты от теплового излучения при горении проливов сжиженного природного газа [Текст] / В.Ю. Шимко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 12. – С. 63-67.

5. Шимко, В.Ю. Использование конструкций на основе водопленочных экранов для повышения пожаровзрывобезопасности объектов хранения и распределения сжиженного природного газа [Текст] / В.Ю. Шимко // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – № 1. – С. 58-61.

6. Брушлинский, Н.Н. Метод защиты от распространения пожаров опасных газов и радионуклидов [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – № 5. – С. 72-75.

7. Шимко, В.Ю. Новые средства обеспечения пожаровзрывобезопасности в нефтегазовой отрасли [Электронный ресурс] / В.Ю. Шимко // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 1. – 5 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-1/12-01-15.ttb.pdf>.

8. Пат. 2506103(13)С1 Российская Федерация, МПК А62С, 3/00, (2006.01). Способ рассеивания газового облака, образующегося при утечке из наземной емкости, и устройство для его осуществления [Текст] / Карпов В.Л., Шимко В.Ю., Усманов М.Х.; заявитель и патентообладатель Усманов М.Х. – № 2506103; заявл. 21.06.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 13 с. илл.

**Остальные публикации по теме диссертации:**

9. Усманов, М.Х. Опыт разработки противопожарных устройств и внедрения их в Узбекистане и России [Текст] / М.Х. Усманов [и др.] // Материалы 12-ой Международной научн.-практ. конф.: Нефть и Газ Узбекистана. – Ташкент: НХК «Узбекнефтегаз», 2008. – С. 105-107.

10. Брушлинский, Н.Н. Опыт продвижения теплозащитных экранов «Согда» на Российский рынок [Текст] / Н.Н. Брушлинский, М.Х. Усманов, В.Ю. Шимко // Материалы научн.-практ. конф.: Организационные и научно-технические проблемы обеспечения пожарной безопасности. – Ташкент: ВТШПБ МВД РУз, 2008. – С. 35-36.

11. Брушлинский, Н.Н. Экраны «Согда» – инновационные технологии теплозащиты при тушении пожаров [Текст] / Н.Н. Брушлинский, М.Х. Усманов, В.Ю. Шимко // Сб. науч. тр.: Изделия и технологии двойного назначения, диверсификация ОПК. – М.: Эксподизайн-Холдинг, 2009. – С. 457-461.

12. Брушлинский, Н.Н. Экраны «Согда» – принципиально новое высокоэффективное средство тепловой защиты на пожарах. Часть 1 [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Пожарное дело. – 2009. – № 11. – С. 34-35.

13. Брушлинский, Н.Н. Экраны «Согда» – принципиально новое высокоэффективное средство тепловой защиты на пожарах. Часть 2 [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Пожарное дело. – 2009. – № 12. – С. 38-39.

14. Шимко, В.Ю. Новый тип противопожарных преград для объектов нефтегазового комплекса [Текст] / В.Ю. Шимко // Материалы XXIX Международной научн.-практ. конф., посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: Горение и проблемы тушения пожаров. – М.: ВНИИПО, 2017. – Ч. 2. – С. 175-177.

Подписано в печать 06.03.2018. Формат 60x84/1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 122.

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4