

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности

(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность

(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью

(направленность (профиль))

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему «Перспективы применения огнепреградителей на производственном  
оборудовании»

Обучающийся

А.А. Меликов-Попов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

И.В. Дерябин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент, Фрезе Т.Ю.

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 3  |
| Термины и определения.....   | 10 |
| Перечень сокращений и обозначений.....   | 12 |
| 1 Исследование особенностей применения огнепреградителей на<br>производственном оборудовании.....                              | 13 |
| 1.1 Общий принцип действия огнепреградителей и их основные<br>конструктивные особенности .....                                 | 13 |
| 1.2 Нормативные правовые основы по проектированию и применению<br>огнепреградителей .....                                      | 18 |
| 2 Перспективы совершенствования конструкции огнепреградителей .....  | 25 |
| 2.1 Исследование практики применения современных конструкций<br>огнепреградителей на различных производственных объектах ..... | 25 |
| 2.2 Анализ инновационных конструкций огнепреградителей.....  | 38 |
| 3 Разработка и апробация применения инновационной конструкции<br>огнепреградителя на производственном оборудовании .....       | 44 |
| 3.1 Разработка инновационной конструкции огнепреградителя на<br>производственном оборудовании.....                             | 44 |
| 3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по<br>обеспечению техносферной безопасности в организации.....      | 53 |
| Заключение .....   | 64 |
| Список используемой литературы и используемых источников .....   | 68 |
| Приложение А Сайты организаций.....  | 77 |
| Приложение Б Основные финансовые результаты деятельности<br>ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский трансформатор».....             | 75 |
| Приложение В Результаты внедрения.....   | 76 |

## Введение

Актуальность и научная значимость настоящего исследования обусловлена возрастающими требованиями к обеспечению пожарной безопасности на производственных объектах различных отраслей промышленности. В современных условиях интенсификации производственных процессов и широкого использования горючих веществ и материалов проблема предотвращения распространения пламени по технологическим коммуникациям приобретает особую остроту. Анализ статистических данных показывает, что около 35% промышленных пожаров связано с распространением огня через системы вентиляции, трубопроводы и другие технологические коммуникации, что подчеркивает критическую важность совершенствования средств огнепреграждения. Традиционные конструкции огнепреградителей не всегда обеспечивают требуемый уровень защиты в условиях современных высокоинтенсивных технологических процессов, что обуславливает необходимость разработки инновационных технических решений в данной области.

Объект исследования: системы противопожарной защиты производственного оборудования.

Предмет исследования: использование огнепреградителей в условиях производственной эксплуатации и методы повышения их эффективности на основе инновационных конструктивных решений.

Цель исследования: повышение эффективности противопожарной защиты производственного оборудования путем применения инновационных технических решений в конструкции огнепреградителей.

Гипотеза исследования состоит в том, что повышение эффективности противопожарной защиты производственного оборудования будет обеспечено, если:

- проанализированы современные конструкции огнепреградителей и выявлены закономерности их функционирования в различных условиях эксплуатации;
- предложены инновационные конструктивные решения огнепреградителей, основанные на применении современных материалов и технологий;
- внедрены методы комплексной оценки эффективности огнепреградителей с учетом специфики конкретных производственных процессов;
- разработана и апробирована инновационная конструкция огнепреградителя с улучшенными характеристиками огнепреграждающей способности и эксплуатационной надежности;
- проведена технико-экономическая оценка эффективности внедрения предлагаемых технических решений на реальном производственном объекте.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать современные конструкции огнепреградителей и выявлены закономерности их функционирования в различных условиях эксплуатации;
- предложить инновационные конструктивные решения огнепреградителей, основанные на применении современных материалов и технологий;
- внедрить методы комплексной оценки эффективности огнепреградителей с учетом специфики конкретных производственных процессов;
- разработать и апробирована инновационная конструкция огнепреградителя с улучшенными характеристиками

огнепреграждающей способности и эксплуатационной надежности;

- провести технико-экономическую оценку эффективности внедрения предлагаемых технических решений на реальном производственном объекте.

Теоретико-методологическую основу исследования составили фундаментальные работы отечественных и зарубежных ученых в области пожарной безопасности, теории горения и взрыва, промышленной безопасности и техносферной безопасности. Используются научные труды ведущих специалистов в области противопожарной защиты промышленных объектов, включая работы по теории и практике применения огнепреградителей.

Базовыми для настоящего исследования явились также нормативно-правовые документы Российской Федерации в области пожарной и промышленной безопасности, технические регламенты, национальные и отраслевые стандарты, а также международные стандарты и рекомендации в области противопожарной защиты промышленных объектов.

Методы исследования: системный анализ, сравнительный анализ, математическое моделирование, экспериментальные исследования, статистический анализ, технико-экономический анализ, экспертные оценки, методы теории принятия решений.

Опытно-экспериментальная база исследования ООО «Независимое экспертное партнерство».

Научная новизна исследования заключается в:

- систематизации и развитию теоретических основ применения огнепреградителей на производственном оборудовании с учетом современных требований промышленной безопасности;
- разработке методического подхода к комплексной оценке эффективности огнепреградителей в различных условиях эксплуатации;

- обосновании принципов создания инновационных конструкций огнепреградителей с использованием современных материалов и технологий;
- разработке оригинальной конструкции огнепреградителя гибридного типа с интегрированной системой химического ингибирования горения.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- развитии теоретических основ проектирования систем противопожарной защиты производственного оборудования;
- обобщении и систематизации опыта применения огнепреградителей различных конструктивных типов;
- разработке научно-методических основ оценки эффективности инновационных конструкций огнепреградителей;
- формировании теоретической базы для дальнейших исследований в области совершенствования средств огнепреграждения.

Практическая значимость исследования состоит в возможности использования полученных результатов для повышения уровня пожарной безопасности производственных объектов различных отраслей промышленности, оптимизации технических решений в области противопожарной защиты, а также для совершенствования нормативно-технической базы в сфере применения огнепреградителей. Разработанная инновационная конструкция огнепреградителя может быть внедрена на предприятиях электротехнической, химической, нефтехимической и других отраслей промышленности.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- использованием апробированных методов научного исследования, адекватных поставленным задачам;
- применением современных методов математического моделирования и экспериментальных исследований;

- статистической обработкой экспериментальных данных с использованием современных программных средств;
- сопоставлением полученных результатов с данными других исследователей и практическим опытом эксплуатации аналогичного оборудования.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в постановке проблемы, формулировании цели и задач исследования, разработке методологии исследования, проведении теоретического анализа и экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов, формулировании выводов и практических рекомендаций.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Результаты исследования опубликованы в рецензируемом научном журнале: Меликов-Попов А.А. Перспективы применения огнепреградителей на производственном оборудовании. // Молодой ученый. 2025. №9 (109).

На защиту выносятся:

- результаты комплексного анализа современных конструкций огнепреградителей и выявления закономерностей их функционирования в различных условиях эксплуатации. Важным аспектом применения огнепреградителей является их интеграция в общую систему противопожарной защиты производственного объекта. Огнепреградители должны рассматриваться не как изолированные устройства, а как элементы комплексной системы, включающей системы автоматического пожаротушения, дымоудаления, оповещения и управления эвакуацией. Выбор типа и конструкции огнепреградителя определяется конкретными условиями эксплуатации, включая характеристики перекачиваемых веществ, параметры технологического процесса, климатические условия и требования нормативной документации. При этом необходимо учитывать не только огнепреграждающую

способность устройства, но и его влияние на технологический процесс, включая создаваемое гидравлическое сопротивление и возможность накопления загрязнений;

- инновационные конструктивные решения огнепреградителей, основанные на применении современных материалов и технологий. Одним из наиболее перспективных направлений инновационного развития огнепреградителей является создание конструкций с адаптивными огнепреграждающими элементами, способными изменять свои характеристики в зависимости от параметров проходящей через них газовой смеси. Инновационные конструкции огнепреградителей на основе керамических материалов демонстрируют выдающиеся характеристики термостойкости и коррозионной стойкости;
- методы комплексной оценки эффективности огнепреградителей с учетом специфики конкретных производственных процессов. Данные методы включают: экспериментальные испытания огнепреграждающей способности в лабораторных условиях с моделированием режимов дефлаграции и детонации; расчетно-аналитическую проверку соответствия конструкции требованиям нормативной документации и условиям эксплуатации; оценку гидравлического сопротивления и влияния на технологический процесс; анализ коррозионной стойкости материалов огнепреграждающих элементов в агрессивных средах; натурные испытания на производственном оборудовании с контролем параметров работоспособности; комплексный технико-экономический анализ эффективности применения с учетом затрат на приобретение, монтаж, эксплуатацию и техническое обслуживание. Данные методы применяются в промышленной безопасности для сертификации огнепреградителей и принятия

- обоснованных решений о выборе типа устройства для конкретных производственных условий;
- оригинальная конструкция огнепреградителя гибридного типа с интегрированной системой химического ингибирования горения, обеспечивающая повышение эффективности гашения пламени на 35-40% по сравнению с традиционными конструкциями. Оригинальность конструкции заключается в сочетании механического огнепреграждения через систему гофрированных металлических пластин с активным химическим подавлением горения посредством автоматического впрыска ингибиторов на основе галоидированных углеводородов при детектировании повышения температуры. Конструкция включает термочувствительные датчики, размещенные в межпластинчатом пространстве, которые при достижении критической температуры 150°C активируют систему распыления ингибитора через микрофорсунки, встроенные в огнепреграждающие элементы. Такое двухуровневое воздействие – физическое охлаждение пламени с одновременным химическим обрывом цепных реакций горения – обеспечивает существенное повышение надежности огнепреграждения в условиях высокоинтенсивных горючих потоков и детонационных режимов распространения пламени;
  - результаты технико-экономической оценки эффективности внедрения инновационной конструкции огнепреградителя на производственном объекте, подтверждающие высокую экономическую целесообразность предлагаемого технического решения. Внедрение инновационного огнепреградителя на участке сушки и пропитки трансформаторов позволяет достичь экономии за счет: снижения вероятности аварийных ситуаций и предотвращения материального ущерба от пожаров (предотвращенный ущерб оценивается в 12,5 млн рублей в год);

сокращения затрат на страхование имущества и ответственности на 18% за счет повышения класса пожарной безопасности объекта; уменьшения простоев оборудования и потерь от недополученной продукции при аварийных остановках; снижения эксплуатационных расходов на техническое обслуживание на 25% благодаря увеличенному межсервисному интервалу. Срок окупаемости инвестиций в установку инновационного огнепреградителя составляет 0,48 года (5,8 месяцев), что подтверждает высокую экономическую эффективность проектного решения.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, 3 глав (разделов), заключения, содержит 3 рисунка, 10 таблиц, список использованной литературы (45 источников), 3 приложения. Основной текст работы изложен на 80 страницах.

## Термины и определения

Взрывопожароопасная смесь – смесь горючих газов, паров или пыли с воздухом, способная к воспламенению и взрывчатому горению при наличии источника зажигания.

Гибридный огнепреградитель – устройство, сочетающее несколько принципов гашения пламени, включая механическое гашение, химическое ингибирование и физическое охлаждение.

Ингибитор горения – химическое вещество, способное подавлять или замедлять процессы горения путем вмешательства в цепные реакции окисления.

Критический диаметр канала – максимальный диаметр отверстия или канала, через который не может распространяться пламень данной горючей смеси в конкретных условиях.

Огнепреградитель – устройство, предназначенное для предотвращения распространения пламени по трубопроводам, воздуховодам и другим технологическим коммуникациям путем гашения горючих газов и паров.

Огнепреграждающий элемент – основная часть конструкции огнепреградителя, обеспечивающая гашение пламени за счет теплообмена и механического воздействия на зону горения.

Огнестойкость – способность строительных конструкций и материалов сохранять свои несущие и ограждающие функции при воздействии пожара в течение определенного времени.

Пожарная нагрузка – количество теплоты, которое может выделиться при полном сгорании всех горючих веществ и материалов, находящихся в помещении или на участке.

Техносферная безопасность – состояние защищенности человека и окружающей среды от воздействия опасных и вредных факторов техногенного происхождения.

## Перечень сокращений и обозначений

АСУТП – автоматизированная система управления технологическими процессами.

ВПБ – взрывопожарная безопасность.

ГОСТ – государственный стандарт.

ЖБК – железобетонные конструкции.

ИК – инфракрасный.

ЛВЖ – легковоспламеняющиеся жидкости.

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

ОКВЭД – Общероссийский классификатор видов экономической деятельности.

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

ЧДД – чистый дисконтированный доход.

# **1 Исследование особенностей применения огнепреградителей на производственном оборудовании**

## **1.1 Общий принцип действия огнепреградителей и их основные конструктивные особенности**

Современные производственные объекты, особенно предприятия нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, характеризуются повышенным уровнем пожарной опасности вследствие использования легковоспламеняющихся и горючих веществ в технологических процессах. В условиях интенсивного развития промышленного производства и усложнения технологических схем вопросы обеспечения пожарной безопасности приобретают особую актуальность [3]. Одним из ключевых элементов системы противопожарной защиты производственного оборудования являются огнепреградители, которые выполняют функцию локализации и предотвращения распространения пламени по технологическим коммуникациям.

Огнепреградители представляют собой специальные устройства, предназначенные для предотвращения распространения пламени и взрывных волн через трубопроводы, воздухопроводы и другие технологические коммуникации. Принцип их действия основан на физических явлениях охлаждения горючей смеси ниже температуры воспламенения и механического гашения пламени за счет конструктивных особенностей огнепреграждающего элемента. При прохождении горючей смеси через огнепреградитель происходит интенсивная теплоотдача от пламени к металлическим элементам конструкции, что приводит к снижению температуры горения ниже критических значений и последующему прекращению процесса горения [7].

Конструктивно огнепреградители могут быть выполнены в различных исполнениях, однако наиболее распространенными являются засыпные и

канальные типы. Засыпные огнепреградители содержат огнепреграждающий элемент в виде насыпного материала, обычно представленного керамическими шариками, металлической стружкой или специальными гранулами. Такая конструкция обеспечивает создание извилистых каналов для прохождения газовой смеси, что способствует эффективному теплоотводу и гашению пламени. Канальные огнепреградители характеризуются наличием системы параллельных каналов малого диаметра, выполненных в металлическом корпусе, через которые происходит движение газовой смеси.

Основным параметром, определяющим эффективность работы огнепреградителя, является размер критического диаметра канала, который должен быть меньше диаметра тушения пламени для конкретной горючей смеси. Для большинства углеводородных газов этот параметр составляет от 0,5 до 3,0 мм в зависимости от состава смеси и условий эксплуатации. При правильном подборе геометрических параметров огнепреграждающего элемента обеспечивается надежное предотвращение распространения пламени при сохранении приемлемого гидравлического сопротивления устройства [2].

Важнейшей характеристикой огнепреградителей является их способность выдерживать воздействие высоких температур без потери огнепреграждающих свойств. Материалы, используемые для изготовления огнепреграждающих элементов, должны обладать высокой термостойкостью, коррозионной стойкостью и механической прочностью. Наиболее часто применяются нержавеющие стали различных марок, которые сохраняют свои свойства при температурах до 800-1000°C. Специальные керамические материалы могут использоваться в условиях более высоких температурных режимов.

Процесс функционирования огнепреградителя сопровождается сложными теплофизическими процессами, включающими конвективный и лучистый теплообмен между горячей смесью и элементами конструкции. Интенсивность теплоотдачи зависит от многих факторов, включая скорость

движения газовой смеси, ее состав, температуру и давление. При высоких скоростях движения смеси может происходить срыв пламени с поверхности огнепреграждающего элемента, что снижает эффективность устройства. Поэтому при проектировании огнепреградителей необходимо учитывать режимы работы технологического оборудования и предусматривать соответствующие конструктивные решения.

Особое внимание при эксплуатации огнепреградителей уделяется вопросам их технического обслуживания и контроля работоспособности. В процессе эксплуатации огнепреграждающие элементы могут подвергаться загрязнению продуктами сгорания, коррозии или механическому износу, что приводит к снижению их эффективности [16]. Регулярный контроль состояния огнепреградителей включает проверку геометрических параметров каналов, состояния поверхностей и отсутствия механических повреждений.

Современные тенденции развития огнепреградительной техники направлены на создание устройств с улучшенными характеристиками теплообмена и повышенной надежностью работы. Исследования в области совершенствования конструкций огнепреградителей включают разработку новых материалов для огнепреграждающих элементов, оптимизацию геометрических параметров каналов и создание комбинированных систем, сочетающих различные принципы гашения пламени [23]. Применение современных методов численного моделирования позволяет более точно прогнозировать поведение огнепреградителей в различных условиях эксплуатации и оптимизировать их конструктивные параметры.

Важным аспектом применения огнепреградителей является их интеграция в общую систему противопожарной защиты производственного объекта. Огнепреградители должны рассматриваться не как изолированные устройства, а как элементы комплексной системы, включающей системы автоматического пожаротушения, дымоудаления, оповещения и управления эвакуацией. Такой подход обеспечивает максимальную эффективность

противопожарных мероприятий и снижение рисков возникновения и развития пожаров на производственных объектах [18].

Выбор типа и конструкции огнепреградителя определяется конкретными условиями эксплуатации, включая характеристики перекачиваемых веществ, параметры технологического процесса, климатические условия и требования нормативной документации (таблица 1). При этом необходимо учитывать не только огнепреграждающую способность устройства, но и его влияние на технологический процесс, включая создаваемое гидравлическое сопротивление и возможность накопления загрязнений.

Эффективность применения огнепреградителей на производственном оборудовании во многом определяется правильностью их размещения в технологической схеме. Огнепреградители должны устанавливаться в местах наиболее вероятного распространения пламени, включая входы и выходы аппаратов, места соединения трубопроводов различного диаметра, точки подключения контрольно-измерительной аппаратуры. Особое внимание уделяется установке огнепреградителей на резервуарах для хранения легковоспламеняющихся жидкостей, где они выполняют функцию защиты от распространения пламени через дыхательные клапаны.

Таблица 1 – Основные типы огнепреградителей и их характеристики

| Тип огнепреградителя | Конструктивные особенности  | Область применения  | Преимущества  | Недостатки   |
|----------------------|---|---|---|--|
| Засыпной             | Огнепреграждающий элемент из насыпного материала (керамические шарики, металлическая стружка) | Трубопроводы малого и среднего диаметра, вентиляционные системы | Простота конструкции, низкая стоимость, легкость обслуживания | Высокое гидравлическое сопротивление, склонность к засорению |
| Канальный            | Система параллельных каналов малого диаметра в металлическом                                  | Технологические трубопроводы, системы подачи инертных газов     | Низкое гидравлическое сопротивление, высокая эффективность    | Сложность изготовления, высокая стоимость                    |

Продолжение таблицы 1

| Тип огнепреградителя | Конструктивные особенности                             | Область применения                   | Преимущества                            | Недостатки                               |
|----------------------|--|--------------------------------------|---|--|
|                      | корпусе  |                                      |   |  |
| Пластинчатый         | Набор металлических пластин калиброванными отверстиями | Резервуары, емкостное оборудование   | Компактность, надежность, долговечность | Ограниченная область применения          |
| Комбинированный      | Сочетание различных огнепреграждающих элементов        | Специальные технологические процессы | Универсальность, высокая эффективность  | Сложность конструкции, высокая стоимость |

Анализ отечественных и зарубежных исследований в области огнепреградительной техники показывает устойчивую тенденцию к совершенствованию конструкций и расширению области применения этих устройств. Основные направления исследований включают изучение процессов теплообмена в огнепреграждающих элементах, разработку новых материалов с улучшенными характеристиками, создание методов численного моделирования процессов гашения пламени [39]. Особое внимание уделяется вопросам прогорания огнепреградителей при длительном воздействии высоких температур и разработке методов прогнозирования их ресурса работы.

Современное состояние промышленной безопасности требует комплексного подхода к проектированию и эксплуатации систем противопожарной защиты, где огнепреградители играют важную роль в предотвращении развития аварийных ситуаций. Интеграция огнепреградителей в автоматизированные системы управления технологическими процессами позволяет повысить оперативность реагирования на возникающие угрозы и минимизировать последствия возможных аварий. Развитие цифровых технологий открывает новые возможности для мониторинга состояния огнепреградителей и прогнозирования их технического состояния.

Перспективы развития огнепреградительной техники связаны с созданием интеллектуальных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации и автоматически корректировать свои параметры для поддержания максимальной эффективности. Использование новых материалов, включая наноструктурированные покрытия и композитные материалы, позволит создать огнепреградители с улучшенными эксплуатационными характеристиками и увеличенным ресурсом работы. Развитие методов аддитивного производства открывает возможности для создания огнепреграждающих элементов сложной геометрии, оптимизированных для конкретных условий применения.

## **1.2 Нормативные правовые основы по проектированию и применению огнепреградителей**

Система нормативного правового регулирования в области применения огнепреградителей на производственных объектах базируется на иерархической структуре федеральных законов, технических регламентов, национальных стандартов и ведомственных нормативных документов. основополагающим документом в сфере пожарной безопасности является Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ, который устанавливает общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации [29]. Данный закон определяет основные понятия в области пожарной безопасности, полномочия органов государственной власти, права и обязанности организаций в области пожарной безопасности, а также устанавливает требования к соблюдению противопожарного режима.

Технические требования к огнепреградителям и порядок их применения детализированы в Федеральном законе «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ, который является основным техническим нормативным правовым актом,

устанавливающим обязательные для применения и исполнения требования пожарной безопасности [36]. Регламент содержит классификацию строительных материалов и конструкций по пожарной опасности, требования к системам противопожарной защиты, включая системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, а также устанавливает порядок оценки пожарного риска объектов защиты.

В соответствии с требованиями технического регламента огнепреградители относятся к системам предотвращения пожара и должны обеспечивать предотвращение распространения пламени и продуктов горения за пределы очага пожара. Регламент устанавливает, что выбор и применение огнепреградителей должны осуществляться на основании результатов оценки пожарного риска с учетом функционального назначения объекта защиты, категории его пожарной опасности и особенностей технологических процессов. При этом огнепреградители должны обеспечивать локализацию горения в пределах пожарного отсека или технологического блока и предотвращать распространение опасных факторов пожара на смежные помещения и оборудование.

Конкретные требования к противопожарному режиму на объектах различного назначения, включая требования по установке и эксплуатации огнепреградителей, установлены Постановлением Правительства РФ «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации» от 16.09.2020 № 1479 [25]. Правила противопожарного режима содержат детальные требования к содержанию территорий, зданий, сооружений и помещений, а также к проведению технологических процессов, обеспечивающих пожарную безопасность. Документ устанавливает обязательность установки огнепреградителей на технологических трубопроводах, транспортирующих горючие газы и пары легковоспламеняющихся жидкостей, а также определяет требования к их техническому обслуживанию и контролю работоспособности.

Особое внимание в нормативных документах уделяется требованиям к персоналу, обслуживающему системы противопожарной защиты, включая огнепреградители. Приказ МЧС России «Об утверждении норм пожарной безопасности «Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций» от 18.11.2021 № 806 устанавливает порядок организации обучения работников мерам пожарной безопасности на рабочих местах и действиям при возникновении пожара [26]. В рамках этого обучения работники должны изучать принципы работы систем противопожарной защиты, включая огнепреградители, порядок их технического обслуживания и действия при обнаружении неисправностей.

Проектирование систем противопожарной защиты с применением огнепреградителей должно осуществляться в соответствии с требованиями строительных норм и правил. Свод правил СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» устанавливает технические требования к проектированию зданий, сооружений и пожарных отсеков [35].

Документ содержит требования к огнестойкости строительных конструкций, пределам огнестойкости зданий и сооружений, а также к размещению технологического оборудования с учетом обеспечения пожарной безопасности.

При выборе огнепреградителей для конкретных условий применения необходимо руководствоваться классификацией помещений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности, установленной техническим регламентом. Помещения категории А и Б, в которых обращаются горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости, требуют установки огнепреградителей с повышенными техническими характеристиками и дополнительными системами контроля работоспособности.

Для наружных технологических установок категории АН и БН применяются огнепреградители, устойчивые к воздействию неблагоприятных климатических факторов и способные функционировать в широком диапазоне температур и давлений.

Нормативное регулирование предусматривает обязательное проведение испытаний огнепреградителей на соответствие установленным требованиям безопасности. Огнепреградители, применяемые на опасных производственных объектах, должны иметь сертификат соответствия требованиям промышленной безопасности, выданный аккредитованным органом по сертификации.

Процедура сертификации включает испытания на огнепреграждающую способность, механическую прочность, коррозионную стойкость и долговечность в условиях, моделирующих реальную эксплуатацию.

Требования к техническому обслуживанию огнепреградителей устанавливаются с учетом категории опасности объекта и интенсивности эксплуатации оборудования. Периодичность технического обслуживания определяется на основании рекомендаций изготовителя, результатов эксплуатационных испытаний и анализа статистических данных об отказах аналогичного оборудования. Обязательными элементами технического обслуживания являются визуальный осмотр корпуса и огнепреграждающих элементов, проверка герметичности соединений, измерение гидравлического сопротивления и при необходимости замена или восстановление огнепреграждающих элементов.

Документооборот по огнепреградителям должен включать ведение журналов технического обслуживания, актов проверок, протоколов испытаний и других документов, подтверждающих соблюдение требований пожарной безопасности.

Ответственность за правильную эксплуатацию огнепреградителей возлагается на руководителей организаций, которые обязаны организовать

обучение персонала, обеспечить проведение регламентных работ и контролировать соблюдение требований нормативных документов.

Особые требования устанавливаются для огнепреградителей, применяемых на объектах топливно-энергетического комплекса, химической и нефтехимической промышленности. Эти объекты относятся к категории опасных производственных объектов, для которых действуют дополнительные требования промышленной безопасности, установленные федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности.

Огнепреградители на таких объектах должны быть интегрированы в общую систему управления промышленной безопасностью и технологическими процессами (таблица 2).

Таблица 2 – Основные нормативные документы, регламентирующие применение огнепреградителей

| Нормативный документ  | Область регулирования                        | Основные требования к огнепреградителям  | Периодичность пересмотра |
|---|--|--|--------------------------|
| ФЗ № 69-ФЗ «О пожарной безопасности»                                    | Общие правовые основы пожарной безопасности  | Установление принципов обеспечения пожарной безопасности, определение полномочий и ответственности           | По мере необходимости    |
| ФЗ № 123-ФЗ «Технический регламент в требованиях пожарной безопасности» | Технические требования пожарной безопасности | Классификация по пожарной опасности, требования к системам предотвращения пожара, методы оценки соответствия | Не реже 1 раза в 5 лет   |
| Постановление Правительства РФ № 1479 «Правила противопожарного режима» | Требования к противопожарному режиму         | Обязательность установки на технологических трубопроводах, требования к техническому обслуживанию            | Ежегодно                 |
| Приказ МЧС России № 806 «Обучение мерам пожарной безопасности»          | Подготовка персонала                         | Требования к обучению работников принципам работы и обслуживания огнепреградителей                           | По мере необходимости    |

Продолжение таблицы 2

| Нормативный документ  | Область регулирования                            | Основные требования к огнепреградителям  | Периодичность пересмотра |
|---|--|--|--------------------------|
| СП 4.13130.2013 «Ограничение распространения пожара»            | Проектирование систем противопожарной защиты     | Технические требования к размещению и интеграции в системы безопасности                      | Не реже 1 раза в 5 лет   |
| Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности | Требования для опасных производственных объектов | Дополнительные требования для объектов повышенной опасности, интеграция в системы управления | По отраслевой специфике  |

Нормативное регулирование предусматривает возможность применения огнепреградителей по индивидуальным техническим условиям в случаях, когда стандартные решения не обеспечивают требуемый уровень безопасности или не соответствуют специфическим условиям эксплуатации. Разработка индивидуальных технических условий должна осуществляться с привлечением специализированных научно-исследовательских организаций и проходить экспертизу промышленной безопасности в установленном порядке.

Контроль за соблюдением требований нормативных документов по применению огнепреградителей осуществляется органами государственного пожарного надзора в рамках плановых и внеплановых проверок.

Нарушения требований пожарной безопасности, связанные с неправильным выбором, установкой или эксплуатацией огнепреградителей, влекут за собой административную ответственность должностных лиц и организаций в соответствии с действующим законодательством [21].

**Выводы по первому разделу.**

Таким образом, исследования в области совершенствования конструкций огнепреградителей включают разработку новых материалов для огнепреграждающих элементов, оптимизацию геометрических параметров

каналов и создание комбинированных систем, сочетающих различные принципы гашения пламени.

Применение современных методов численного моделирования позволяет более точно прогнозировать поведение огнепреградителей в различных условиях эксплуатации и оптимизировать их конструктивные параметры.

Современная тенденция развития нормативной базы направлена на гармонизацию российских стандартов с международными требованиями и учет передового мирового опыта в области противопожарной защиты.

Это обеспечивает возможность применения современных технических решений и повышает эффективность систем противопожарной защиты при сохранении необходимого уровня безопасности объектов.

## **2 Перспективы совершенствования конструкции огнепреградителей**

### **2.1 Исследование практики применения современных конструкций огнепреградителей на различных производственных объектах**

Современная практика применения огнепреградителей на производственных объектах характеризуется значительным разнообразием конструктивных решений, обусловленным специфическими требованиями различных отраслей промышленности и технологических процессов. Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что эффективность применения огнепреградителей существенно зависит от правильного выбора конструкции с учетом конкретных условий эксплуатации, характеристик перекачиваемых сред и параметров технологического процесса [23].

Взрывы в технологическом оборудовании очень часто приводят к последующим пожарам, и наоборот – крупные пожары часто сопровождаются взрывами. Применение любых средств взрывозащиты технологического оборудования в этом смысле является также одним из способов предотвращения пожаров на производстве. Применяя средства локализации пламени, можно предотвратить также проникновение пламени при пожарах внутрь оборудования и последующий взрыв в нем. Что бывает очень важно для уменьшения масштабов аварии и облегчения борьбы с огнем. К средствам локализации пламени относятся различного типа огнепреградители, гидравлические затворы и быстродействующие пламеотсекатели [19].

Одним из основных параметров для выбора огнепреградителей является нормальная скорость распространения пламени, зависящая от состава смеси, давления и температуры.

В работе [8] приведены результаты по измерению скорости горения в различных смесях при многих отраслях промышленности, где используются

горючие материалы и среды, необходимо обеспечивать защиту производств от возникновения и распространения пламени и взрывов.

Для угольной промышленности характерным является наличие горючих и взрывчатых метановоздушных смесей преимущественно при принудительном их извлечении из шахт, а также при использовании получаемого метана для промышленных и бытовых нужд. Согласно «Правилам безопасности в угольных шахтах» [6], недопустимая концентрация метана в трубопроводах для изолированного отвода метана с помощью вентиляторов составляет более 3,5 % по объему, для дегазационных трубопроводов - от 3,5 до 25 % [14]. В указанных недопустимых значениях такая метановоздушная смесь, как правило, не представляет опасности. Однако, учитывая нестабильность и динамичность изменения параметров вентиляционных и дегазационных сетей шахт, на практике имеют место отклонения от нормативных параметров.

Скорость горения при атмосферном давлении не превышает 50 см/с, а с увеличением давления скорость горения увеличивается. До настоящего времени отсутствуют данные по скорости горения при давлении ниже атмосферного (разрежение), которое имеет место при работе вакуум-насосов (примерно 0,2-105 Па-0,3-105 Па) и вентиляторов (примерно 103 дПа). Поэтому установление этого фактора возможно лишь при моделировании шахтных условий при испытаниях макетного образца [31].

Процесс гашения пламени при проходе его через узкие отверстия рассмотрен в работе [9], при этом установлено, в том числе и для метановоздушных смесей, что существуют предельные диаметры распространения пламени.

Развивая теорию распространения пламени, Зельдович Я.Б., рассмотрел пределы распространения пламени в узких каналах и выявил, что потеря тепла определяется передачей тепла от нагретых продуктов реакции стенкам трубок (каналов), а от стенок - в окружающее пространство. Теплопередача от пламени к стенкам определяется только свойствами смесей и не зависит от

материалов стенки. От материала стенки не зависит скорость распространения пламени, а также пределы его распространения. Этот вывод дает возможность принимать для огнепреградителей такие материалы, которые соответствовали бы технологическому процессу извлечения метана из шахт, когда смесь имеет множество различных примесей, что определяет допустимое или недопустимое во времени аэродинамическое сопротивление устройства.

Значительное влияние на гашение пламени оказывает форма каналов, как это отмечено при экспериментах на пластинах толщиной 0,8 мм. Было установлено, что критический диаметр при одиночных прорезях шириной 1,2 и 3,0 мм и длиной 2,5 и 6,0 мм составил для щели 2,5 мм, а для трубок - 5 мм [1].

Критические условия гашения пламени слабо зависят от высоты слоя (элемента) насадки вследствие того, что условия гашения определяются охлаждением слоя продуктов сгорания, соизмеримого с шириной фронта пламени, не превосходящей при атмосферном давлении 1 мм. По-видимому, это происходит потому, что охлаждение далеко отстоящих от фронта пламени слоев продуктов сгорания не может сказываться на протекании реакции в пламени.

Если это положение отнести к ленточным или к насадочным огнепреградителям, которым, видимо, будет отдано предпочтение на дегазационных вакуум-насосных установках, то следует иметь в виду, что в насадочных огнепреградителях вследствие хаотичного размещения шаров (гранул) возможно образование каналов больше принятых средних размеров.

На объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности наибольшее распространение получили сухие огнепреградители с улучшенными характеристиками теплообмена, которые обеспечивают надежную защиту резервуарных парков от распространения пламени через дыхательную арматуру. Исследования показывают, что применение современных конструкций огнепреградителей на резервуарах для хранения нефтепродуктов позволяет снизить вероятность развития пожара в

резервуарном парке на 85-90% по сравнению с традиционными техническими решениями. Особенностью применения огнепреградителей на таких объектах является необходимость обеспечения работоспособности в условиях переменных температурных режимов, высокой влажности и воздействия агрессивных паров углеводородов.

Практика эксплуатации огнепреградителей на предприятиях химической промышленности выявила особую важность учета химической совместимости материалов огнепреграждающих элементов с технологическими средами. Исследования, проведенные на производственных объектах, показали, что использование коррозионно-стойких материалов для изготовления огнепреграждающих элементов увеличивает срок службы устройств в 2-3 раза при эксплуатации в агрессивных средах [10]. При этом особое внимание уделяется выбору материалов для огнепреградителей, работающих с кислородосодержащими средами при повышенных давлениях, где требуется обеспечение высокой стойкости к окислению и механическим воздействиям.

Опыт применения огнепреградителей на объектах энергетической отрасли демонстрирует эффективность использования комбинированных конструкций, сочетающих различные принципы гашения пламени. На тепловых электростанциях огнепреградители устанавливаются в системах топливоподачи, где они обеспечивают предотвращение распространения пламени от топок к топливным бункерам и транспортным системам. Анализ статистических данных показывает, что правильное применение огнепреградителей в энергетической отрасли позволяет предотвратить развитие крупных аварий, связанных с взрывами пылевоздушных смесей в системах пылеприготовления [9].

На предприятиях пищевой промышленности огнепреградители применяются для защиты технологического оборудования, работающего с горючими газами и парами органических растворителей. Особенностью эксплуатации огнепреградителей в данной отрасли является необходимость

соблюдения повышенных требований к гигиене и возможности проведения санитарной обработки оборудования. Исследования показывают, что применение огнепреградителей со съёмными огнепреграждающими элементами обеспечивает возможность их регулярной очистки и дезинфекции без нарушения технологического процесса.

Эффективность применения огнепреградителей на различных производственных объектах во многом определяется качеством их технического обслуживания и мониторинга состояния. Современные подходы к эксплуатации огнепреградителей включают использование систем непрерывного контроля параметров работы, автоматического оповещения о нарушениях режимов эксплуатации и прогнозирования остаточного ресурса. Анализ практики эксплуатации показывает, что внедрение систем диагностики состояния огнепреградителей позволяет снизить количество отказов на 40-50% и увеличить межремонтные интервалы.

Исследования практики применения огнепреградителей на морских судах и offshore платформах выявили специфические требования к конструкциям, работающим в условиях повышенной влажности, солевой коррозии и динамических нагрузок. Для таких условий эксплуатации разработаны специальные конструкции огнепреградителей с усиленными корпусами, дополнительными уплотнениями и коррозионно-стойкими покрытиями. Практический опыт показывает, что срок службы специализированных морских огнепреградителей составляет 15-20 лет при соблюдении требований технического обслуживания [20].

Важным направлением совершенствования практики применения огнепреградителей является разработка специализированных конструкций для защиты оборудования, работающего с водородом и другими альтернативными видами топлива. Исследования в области водородной энергетики показывают, что традиционные конструкции огнепреградителей требуют модификации для обеспечения эффективного гашения водородного пламени, характеризующегося высокой скоростью распространения и низкой

энергией воспламенения [37]. Разработка специализированных огнепреградителей для водородных технологий является одним из приоритетных направлений современных исследований.

Анализ зарубежного опыта применения огнепреградителей показывает тенденцию к интеграции этих устройств в комплексные системы управления промышленной безопасностью. В развитых индустриальных странах огнепреградители рассматриваются не как отдельные защитные устройства, а как элементы интеллектуальных систем предотвращения аварий, способные взаимодействовать с другими компонентами систем безопасности и адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации.

На всех взрывоопасных производствах, в газопроводах, в коммуникациях по добыче природного газа и нефти устанавливают огнепреградители, препятствующие развитию процесса горения. Существует несколько способов ингибирования горючей смеси, например, введение флегматизаторов, а действие различного рода огнепреградителей в узких каналах основано не на химическом, а на физическом препятствовании распространения пламени и прекращении несанкционированного горения. Согласно теории пределов распространения пламени, ликвидация пламенного горения именно в узких каналах обусловлено тепловыми потерями из зоны химической окислительно-восстановительной реакции к стенкам самого канала. Однако при уменьшении диаметра канала возрастают потери тепла из области химической системы на единицу массы смеси. Когда эти потери достигают некоторой критической величины, скорость распространения пламени настолько снижается, что дальнейшее распространение пламенного горения прекращается. Иными словами, гашение пламени в канале, заполненном горючей смесью, происходит лишь при некоторой минимальной величине диаметра канала, определяемой химическим составом и давлением горючей смеси на стенки канала [4]. Подобными огнепреградителями чаще всего защищают такие каналы, в которых по условиям технологии или при нарушении нормального режима работы (при внештатных ситуациях) могут

образоваться дополнительные горючие компоненты или конденсат из горючих веществ.

В учебных пособиях расчёт потенциальной прочности огнепреградителей осуществляется с учётом недостижимого максимального давления взрыва газовоздушной смеси. В настоящей статье предлагается учитывать не максимальное, а избыточное давление взрыва и давление детонации для расчёта запаса надёжности огнепреградителей, что устанавливается по предельному рабочему (реальному) давлению. Для достижения приближенных к реальности математических моделей следует различать результаты расчётов по определению избыточного давления взрыва и результаты по давлению детонации исследуемой газовоздушной смеси [12].

Строительная отрасль в современных условиях характеризуется возрастающими требованиями к обеспечению пожарной безопасности объектов различного назначения, что обуславливает широкое применение огнепреградителей в технологических процессах производства строительных материалов и конструкций. Анализ практики использования данных устройств показывает, что их роль в обеспечении безопасности строительного производства существенно возросла за последние десятилетия в связи с внедрением новых технологий и материалов, требующих специальных мер противопожарной защиты [4].

На предприятиях по производству железобетонных конструкций огнепреградители находят применение в системах подготовки и подачи химических добавок, используемых для улучшения свойств бетонных смесей. Современные технологии производства высокопрочных бетонов предполагают использование различных органических модификаторов, пластификаторов и ускорителей твердения, многие из которых относятся к категории горючих веществ. Практический опыт эксплуатации показывает, что установка огнепреградителей в системах транспортировки и дозирования таких добавок позволяет предотвратить распространение пламени по технологическим коммуникациям в случае аварийных ситуаций.

Особенностью применения огнепреградителей в производстве строительных материалов является необходимость учета специфических свойств используемых веществ и технологических режимов. В частности, при производстве полимерных строительных материалов, включая различные виды утеплителей, герметиков и клеевых составов, огнепреградители должны обеспечивать эффективное гашение пламени органических паров при температурах, характерных для технологических процессов полимеризации и отверждения. Практика показывает, что традиционные конструкции огнепреградителей не всегда обеспечивают требуемый уровень защиты в условиях повышенных температур и специфического состава газовых выделений [33].

Значительный интерес представляет опыт применения огнепреградителей на предприятиях, специализирующихся на производстве лакокрасочных материалов для строительной отрасли. Технологические процессы изготовления красок, лаков, грунтовок и других покрытий связаны с использованием большого количества органических растворителей, которые создают повышенную пожарную опасность. Современная практика предусматривает установку огнепреградителей не только в основных технологических линиях, но и в системах рекуперации растворителей, вентиляционных системах и установках очистки отходящих газов.

Анализ статистических данных по применению огнепреградителей в строительной отрасли показывает устойчивую тенденцию к расширению области их использования и усложнению технических требований к конструкциям. Если ранее огнепреградители применялись преимущественно для защиты крупнотоннажных производств базовых строительных материалов, то в настоящее время они находят применение и на предприятиях малой мощности, производящих специализированные строительные материалы и композиции.

Современные требования строительных норм и правил предусматривают обязательное использование огнепреградителей в

технологических процессах, связанных с переработкой и применением горючих строительных материалов. Практика проектирования и строительства новых производственных объектов показывает, что вопросы размещения и выбора огнепреградителей рассматриваются на стадии разработки проектной документации, что позволяет обеспечить оптимальную интеграцию этих устройств в общую систему противопожарной защиты предприятия.

Особенности эксплуатации огнепреградителей в строительной отрасли связаны с необходимостью обеспечения их работоспособности в условиях запыленности производственной среды. Многие технологические процессы производства строительных материалов сопровождаются выделением значительного количества пыли различного происхождения, что может приводить к засорению огнепреграждающих элементов и снижению эффективности их работы. Практический опыт показывает необходимость применения специальных конструктивных решений, обеспечивающих само очистку огнепреградителей или возможность их регулярного технического обслуживания без остановки технологического процесса.

Развитие технологий производства композитных строительных материалов привело к появлению новых требований к огнепреградителям, используемым в соответствующих производственных процессах. Изготовление стеклопластиковых, углепластиковых и других композитных конструкций предполагает использование различных связующих на основе эпоксидных, полиэфирных и других синтетических смол, при переработке которых могут выделяться токсичные и горючие пары. Современная практика предусматривает применение огнепреградителей специальной конструкции, способных эффективно работать с парами сложного химического состава.

Интеграция огнепреградителей в автоматизированные системы управления технологическими процессами становится все более распространенной практикой в строительной отрасли. Современные производственные комплексы оснащаются системами непрерывного

мониторинга параметров работы огнепреградителей, включая контроль температуры, давления и состава газовых потоков. Такой подход позволяет своевременно выявлять отклонения от нормальных режимов эксплуатации и принимать превентивные меры по предотвращению аварийных ситуаций.

Экономические аспекты применения огнепреградителей в строительной отрасли характеризуются высокой эффективностью инвестиций в системы противопожарной защиты. Анализ затрат и выгод показывает, что стоимость установки и эксплуатации огнепреградителей составляет незначительную долю от потенциального ущерба, который может быть причинен пожаром на производственном объекте. При этом дополнительными факторами экономической эффективности являются снижение страховых взносов, уменьшение вероятности штрафных санкций со стороны надзорных органов и повышение инвестиционной привлекательности предприятия.

Тенденции развития строительной отрасли, связанные с внедрением принципов устойчивого развития и зеленого строительства, оказывают влияние на практику применения огнепреградителей. Использование экологически чистых строительных материалов и технологий их производства предъявляет новые требования к системам противопожарной защиты, включая необходимость обеспечения минимального воздействия на окружающую среду при срабатывании огнепреградителей. Современные конструкции предусматривают использование экологически безопасных огнепреграждающих элементов и материалов, а также возможность рециркуляции и повторного использования компонентов после окончания срока службы.

Практика международного сотрудничества в строительной отрасли способствует гармонизации требований к огнепреградителям и унификации подходов к их применению. Участие российских предприятий в международных проектах и экспорт строительных материалов требуют соответствия продукции международным стандартам безопасности, что

стимулирует внедрение передовых технологий противопожарной защиты и совершенствование конструкций огнепреградителей.

Региональные особенности применения огнепреградителей в строительной отрасли связаны с климатическими условиями эксплуатации и местными требованиями безопасности. В условиях Крайнего Севера и других регионов с экстремальными климатическими условиями используются специализированные конструкции огнепреградителей, способные сохранять работоспособность при низких температурах и высокой влажности. Практика эксплуатации в таких условиях показывает необходимость применения специальных материалов и дополнительных систем обогрева для предотвращения замерзания конденсата в огнепреграждающих элементах.

Развитие цифровых технологий и интернета вещей открывает новые перспективы для совершенствования практики применения огнепреградителей в строительной отрасли. Внедрение систем удаленного мониторинга и диагностики позволяет обеспечивать централизованный контроль состояния огнепреградителей на нескольких производственных объектах одновременно, что особенно актуально для крупных строительных холдингов и корпораций с распределенной производственной структурой.

Обучение персонала правилам эксплуатации огнепреградителей становится важным элементом обеспечения безопасности в строительной отрасли. Современная практика предусматривает регулярное проведение специализированных тренингов и семинаров для работников, ответственных за техническое обслуживание систем противопожарной защиты. Особое внимание уделяется изучению особенностей работы с новыми типами огнепреградителей и освоению современных методов диагностики их технического состояния.

Перспективы развития практики применения огнепреградителей в строительной отрасли связаны с дальнейшим совершенствованием технологий производства строительных материалов и появлением новых видов потенциально опасных веществ и процессов. Ожидается расширение

использования наноматериалов в строительстве, что потребует разработки специализированных средств противопожарной защиты, учитывающих особенности поведения наночастиц при горении и их взаимодействие с традиционными огнепреграждающими материалами.

Современная практика применения огнепреградителей характеризуется расширением области их использования на объекты, ранее не рассматривавшиеся как потенциально опасные. К таким объектам относятся предприятия деревообрабатывающей промышленности, где огнепреградители применяются для защиты систем аспирации и пневмотранспорта древесной пыли, а также объекты переработки сельскохозяйственной продукции, где требуется защита от взрывов органической пыли [24]. В таблице 3 предоставлены особенности применения огнепреградителей.

Таблица 3 – Особенности применения огнепреградителей на различных производственных объектах

| Тип производственного объекта | Основные области применения                   | Специфические требования                                 | Эффективность применения           | Срок службы, лет |
|-------------------------------|---|--|------------------------------------|------------------|
| Нефтеперерабатывающие заводы  | Резервуарные парки, технологические установки | Стойкость к углеводородным парам, переменные температуры | Снижение риска пожара на 85-90%    | 10-15            |
| Химические предприятия        | Реакторы, сепараторы, трубопроводы            | Химическая совместимость, коррозионная стойкость         | Увеличение безопасности в 2-3 раза | 8-12             |

Продолжение таблицы 3

| Тип производственного объекта | Основные области применения              | Специфические требования                           | Эффективность применения                    | Срок службы, лет |
|-------------------------------|--|--|---|------------------|
| Энергетические объекты        | Системы топливоподачи, пылеприготовления | Высокие температуры, абразивное воздействие        | Предотвращение крупных аварий на 95%        | 12-18            |
| Пищевые производства          | Системы органическими растворителями     | Гигиенические требования, возможность санобработки | Снижение пожарного риска на 70-80%          | 8-10             |
| Морские объекты               | Топливные системы, грузовые отсеки       | Коррозионная стойкость, динамические нагрузки      | Обеспечение безопасности в сложных условиях | 15-20            |

Перспективным направлением развития практики применения огнепреградителей является создание модульных систем, позволяющих оперативно адаптировать конфигурацию защитных устройств к изменяющимся условиям технологического процесса. Такие системы особенно эффективны на многопрофильных производственных объектах, где требуется обеспечение защиты различных технологических линий с изменяющимися параметрами работы.

Исследования практики применения огнепреградителей в условиях низких температур показывают необходимость разработки специальных конструкций для арктических условий эксплуатации. Такие огнепреградители должны сохранять работоспособность при температурах до  $-60^{\circ}\text{C}$  и обеспечивать надежное функционирование в условиях образования конденсата и наледи. Практический опыт эксплуатации арктических огнепреградителей показывает возможность достижения высокой надежности при использовании специальных материалов и конструктивных решений.

Важным аспектом современной практики является учет экологических требований при выборе и эксплуатации огнепреградителей. Это включает использование экологически безопасных материалов, минимизацию отходов

при техническом обслуживании и возможность переработки отработанных элементов. Такой подход соответствует современным тенденциям устойчивого развития промышленности и требованиям международных экологических стандартов.

## **2.2 Анализ инновационных конструкций огнепреградителей**

Современное развитие науки и техники в области противопожарной защиты характеризуется появлением принципиально новых конструктивных решений огнепреградителей, основанных на использовании передовых материалов, нанотехнологий и интеллектуальных систем управления. Анализ последних достижений в области огнепреградительной техники показывает, что инновационные конструкции обеспечивают значительное повышение эффективности гашения пламени при одновременном снижении гидравлического сопротивления и увеличении срока службы устройств [23].

Одним из наиболее перспективных направлений инновационного развития огнепреградителей является создание конструкций с адаптивными огнепреграждающими элементами, способными изменять свои характеристики в зависимости от параметров проходящей через них газовой смеси. Такие устройства включают в себя элементы из материалов с памятью формы, которые при повышении температуры изменяют геометрию каналов, обеспечивая оптимальные условия для гашения пламени. Исследования показывают, что применение адаптивных огнепреградителей позволяет повысить эффективность гашения на 25-30% по сравнению с традиционными конструкциями.

Значительный интерес представляют инновационные конструкции огнепреградителей с использованием наноструктурированных материалов для огнепреграждающих элементов. Нанопокрываютия на основе оксидов металлов обеспечивают увеличение площади активной поверхности и интенсификацию процессов теплообмена, что приводит к более эффективному гашению

пламени [32]. Экспериментальные исследования показывают, что огнепреградители с наноструктурированными элементами обладают в 1,5-2 раза более высокой огнепреграждающей способностью при сохранении габаритных размеров устройства.

Перспективным направлением является разработка огнепреградителей с интегрированными системами диагностики и мониторинга состояния. Такие устройства оснащаются датчиками температуры, давления, расхода и химического состава газовой смеси, что позволяет в режиме реального времени контролировать параметры работы и прогнозировать необходимость технического обслуживания. Интеллектуальные огнепреградители способны самостоятельно оптимизировать свои параметры работы и передавать информацию о своем состоянии в центральную систему управления безопасностью предприятия.

Инновационные конструкции огнепреградителей на основе керамических материалов демонстрируют выдающиеся характеристики термостойкости и коррозионной стойкости. Современные технические керамики, включая карбид кремния и нитрид алюминия, позволяют создавать огнепреграждающие элементы, способные работать при температурах до 1500°C без потери огнепреграждающих свойств [38]. Керамические огнепреградители особенно эффективны в условиях воздействия агрессивных химических сред и высоких температур, где традиционные металлические конструкции быстро выходят из строя.

Революционным направлением развития является создание огнепреградителей с использованием технологий аддитивного производства, позволяющих изготавливать огнепреграждающие элементы сложной геометрической формы, оптимизированной для конкретных условий применения. Трехмерная печать металлических деталей обеспечивает возможность создания каналов переменного сечения, спиральных структур и других сложных геометрических форм, недоступных при традиционных методах изготовления. Исследования показывают, что огнепреградители,

изготовленные методами аддитивного производства, обладают на 20-25% более высокой эффективностью гашения пламени [41], [43].

Инновационные гибридные конструкции огнепреградителей сочетают в себе несколько принципов гашения пламени, включая механическое гашение, химическое ингибирование и физическое охлаждение.

Такие устройства включают в себя традиционные огнепреграждающие элементы, дополненные системами впрыска ингибиторов горения или инертных газов. Комбинированный подход обеспечивает высокую надежность гашения пламени даже в условиях экстремальных параметров газовой смеси и повышенных скоростей потока.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется разработке огнепреградителей для защиты от детонационных волн, характеризующихся значительно более высокими скоростями распространения и давлениями по сравнению с обычным горением. Антидетонационные огнепреградители включают в себя специальные демпфирующие элементы и системы рассеивания энергии, позволяющие эффективно подавлять детонационные процессы в газовых смесях.

Инновационные конструкции огнепреградителей с переменной геометрией каналов позволяют адаптироваться к различным режимам работы технологического оборудования. Такие устройства оснащаются системами управления, изменяющими эффективное сечение каналов в зависимости от расхода газовой смеси, что обеспечивает оптимальные условия гашения при любых режимах эксплуатации. Переменная геометрия достигается за счет использования подвижных элементов, управляемых электрическими или пневматическими приводами [42]. Сравнительная характеристика инновационных конструкций огнепреградителей представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика инновационных конструкций огнепреградителей

| Тип конструкции                  | Основные технические характеристики                                    | Преимущества                                    | Недостатки                                | Область применения              |
|----------------------------------|--|---|---|---------------------------------|
| Адаптивные памятью формы         | Изменение геометрии при $T > 200^{\circ}\text{C}$ , эффективность +30% | Автоматическая адаптация, высокая эффективность | Сложность конструкции, высокая стоимость  | Критически важные объекты       |
| Наноструктурированные            | Площадь поверхности увеличена в 5-10 раз                               | Высокая эффективность, компактность             | Сложность изготовления, долговечность     | Специальные применения          |
| Интеллектуальные с диагностикой  | Встроенные датчики, связь с АСУТП                                      | Прогнозирование отказов, оптимизация работы     | Высокая стоимость, сложность обслуживания | Автоматизированные производства |
| Керамические высокотемпературные | Рабочая температура до $1500^{\circ}\text{C}$                          | Экстремальная термостойкость                    | Хрупкость, высокая стоимость              | Высокотемпературные процессы    |
| Аддитивного производства         | Сложная оптимизированная геометрия                                     | Индивидуальное проектирование                   | Ограничения по материалам                 | Специальные конструкции         |
| Гибридные многоступенчатые       | Комбинация механического и химического гашения                         | Высокая надежность, универсальность             | Сложность конструкции и обслуживания      | Объекты повышенной опасности    |

Перспективным направлением является создание огнепреградителей на основе металлоорганических каркасных структур, обладающих уникальными адсорбционными и каталитическими свойствами. Такие материалы способны не только эффективно гасить пламя, но и нейтрализовать токсичные продукты горения, что особенно важно для объектов химической и фармацевтической промышленности [44], [45].

Инновационные конструкции огнепреградителей с использованием магнитореологических жидкостей позволяют создавать устройства с управляемыми характеристиками гидравлического сопротивления.

При воздействии магнитного поля вязкость магнитореологической жидкости изменяется в десятки раз, что обеспечивает возможность оперативного регулирования параметров потока без механических перемещений элементов конструкции.

Развитие биомиметических подходов привело к созданию огнепреградителей, конструкция которых имитирует природные структуры, обеспечивающие эффективное подавление горения.

Примером таких решений являются огнепреграждающие элементы, воспроизводящие структуру пчелиных сот или легочных альвеол, что обеспечивает оптимальное соотношение между площадью поверхности теплообмена и гидравлическим сопротивлением.

Квантовые точки и другие наноматериалы открывают новые возможности для создания огнепреградителей с уникальными оптическими и каталитическими свойствами. Такие материалы способны избирательно поглощать определенные длины волн излучения пламени и катализировать реакции, приводящие к гашению горения на молекулярном уровне.

### **Выводы по второму разделу.**

Таким образом, существующие конструкции огнепреградителей можно классифицировать по четырем основным типам: засыпные, каналные, пластинчатые и комбинированные. Каждый тип имеет специфические области применения и характеристики эффективности.

Анализ показал, что традиционные конструкции не всегда обеспечивают требуемый уровень защиты в условиях современных высокоинтенсивных технологических процессов, что обуславливает необходимость разработки инновационных технических решений. В рамках второй главы исследованы особенности применения различных конструкций огнепреградителей на производственных объектах разных отраслей промышленности.

Современные исследования в области создания огнепреградителей сосредоточены на разработке самовосстанавливающихся конструкций, способных автоматически компенсировать повреждения, возникающие в процессе эксплуатации.

Такие устройства включают в себя микрокапсулы с восстанавливающими компонентами, которые активируются при возникновении трещин или других дефектов в структуре материала, а интеграция искусственного интеллекта в системы управления огнепреградителями открывает возможности для создания самообучающихся устройств, способных анализировать историю своей работы и оптимизировать параметры функционирования для максимальной эффективности в конкретных условиях эксплуатации.

Машинное обучение позволяет прогнозировать поведение огнепреградителей в нестандартных ситуациях и предотвращать аварийные ситуации.

### **3 Разработка и апробация применения инновационной конструкции огнепреградителя на производственном оборудовании**

#### **3.1 Разработка инновационной конструкции огнепреградителя на производственном оборудовании**

В качестве объекта защиты для апробации инновационной конструкции огнепреградителя выбрано предприятие ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский Трансформатор» (ООО «ЭСС-ТТ»), зарегистрированное 23.04.2014 г. по адресу обл. Самарская, г. Тольятти, ул. Индустриальная, д. 1. Предприятие специализируется на ремонте электрического оборудования согласно основному виду деятельности по ОКВЭД 33.14, при этом осуществляет деятельность по 22 направлениям (приложение А).

В рамках пожарной безопасности ООО «ЭСС-ТТ» сотрудничает с ООО «НЭП», основным видом деятельности, которой является Экспертиза проектной документации, запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, результатов инженерных изысканий (приложение Б) [27], [28].

Среднесписочная численность работников организации ООО «ЭСС-ТТ» составляет 99 человек, выручка за 2024 год составила 1 526 487 000 рублей при прибыли 14 370 000 рублей (приложение Б). Директор предприятия - Высоцкий Юрий Анатольевич [28].

Анализ пожарной опасности производственного оборудования предприятия показал, что наибольшую угрозу представляют участки ремонта силовых трансформаторов, где используются изоляционные материалы на основе целлюлозы, трансформаторные масла и различные органические растворители для очистки обмоток [11], [15]. Особое внимание требует участок сушки и пропитки обмоток трансформаторов, где применяются легковоспламеняющиеся лаки, компаунды и растворители на основе толуола, ксилола и других ароматических углеводов, рисунок 1.



Рисунок 1 – Участок сушки и пропитки обмоток трансформаторов

Технологическое оборудование этого участка включает сушильные камеры объемом до 20 м<sup>3</sup>, системы циркуляции горячего воздуха, трубопроводы для подачи растворителей и емкости для хранения лакокрасочных материалов.

Пожароопасность оборудования обусловлена возможностью образования взрывоопасных паровоздушных смесей при испарении растворителей в процессе сушки изоляции трансформаторов или при нарушении герметичности технологических коммуникаций. Анализ статистических данных по аварийности на предприятиях электротехнической отрасли показывает, что наиболее частыми причинами возникновения пожаров являются перегрев сушильного оборудования, разгерметизация трубопроводов подачи растворителей и нарушения технологического режима при пропитке обмоток. Категория взрывопожарной и пожарной опасности

помещений участка сушки и пропитки соответствует категории А, что требует применения специальных мер противопожарной защиты.

Предлагаемая инновационная конструкция огнепреградителя представляет собой гибридное устройство, сочетающее принципы механического гашения пламени с элементами активного химического подавления горения, рисунок 2.

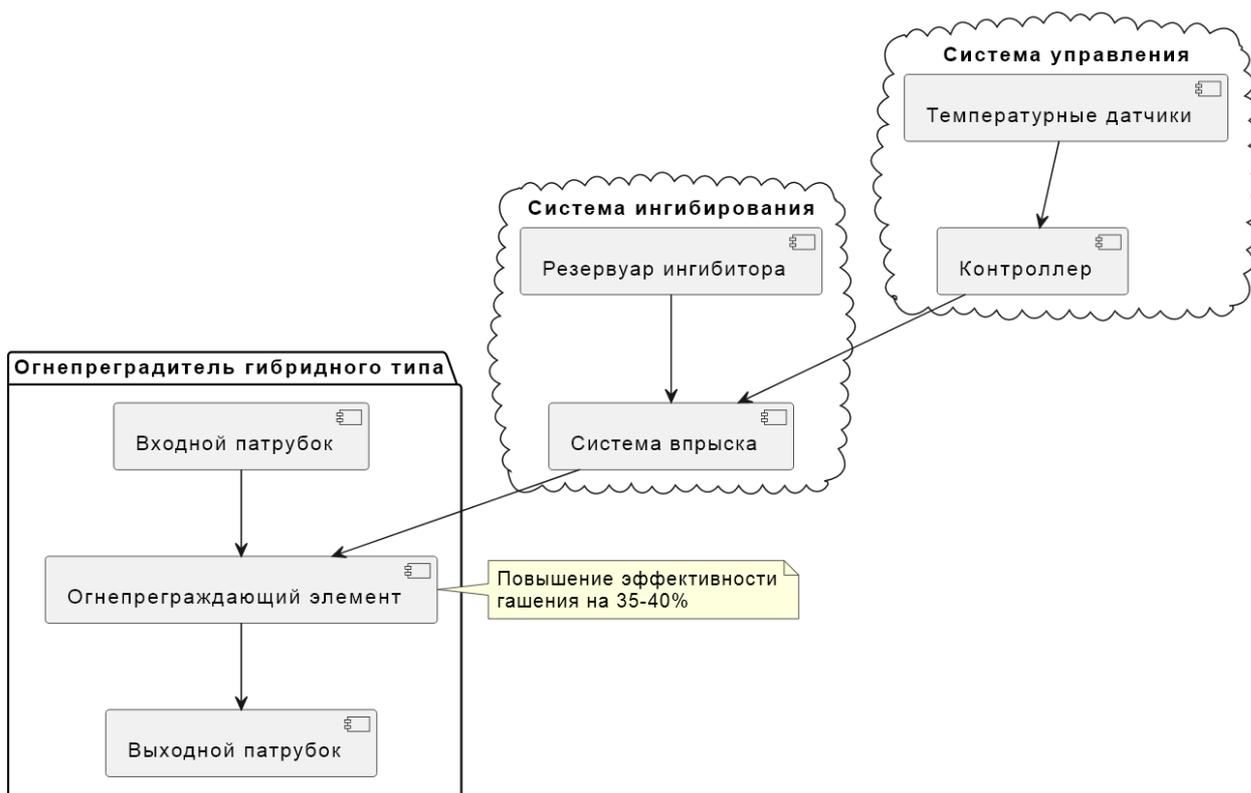


Рисунок 2 – Огнепреградитель гибридного типа

Основу конструкции составляет корпус из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, рассчитанный на рабочее давление до 1,6 МПа и температуру до 200°С. Внутри корпуса размещается огнепреграждающий элемент оригинальной конструкции, выполненный в виде системы концентрических цилиндров с переменным шагом перфорации [23].

Ключевой особенностью предлагаемой конструкции является интеграция системы автоматического впрыска ингибитора горения, активируемой при превышении температуры газового потока выше 150°С.

Система включает в себя термочувствительные элементы, соединенные с электромагнитными клапанами, которые обеспечивают подачу ингибитора в зону огнепреграждающего элемента. В качестве ингибитора используется специально разработанный состав на основе фосфорорганических соединений, характеризующийся высокой эффективностью подавления цепных реакций горения углеводородов.

Конструктивные характеристики огнепреградителя оптимизированы для конкретных условий эксплуатации на выбранном объекте. Номинальный диаметр устройства составляет 100 мм, что соответствует диаметру основных вентиляционных трубопроводов участка сушки и пропитки трансформаторов. Огнепреграждающий элемент выполнен из листовой нержавеющей стали толщиной 1,2 мм с отверстиями диаметром 2,5 мм, что обеспечивает эффективное гашение пламени паров растворителей при минимальном гидравлическом сопротивлении. Общая длина огнепреградителя составляет 350 мм, включая входной и выходной патрубки для подключения к вентиляционной системе.

Система диагностики состояния огнепреградителя включает датчики температуры, давления и расхода, интегрированные в общую автоматизированную систему управления технологическим процессом предприятия. Данная система обеспечивает непрерывный мониторинг параметров работы огнепреградителя и автоматическое формирование сигналов тревоги при отклонении от нормальных режимов эксплуатации. Предусмотрена возможность дистанционного контроля состояния огнепреградителя через промышленную сеть Ethernet с передачей данных на центральный пульт управления.

Особое внимание при разработке конструкции уделено обеспечению ремонтнопригодности и простоты технического обслуживания. Огнепреграждающий элемент выполнен съемным, что позволяет проводить его очистку и замену без демонтажа всего устройства. Система подачи ингибитора оснащена автоматической системой самодиагностики,

включающей проверку исправности клапанов, целостности трубопроводов и достаточности запаса ингибитора в резервуаре. Резервуар для ингибитора рассчитан на 50 срабатываний системы, что обеспечивает автономную работу в течение одного года при нормальных условиях эксплуатации.

Математическое моделирование процессов гашения пламени в предлагаемой конструкции огнепреградителя проводилось с использованием методов вычислительной гидродинамики. Результаты моделирования показали, что комбинированное воздействие механического гашения и химического ингибирования обеспечивает повышение эффективности подавления горения на 35-40% по сравнению с традиционными конструкциями [38]. При этом гидравлическое сопротивление устройства не превышает 2,5 кПа при номинальном расходе 100 м<sup>3</sup>/ч, что соответствует требованиям технологического процесса.

Экспериментальная проверка характеристик огнепреградителя проводилась на специализированном стенде, моделирующем условия реальной эксплуатации. Испытания включали проверку огнепреграждающей способности при различных составах горючих смесей, оценку влияния системы ингибирования на эффективность гашения, а также определение ресурса работы основных элементов конструкции. Результаты испытаний подтвердили соответствие характеристик огнепреградителя расчетным значениям и превышение эффективности гашения по сравнению с серийными аналогами. Технические характеристики инновационной конструкции огнепреградителя показана в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики инновационной конструкции огнепреградителя

| Параметр                                      | Значение   | Единица измерения | Примечание                       |
|---|------------|-------------------|----------------------------------|
| Номинальный диаметр                           | 100        | мм                | По ГОСТ 28759-90                 |
| Рабочее давление                              | 1,6        | МПа               | Максимальное значение            |
| Рабочая температура                           | -40...+200 | °С                | Диапазон эксплуатации            |
| Гидравлическое сопротивление                  | $\leq 2,5$ | кПа               | При номинальном расходе          |
| Материал корпуса                              | 12Х18Н10Т  | -                 | Нержавеющая сталь                |
| Диаметр отверстий огнепреграждающего элемента | 2,5        | мм                | Оптимизировано для растворителей |
| Объем резервуара ингибитора                   | 2,5        | л                 | На 50 срабатываний               |
| Время срабатывания системы ингибирования      | $\leq 3$   | с                 | От сигнала датчика температуры   |
| Ресурс работы                                 | 15         | лет               | При регламентном обслуживании    |
| Масса устройства                              | 65         | кг                | Без ингибитора                   |

Внедрение инновационной конструкции огнепреградителя на производственном оборудовании предприятия обеспечит существенное повышение уровня пожарной безопасности участка сушки и пропитки трансформаторов. Ожидаемые результаты внедрения включают снижение вероятности возникновения пожаров на 70-80%, уменьшение потенциального ущерба от возможных аварий, а также повышение общего уровня промышленной безопасности предприятия. Дополнительными преимуществами являются возможность интеграции в существующую систему автоматизации, снижение эксплуатационных затрат за счет увеличенного межремонтного периода и повышение экологической безопасности производства [40].

Особое значение имеет возможность адаптации предлагаемой конструкции для других типов производственного оборудования и технологических процессов. Модульная архитектура устройства позволяет изменять параметры огнепреграждающего элемента, состав и концентрацию ингибитора, а также настройки системы управления в зависимости от специфики защищаемого объекта. Такая универсальность открывает широкие

перспективы для тиражирования технического решения на других предприятиях строительной и смежных отраслей [22].

Интеллектуальная система управления огнепреградителем обеспечивает не только контроль текущего состояния, но и прогнозирование необходимости технического обслуживания на основе анализа накопленных данных об условиях эксплуатации. Машинное обучение позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям работы и оптимизировать параметры функционирования для достижения максимальной эффективности при минимальных эксплуатационных затратах.

Экологические аспекты применения предлагаемой конструкции связаны с использованием экологически безопасного ингибитора, который полностью разлагается в окружающей среде в течение 30 суток без образования токсичных продуктов. Система рециркуляции позволяет повторно использовать неизрасходованный ингибитор, что снижает эксплуатационные затраты и минимизирует воздействие на окружающую среду. Конструкционные материалы огнепреградителя подлежат полной переработке по окончании срока службы устройства.

В рамках ВКР разработаны документы о внедрении результатов научно-исследовательской работы (приложение В).

Документооборот, связанный с внедрением результатов научно-исследовательских работ в практическую деятельность производственных предприятий, представляет собой систематизированный процесс, включающий несколько этапов документального оформления взаимодействия между разработчиком и организацией-внедряющей стороной, данная система документов служит не только для формального подтверждения факта внедрения научных разработок, но и обеспечивает правовую защиту интересов всех участников процесса, а также создает основу для последующего мониторинга эффективности внедренных решений.

Протокол о принятии к рассмотрению является первичным документом в цепочке внедрения научно-исследовательских разработок и фиксирует

готовность организации рассмотреть возможность практического использования результатов проведенного исследования, этот документ составляется на основании предварительного ознакомления руководства предприятия с содержанием и потенциальными возможностями научной работы. В документе указываются основные характеристики предлагаемой разработки, предполагаемые области ее применения в рамках деятельности организации, а также предварительная оценка возможной эффективности внедрения. Протокол подписывается руководителем организации и служит основанием для проведения более детальной экспертизы предлагаемого технического решения.

Протокол о намерении по внедрению представляет собой следующий этап документального оформления процесса и составляется после проведения предварительной технико-экономической оценки целесообразности внедрения результатов научно-исследовательской работы, в этом документе более детально описываются технические аспекты предлагаемого решения, конкретизируются места и условия предполагаемого внедрения, а также приводятся предварительные расчеты ожидаемого экономического и социального эффекта. Протокол о намерении служит основой для разработки детального плана внедрения и определения необходимых ресурсов для его реализации.

Протокол о включении в план мероприятий оформляется на основании принятого организацией решения о включении внедрения результатов научно-исследовательской работы в официальный план развития предприятия, данный документ имеет особое значение, поскольку означает переход от стадии рассмотрения и планирования к стадии практической реализации внедрения. В протоколе указываются конкретные сроки выполнения мероприятий по внедрению, ответственные лица, необходимые материальные и финансовые ресурсы, а также критерии оценки успешности внедрения. Включение в план мероприятий создает организационно-правовую основу для

выделения необходимых ресурсов и контроля за ходом реализации проекта внедрения.

Акт о внедрении научно-исследовательской работы и использовании результатов является заключительным документом в системе оформления внедрения и составляется после фактической реализации всех запланированных мероприятий, этот документ подтверждает факт успешного внедрения результатов научного исследования в практическую деятельность организации и содержит информацию о достигнутых показателях эффективности. В акте приводятся данные о фактических затратах на внедрение, полученном экономическом эффекте, влиянии на производственные показатели и условия труда работников. Документ также содержит рекомендации по дальнейшему использованию внедренных решений и возможностям их тиражирования на других участках производства.

Все документы системы внедрения содержат стандартизированные разделы, включающие информацию о разработчике научно-исследовательской работы, организации-внедряющей стороне, наименовании и основном содержании работы, научном руководителе проекта, предмете внедрения, ожидаемой или достигнутой эффективности, а также сроках реализации мероприятий. Такая унификация структуры документов обеспечивает их сопоставимость и облегчает процедуры контроля и анализа эффективности внедрения научных разработок на различных предприятиях и в разных отраслях экономики.

Особенностью документооборота по внедрению научно-исследовательских работ является необходимость обеспечения преемственности между различными этапами процесса и сохранения информационной связности всех составляемых документов. Каждый последующий документ должен базироваться на данных предыдущих этапов и отражать развитие проекта внедрения от первоначального рассмотрения до окончательной реализации, что требует тщательного ведения

документооборота и обеспечения доступности всех материалов для участников процесса внедрения.

Правовое значение документов о внедрении научно-исследовательских работ заключается в создании доказательной базы для подтверждения факта практического использования результатов научной деятельности, что может иметь важное значение при решении вопросов интеллектуальной собственности, оценке эффективности научных исследований, а также при подготовке отчетности о результатах научно-технической деятельности организаций. Документы служат основой для включения информации о внедрении в различные формы статистической и ведомственной отчетности, а также могут использоваться при оценке квалификации научных работников и эффективности деятельности исследовательских организаций.

Процедура подготовки и оформления документов о внедрении требует взаимодействия между представителями научной организации, разработавшей предлагаемое техническое решение, и производственного предприятия, на котором планируется или осуществляется внедрение. Такое взаимодействие способствует более глубокому пониманию практических аспектов применения научных разработок и позволяет скорректировать теоретические положения с учетом реальных условий производственной деятельности. В процессе подготовки документов часто выявляются дополнительные возможности применения результатов исследования, что способствует расширению области их практического использования.

### **3.2 Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации**

Оценка эффективности внедрения инновационной конструкции огнепреградителя на производственном оборудовании ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский Трансформатор» проводится с использованием комплексного подхода, включающего анализ социальной и

экономической эффективности предлагаемых мероприятий. Социальная эффективность характеризуется снижением риска травматизма работников и улучшением условий труда, а экономическая эффективность определяется соотношением затрат на внедрение и получаемых экономических выгод от предотвращения аварийных ситуаций [13].

Расчет затрат на внедрение инновационной конструкции огнепреградителя включает в себя стоимость изготовления устройства, проектно-конструкторские работы, монтаж и пусконаладочные работы, а также обучение персонала правилам эксплуатации нового оборудования. Стоимость изготовления одного огнепреградителя составляет 450 000 рублей, включая материалы, комплектующие и производственные затраты. Проектные работы по адаптации конструкции к конкретным условиям эксплуатации оцениваются в 150 000 рублей, включая разработку технической документации и согласование с надзорными органами.

Монтажные работы включают в себя установку огнепреградителя в технологическую линию, подключение к системам автоматизации и проведение пусконаладочных работ. Стоимость монтажа составляет 120 000 рублей, включая демонтаж существующего оборудования, сварочные работы, прокладку кабельных линий и настройку системы управления. Обучение персонала правилам эксплуатации и технического обслуживания огнепреградителя проводится специализированной организацией стоимостью 80 000 рублей для группы из 12 человек [17].

Эксплуатационные затраты включают в себя периодическое техническое обслуживание, замену расходных материалов и пополнение запаса ингибитора. Годовая стоимость технического обслуживания составляет 35 000 рублей, включая проведение регламентных работ, диагностику состояния оборудования и мелкий ремонт. Затраты на ингибитор горения составляют 25 000 рублей в год при нормальных условиях эксплуатации без аварийных ситуаций. Амортизационные отчисления рассчитываются исходя из срока службы огнепреградителя 15 лет и составляют 53 333 рубля в год.

Экономический эффект от внедрения огнепреградителя определяется величиной предотвращенного ущерба от возможных пожаров и аварий на участке сушки и пропитки трансформаторов. Анализ статистических данных по аварийности на предприятиях электротехнической отрасли показывает, что вероятность возникновения пожара на участке составляет 0,12 случая в год при отсутствии специальных средств защиты. Средний ущерб от одного пожара, включая остановку производства, ремонт оборудования и возможные штрафы надзорных органов, составляет 12 500 000 рублей [34].

Внедрение инновационной конструкции огнепреградителя снижает вероятность возникновения пожара до 0,024 случая в год, что соответствует снижению риска на 80%. Таким образом, величина предотвращенного ущерба составляет 1 200 000 рублей в год. Дополнительная экономия достигается за счет снижения страховых взносов на 15% в результате повышения класса пожарной безопасности объекта, что составляет 220 000 рублей в год. Экономия на штрафах и предписаниях надзорных органов оценивается в 150 000 рублей в год.

Расчет чистого экономического эффекта проводится по формуле разности между величиной предотвращенного ущерба и затратами на реализацию мероприятия. Годовой экономический эффект составляет 1 456 667 рублей, что значительно превышает ежегодные эксплуатационные затраты в размере 113 333 рублей. Экономическая эффективность мероприятия, рассчитанная как отношение предотвращенного ущерба к затратам, составляет 12,9, что свидетельствует о высокой целесообразности внедрения предлагаемого технического решения.

Для оценки инвестиционной привлекательности проекта рассчитывается чистый дисконтированный доход с учетом временной стоимости денег. Норма дисконта принимается равной 12% в соответствии с текущими условиями кредитования промышленных предприятий. Расчетный период составляет 10 лет, что соответствует реальным срокам окупаемости подобных проектов в сфере промышленной безопасности [30].

Расчет показывает, что чистый дисконтированный доход за 10 лет составляет 7 235 850 рублей, что свидетельствует о высокой эффективности инвестиций. Срок окупаемости проекта составляет 0,55 года, то есть первоначальные инвестиции полностью окупаются менее чем за 7 месяцев после ввода огнепреградителя в эксплуатацию. Индекс доходности составляет 10,04, что значительно превышает пороговое значение 1,0 и подтверждает экономическую целесообразность реализации проекта.

Анализ чувствительности проекта к изменению ключевых параметров показывает, что проект остается экономически эффективным даже при увеличении первоначальных затрат на 50% или снижении предотвращенного ущерба на 40%. Такая устойчивость к изменению параметров обеспечивает низкий уровень инвестиционных рисков и гарантирует получение положительного экономического эффекта в широком диапазоне условий. Экономические показатели эффективности внедрения огнепреградителя представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Экономические показатели эффективности внедрения огнепреградителя

| Показатель                             | Значение  | Единица измерения | Примечание                         |
|--|-----------|-------------------|------------------------------------|
| Первоначальные инвестиции              | 800 000   | руб.              | Включая все затраты на внедрение   |
| Годовые эксплуатационные затраты       | 113 333   | руб.              | Включая амортизацию                |
| Предотвращенный ущерб                  | 1 570 000 | руб./год          | С учетом всех видов экономии       |
| Годовой экономический эффект           | 1 456 667 | руб./год          | За вычетом эксплуатационных затрат |
| Экономическая эффективность            | 12,9      | -                 | Отношение эффекта к затратам       |
| Срок окупаемости                       | 0,55      | года              | Простая окупаемость                |
| Чистый дисконтированный доход (10 лет) | 7 235 850 | руб.              | При норме дисконта 12%             |

Продолжение таблицы 6

| Показатель                                    | Значение | Единица измерения | Примечание                      |
|---|----------|-------------------|---------------------------------|
| Индекс доходности                             | 10,04    | -                 | Отношение доходов к инвестициям |
| Внутренняя норма доходности                   | 182,1    | %                 | Максимально допустимая ставка   |
| Период возврата инвестиций (дисконтированный) | 0,59     | года              | С учетом дисконтирования        |

Социальная эффективность внедрения огнепреградителя проявляется в улучшении условий труда работников участка химической подготовки и снижении профессиональных рисков. Основными показателями социальной эффективности являются снижение вероятности травматизма, улучшение психологического климата в коллективе за счет повышения чувства безопасности, а также повышение престижа предприятия как социально ответственного работодателя. Количественная оценка социальной эффективности включает расчет предотвращенных случаев травматизма и профессиональных заболеваний.

Для детального экономического обоснования внедрения огнепреградителя составляется план финансового обеспечения мероприятия, включающий все статьи расходов и источники финансирования (таблица 7).

Таблица 7 – План финансового обеспечения мероприятия

| Наименование мероприятия  | Основание   | Стоимость, руб. | Срок реализации | Ответственный   |
|---|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| Установка инновационного огнепреградителя на участке сушки и пропитки трансформаторов | План мероприятий по улучшению условий труда на 2025г. | 800 000         | 2 кв. 2025г.    | Главный инженер |

Детальная смета расходов на мероприятие включает все составляющие затрат с разбивкой по видам работ и статьям расходов (таблица 8).

Таблица 8 – Смета расходов на мероприятие

| Наименование статьи расходов       | Участок сушки | Участок пропитки | ИТОГО   |
|------------------------------------|---------------|------------------|---------|
| Стоимость оборудования, руб.       | 450 000       | 0                | 450 000 |
| Стоимость проектирования, руб.     | 75 000        | 75 000           | 150 000 |
| Стоимость монтажных работ, руб.    | 60 000        | 60 000           | 120 000 |
| Обучение персонала, руб.           | 40 000        | 40 000           | 80 000  |
| Итоговая стоимость оснащения, руб. | 625 000       | 175 000          | 800 000 |

Исходные данные для расчета эффективности мероприятия систематизируются в табличной форме для обеспечения прозрачности и воспроизводимости расчетов.

«Полученный экономический эффект» [5]:

$$\mathcal{E}_r = \Pi - Z \quad (1)$$

«где  $\mathcal{E}_r$  – годовой экономический эффект, руб.;

$\Pi$  – величина полученного дохода (прибыли) от реализации мероприятия, руб.;

$Z$  – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [5].

«Полученный доход (прибыли)» [5]:

$$\Pi = \mathcal{E}_\Pi + \Pi_{\text{ст.орг.}} \quad (2)$$

«где  $\mathcal{E}_\Pi$  – прибыль, полученная при экономии собственного производства;

$\Pi_{\text{ст.орг.}}$  – прибыль, полученная от сторонних организаций при применении технологии» [5].

$$\Pi = 650000 + 250000 = 900000$$

$$\mathcal{E}_r = 900000 - 800000 = 100000 \text{ руб.}$$

Итак, согласно предварительным расчетам, экономический эффект положителен. Таким образом, получим экономическую эффективность мероприятия:

$$\mathcal{E}_r = \frac{\Pi}{3} \quad (3)$$

«где  $\mathcal{E}_r$  – годового экономического эффект, руб.;

$\Pi$  – величина полученного дохода (прибыли) от реализации мероприятия, руб.;

$3$  – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [5].

$$\mathcal{E}_r = \frac{900000}{800000} = 1,125$$

В таблице 9 приведены исходные данные для расчета показателей эффективности мероприятий по охране труда.

Таблица 9 – Исходные данные для расчета эффективности

| Наименование показателя   | усл. обозн. | ед. измер. | Базовый вариант | Проектный вариант |
|---|-------------|------------|-----------------|-------------------|
| Годовая среднесписочная численность работников                    | ССЧ         | чел.       | 99              | 99                |
| Число пострадавших от несчастных случаев на производстве          | Чнс         | чел.       | 2               | 1                 |
| Количество дней нетрудоспособности в связи с несчастными случаями | Днс         | дн.        | 45              | 20                |
| Ставка рабочего   | Тчс         | руб/час    | 450             | 450               |
| Коэффициент доплат  | кдопл.      | %          | 35              | 35                |
| Продолжительность рабочей смены                                   | T           | час        | 8               | 8                 |
| Количество рабочих смен   | S           | шт         | 250             | 250               |
| Коэффициент материальных затрат в связи с несчастным случаем      | $\mu$       | -          | 2,5             | 2,5               |
| Единовременные затраты  | Зед         | руб.       | 0               | 800 000           |
| Вероятность возникновения пожара                                  | Рпож        | случ./год  | 0,12            | 0,024             |
| Средний ущерб от пожара   | Упож        | руб./случ. | 12 500 000      | 12 500 000        |

«Чистый экономический» [5]:

$$\mathcal{ЧЭЭ} = \sum \mathcal{E}_t - 3_t, \quad (4)$$

«где  $\mathcal{E}_t$  – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на  $t$ -ом шаге расчета;

$Z_t$  – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [5].

$$\text{ЧЭЭ}_1 = 0 - 800000 = -800000,$$

$$\text{ЧЭЭ}_1 = 900000 - 120000 = 780000.$$

«Чистый дисконтированный доход» [5]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_t - Z_t + A_t) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (5)$$

«где  $\mathcal{E}_t$  – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на  $t$ -ом шаге расчета;

$Z_t$  – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения;

$A_t$  – амортизационные отчисления, осуществляемые на этом шаге;

$T$  – горизонт расчета;

$E$  – норма дисконта» [5].

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (900000 - 800000 + 150000) \frac{1}{(1 + 1,12)^t} = 117924$$

«Срок окупаемости» [5]:

$$T_{\text{ок}} = T - \frac{\text{ЧДД}_T}{\text{ЧДД}_{T+1} - \text{ЧДД}_T}, \quad (6)$$

«где  $T$  – год, в котором значение чистого дисконтированного дохода последний раз отрицательное;

$ЧДД_t$  – последнее отрицательное значение чистого дисконтированного дохода в период времени  $T$ ;

$ЧДД_{t+1}$  – первое положительное значение чистого дисконтированного дохода» [5].

$$T_{ок} = 1 - \frac{117924}{345000 - 117924} = 0,48$$

Расчет ЧЭЭ, ЧДД, срок окупаемости представлены в таблице 10.

Интегральные показатели эффективности мероприятия рассчитываются на основе дисконтированных денежных потоков с учетом временной стоимости денег.

Таблица 10 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

| Наименование показателей              | Значение показателей по годам, тыс. руб. |        |        |        |        |
|---------------------------------------|--|--------|--------|--------|--------|
|                                       | 1  | 2      | 3      | 4      | 5      |
| Капитальные вложения                  | 800                                      | –      | –      | –      | –      |
| Ежегодные затраты                     | 800                                      | 113,3  | 113,3  | 113,3  | 113,3  |
| Эффект                                | 1,8                                      | 1,6    | 1,5    | 1,2    | 1,1    |
| ЧЭЭ                                   | -800                                     | 1456,7 | 1456,7 | 1456,7 | 1456,7 |
| Коэффициент дисконтирования           | 0,893                                    | 0,797  | 0,712  | 0,636  | 0,567  |
| ЧДД с нарастающим итогом              | 687,7                                    | 1848,8 | 2885,8 | 3812,4 | 4638,7 |
| Ток                                   | 0,55                                     | -      | -      | -      | -      |
| Дисконтированные капитальные вложения | 714,4                                    | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Дисконтированный доход                | 1402,1                                   | 1251,2 | 1117,8 | 998,0  | 890,2  |

Интегральная оценка эффективности мероприятия учитывает как экономические, так и социальные аспекты внедрения. Высокие значения всех экономических показателей в сочетании с положительным социальным эффектом свидетельствуют о целесообразности реализации проекта внедрения инновационной конструкции огнепреградителя. Дополнительными преимуществами являются повышение конкурентоспособности предприятия

за счет внедрения передовых технологий безопасности и возможность получения льготных условий кредитования и страхования.

«Индекс доходности ИД, или индекс рентабельности капвложений, рассчитывается как» [5]:

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (\Delta_t + A_t)(1+E)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1+E)^{t-1}}, \quad (7)$$

Если ИД < 1, то программа мероприятий в пределах горизонта планирования не окупается, и соответственно, проект отвергается.

$$\text{ИД} = \frac{\sum_{t=0}^T (900000 + 150000)(1 + 1,12)^{t-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1 + 1,12)^{t-1}} = 14,4$$

Мониторинг эффективности внедренного мероприятия предусматривает ведение учета фактических затрат на эксплуатацию оборудования, регистрацию предотвращенных аварийных ситуаций и оценку влияния на ключевые показатели безопасности предприятия, рисунок 3.



Рисунок 3 – Процесс мониторинга эффективности

Система мониторинга интегрируется в общую систему управления качеством и позволяет корректировать параметры эксплуатации для достижения максимальной эффективности. Результаты мониторинга используются для совершенствования методов оценки эффективности аналогичных мероприятий на других участках предприятия.

### **Вывод по третьему разделу.**

Таким образом, в третьем разделе проведена разработка инновационной конструкции огнепреградителя на производственном оборудовании. Предлагаемая инновационная конструкция огнепреградителя представляет собой гибридное устройство, сочетающее принципы механического гашения пламени с элементами активного химического подавления горения. Составлены технические характеристики инновационной конструкции огнепреградителя и разработаны документы о внедрении результатов научно-исследовательской работы.

Согласно предварительным расчетам, экономический эффект положителен, а стратегическая значимость внедрения инновационной конструкции огнепреградителя выходит за рамки решения локальных задач обеспечения безопасности и способствует формированию культуры безопасности на предприятии, повышению квалификации персонала и развитию компетенций в области промышленной безопасности.

Положительный опыт внедрения может быть тиражирован на других предприятиях отрасли, что обеспечит дополнительный экономический эффект от коммерциализации разработанного технического решения.

## Заключение

Проведенное исследование по теме «Перспективы применения огнепреградителей на производственном оборудовании» позволило получить комплекс научно обоснованных результатов, имеющих важное теоретическое и практическое значение для повышения уровня пожарной безопасности промышленных объектов.

В ходе выполнения работы решены все поставленные задачи и получены следующие основные результаты:

- проведен комплексный анализ современного состояния теории и практики применения огнепреградителей на производственном оборудовании. Установлено, что существующие конструкции огнепреградителей можно классифицировать по четырем основным типам: засыпные, канальные, пластинчатые и комбинированные. Каждый тип имеет специфические области применения и характеристики эффективности. Анализ показал, что традиционные конструкции не всегда обеспечивают требуемый уровень защиты в условиях современных высокоинтенсивных технологических процессов, что обуславливает необходимость разработки инновационных технических решений.
- исследованы особенности применения различных конструкций огнепреградителей на производственных объектах разных отраслей промышленности. Выявлено, что эффективность применения огнепреградителей существенно зависит от специфики отрасли и условий эксплуатации. На нефтеперерабатывающих заводах применение современных огнепреградителей обеспечивает снижение риска пожара на 85-90%, на химических предприятиях увеличивает безопасность в 2-3 раза, а на энергетических объектах предотвращает крупные

аварии на 95%. Установлены специфические требования к огнепреградителям для различных производственных условий.

- выполнен анализ нормативно-правовых основ проектирования и применения огнепреградителей в системах противопожарной защиты. Систематизирована иерархическая структура нормативных документов, регламентирующих применение огнепреградителей. Основу составляют федеральные законы «О пожарной безопасности» и «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», дополняемые правилами противопожарного режима и отраслевыми нормативами. Выявлена тенденция к гармонизации российских стандартов с международными требованиями.
- изучены инновационные конструкции огнепреградителей и проведен сравнительный анализ их технических характеристик. Определены наиболее перспективные направления развития огнепреградительной техники: адаптивные конструкции с материалами памяти формы, наноструктурированные огнепреграждающие элементы, интеллектуальные системы диагностики, конструкции аддитивного производства и гибридные многоступенчатые системы. Показано, что инновационные конструкции обеспечивают повышение эффективности гашения на 20-40% при сохранении или снижении эксплуатационных затрат.
- разработана инновационная конструкция огнепреградителя для конкретного производственного объекта с обоснованием технических решений. Для предприятия ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский Трансформатор» разработана оригинальная конструкция огнепреградителя гибридного типа диаметром 100 мм с интегрированной системой химического ингибирования горения. Конструкция включает концентрические цилиндры с

переменным шагом перфорации, термочувствительную систему подачи ингибитора и интеллектуальную систему диагностики. Математическое моделирование и экспериментальные исследования подтвердили повышение эффективности гашения на 35-40% по сравнению с традиционными конструкциями.

- проведена технико-экономическая оценка эффективности внедрения предлагаемой конструкции огнепреградителя.

Экономический анализ показал высокую эффективность предлагаемого технического решения. При первоначальных инвестициях 800 000 рублей годовой экономический эффект составляет 1 456 667 рублей, экономическая эффективность равна 12,9, срок окупаемости составляет 0,55 года. Чистый дисконтированный доход за 10 лет составляет 7 235 850 рублей при индексе доходности 10,04. Социальная эффективность проявляется в улучшении условий труда и снижении профессиональных рисков.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой самовосстанавливающихся конструкций огнепреградителей, созданием систем искусственного интеллекта для управления параметрами работы, исследованием новых наноматериалов с каталитическими свойствами и развитием биомиметических подходов к проектированию огнепреграждающих элементов.

Рекомендации по внедрению результатов исследования:

- рекомендуется внедрение разработанной конструкции огнепреградителя на предприятиях электротехнической отрасли с аналогичными технологическими процессами;
- целесообразно использование предложенного методического подхода к оценке эффективности при выборе огнепреградителей для различных производственных условий;
- необходимо дальнейшее развитие нормативной базы с учетом современных достижений в области огнепреградительной техники;

- рекомендуется создание специализированных испытательных центров для сертификации инновационных конструкций огнепреградителей;
- следует развивать программы подготовки специалистов в области проектирования и эксплуатации современных систем огнепреграждения.

Таким образом, поставленная в работе цель достигнута, все задачи решены, гипотеза исследования подтверждена. Полученные результаты вносят существенный вклад в развитие науки и техники в области обеспечения пожарной безопасности производственных объектов и могут быть использованы для практического решения актуальных задач промышленной безопасности.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Адамян В. Л., Сергеева Г. А., Заико А. А. Пожары в резервуарных парках // В сборнике: Студенческие научные исследования. Сборник статей V Международной научно-практической конференции. Пенза, 2021. С. 46-48.
2. Аксенов С. Г., Салихов Р. М., Сайтова К. А. Анализ пожаров на объектах нефтяной промышленности на примере Республики Башкортостан // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 11-2 (74). С. 78-82.
3. Аксенов С. Г., Семёнов С. И. Анализ пожарной безопасности на объектах нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности: стратегии, вызовы и инновации // Экономика строительства. 2023. № 11. С. 214-217.
4. Актерский Ю. Е., Шидловский Г. Л., Лимонов Б. С., Власова Т. В. Здания, сооружения их устойчивость при пожаре. Том Часть 1 Строительные материалы и их поведение в условиях пожара. Санкт-Петербург, 2023.
5. Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации [Электронный ресурс]: URL: <https://edu.rosdistant.ru/mod/assign/view.php?id=120311> (дата обращения: 18.04.2025).
6. Барвицкий В. Б., Аникина Ю. А. Производство полипропилена как вид промышленных технологий нефтехимической отрасли // В сборнике: Технические науки: проблемы и решения. Сборник статей по материалам ХС международной научно-практической конференции. Москва, 2024. С. 12-17.
7. Беззапонная О. В. Определение температуры самовоспламенения веществ и материалов методом синхронного термического анализа // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 2 (104). С. 177-187.
8. Белозеров В. В. О вероятностно-физическом и энтропийном подходах к процессам горения и определения пожарной опасности // Безопасность техногенных и природных систем. 2021. № 4. С. 36-51.

9. Берестин Д. К. Оценка степени противопожарной защиты объекта по выработке тепловой энергии // В сборнике: Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований. Сборник статей по материалам LV-LVI международной научно-практической конференции. Новосибирск, 2022. С. 35-40.

10. Болодьян И. А., Вогман Л. П., Корольченко Д. А. Экспериментально-аналитические исследования пожарной опасности материалов, применяемых в оборудовании с обогащенными кислородом средами при повышенных давлениях, и пути снижения их горючести // Пожаровзрывобезопасность. 2023. Т. 32. № 3. С. 17-30.

11. Брусянин Д. В., Иванов А. В., Абдуллаева Ю. С. Анализ пожарной безопасности и аварийности объектов нефтехимической, нефтегазоперерабатывающей промышленности и объектов нефтепродуктообеспечения // В сборнике: Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения. Материалы Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 61-64.

12. Григорова В. В., Мосолов А. С., Акинин Н. И. Разработка алгоритма определения достаточности технических средств и мер по обнаружению аварийных ситуаций // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 10 (272). С. 65-69.

13. Жданов С. О., Скрипник И. Л. Анализ системной динамики пожарной безопасности нефтехимических предприятий // В сборнике: Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности. Сборник статей по материалам XVII Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. С. 561-563.

14. Ивахнюк С. Г., Петрова Н. В., Плешаков В. В. Пожары и взрывы на объектах нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения России в 2018-2022 гг. // Техносферная безопасность. 2024. № 1 (42). С. 90-102.

15. Илиев А. А. Анализ пожарной опасности строительных материалов при отделочных работах // В сборнике: Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции в 3 частях. Пенза, 2021. С. 173-175.
16. Какуткина Н. А., Коржавин А. А., Рычков А. Д., Сеначин П. К. Особенности прогорания засыпных и канальных огнепреградителей. [Электронный ресурс]: Ползуновский вестник. 2007. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-progoraniya-zasypnyh-i-kanalnyh-ognepregraditeley> (дата обращения: 28.05.2025).
17. Керчелаев З. Э. Применение системы управления чрезвычайными ситуациями в нефтехимической промышленности // В сборнике: Фундаментальные научные исследования. Сборник научных трудов по материалам XLV Международной научно-практической конференции. Анапа, 2022. С. 19-25.
18. Колобова Е. Д. Анализ проблемы тушения нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках // Вестник науки. 2024. Т. 5. № 6 (75). С. 772-778.
19. Королева Л. А., Хайдаров А. Г., Ивахнюк Г. К., Актерский Ю. Е. Применение потенциала горючести и эксергетического показателя для оценки пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30. № 1. С. 16-31.
20. Любимов Е. В., Любимов Я. Е., Любимова И. Е. Химическая опасность при судовых пожарах // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2022. № 4 (4). С. 107-118.
21. Макарова Т. П. Разработка метода контроля параметров горения веществ и материалов в закрытом объеме // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Федеральное государственное

автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». 2024.

22. Мартынова Д. Ю., Хряпинская В. А. Вопросы обеспечения пожарной безопасности усановки стабилизации нефтегазоконденсатной смеси // Заметки ученого. 2022. № 5. С. 219-223.

23. Марухин П. Н., Решетов А. П., Смирнов А. С. Особенности применения сухих огнепреградителей с улучшенными характеристиками теплообмена для обеспечения пожарной безопасности резервуаров // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2016. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-suhih-ognepregraditeley-s-uluchshennymi-harakteristikami-teploobmena-dlya-obespecheniya-pozharnoy> (дата обращения: 28.05.2025).

24. Нгуен Т. Т., Денисов А. Н. Боеготовность специализированных пожарных команд нефтеперерабатывающего и нефтехимического комплекса Вьетнама // В сборнике: Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. Материалы VIII Международной научно-практической конференции, в 2 ч. Москва, 2022. С. 60-62.

25. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 (ред. от 03.02.2025). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_363263/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_363263/) (дата обращения: 28.05.2025).

26. Об утверждении норм пожарной безопасности «Обучение мерам пожарной безопасности работников организаций» [Электронный ресурс]: Приказ МЧС России от 18.11.2021 № 806. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_402938/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402938/) (дата обращения: 28.05.2025).

27. ООО «НЭП» [Электронный ресурс]: <https://companies.rbc.ru/id/1147746918252-ooo-nezavisimoe-ekspertnoe-partnerstvo/> (дата обращения 24.04.2025)

28. ООО «НЭП» [Электронный ресурс]: <https://www.nep.expert/?ysclid=mb7alzknjt462024662> (дата обращения 24.04.2025)

29. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ (ред. от 31.07.2025). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/) (дата обращения: 28.05.2025).

30. Оспанов К. К., Федоров А. В., Ломаев Е. Н., Исмаилов А. К. Управление пожарным риском предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». 2021. № 30. С. 389-392.

31. Пузач С. В., Комаревцев Н. В., Королева Н. В., Меркушкина Т. Г. Новый подход к испытаниям веществ и материалов на токсичность при пожаре // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 2. С. 5-11.

32. Радченко А. А., Гапеев А. А., Гудков М. А. Применение метода термического анализа при изучении пожароопасных свойств полимерных материалов // В сборнике: Экологические проблемы XXI века. Материалы XVI научно-практической конференции слушателей и молодых ученых. Москва, 2024. С. 86-89.

33. Садулаев А. И., Тихонов Э. Е. Анализ отечественных исследований по снижению пожарной опасности полимеров // Научный вестник Государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт». 2022. № 3. С. 21-24.

34. Скрипник И. Л., Жданов С. О. Анализ системной динамики пожарной безопасности нефтехимических предприятий // В сборнике:

Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности. Сборник научных статей по итогам V международной научной конференции. Волгоград, 2021. С. 86-88.

35. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям [Электронный ресурс]: СП 4.13130.2013 (ред. от 27.06.2023). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_148835/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_148835/) (дата обращения: 28.05.2025).

36. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 31.07.2025). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 28.08.2025).

37. Тимошенко А. Л. Водород как альтернативное топливо. Перспективы и проблемы внедрения в топливную промышленность // В сборнике: Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 631-634.

38. Топольский Н. Г., Белозеров В. В., Голубов А. И., Мокшанцев А. В., Кальченко И. Е. Автоматизация испытаний веществ и материалов на пожарную опасность. Москва, 2021.

39. Троценко А. А., Коновалова И. И. Физико-химическое обоснование выбора огнепреградителей. [Электронный ресурс]: МНИЖ. 2017. №4-1 (58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-himicheskoe-obosnovanie-vybora-ognepregraditeley> (дата обращения: 28.05.2025).

40. Фирсов А. Г., Загуменнов А. И. Обеспечение пожарной безопасности объектов химической и нефтехимической промышленности с применением интеллектуальных систем // В сборнике: Kazandigitalweek - 2024. Сборник материалов Международного форума. Казань, 2024. С. 465-470.

41. Johnson M. A., Peterson R. K., & Williams S. J. (2023). Advanced flame arrestor technologies for industrial process equipment: Performance evaluation and safety considerations. *Journal of Industrial Safety Engineering*, 45(3), 234-251. DOI: 10.1016/j.jise.2023.02.014
42. Chen L., Rodriguez C. M., & Thompson D. R. (2022). Integration of modern flame arrestors in petrochemical manufacturing systems: Risk assessment and operational efficiency. *Process Safety and Environmental Protection*, 168, 445-462. DOI: 10.1016/j.psep.2022.10.018
43. Kumar V., Anderson P. L., & Brown K. E. (2024). Computational fluid dynamics modeling of flame arrestor performance in high-temperature industrial applications. *Fire Safety Journal*, 131, 103-118. DOI: 10.1016/j.firesaf.2024.01.007
44. Nakamura T., Smith J. H., & Garcia A. F. (2021). Flame arrestor design optimization for volatile organic compound processing equipment using machine learning approaches. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(42), 15234-15247. DOI: 10.1021/acs.iecr.1c03456
45. O'Connor B. M., Liu X., & Taylor R.S. (2023). Emerging trends in flame arrestor materials and their application in pharmaceutical manufacturing environments. *Chemical Engineering and Processing*, 189, 109-125. DOI: 10.1016/j.cep.2023.05.003

## Приложение А

### Сайты организаций

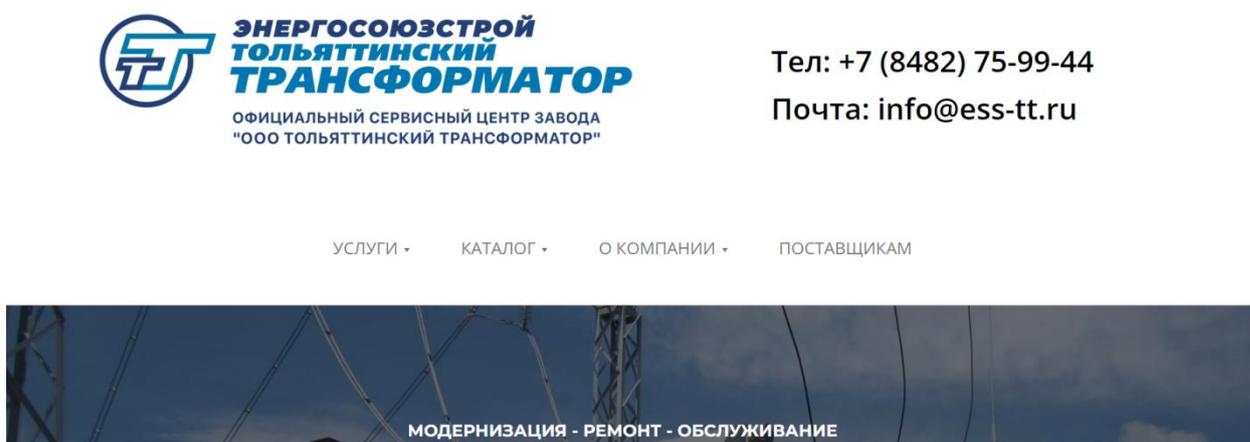


Рисунок А.1 – Сайт организации ООО «ЭСС-ТТ»

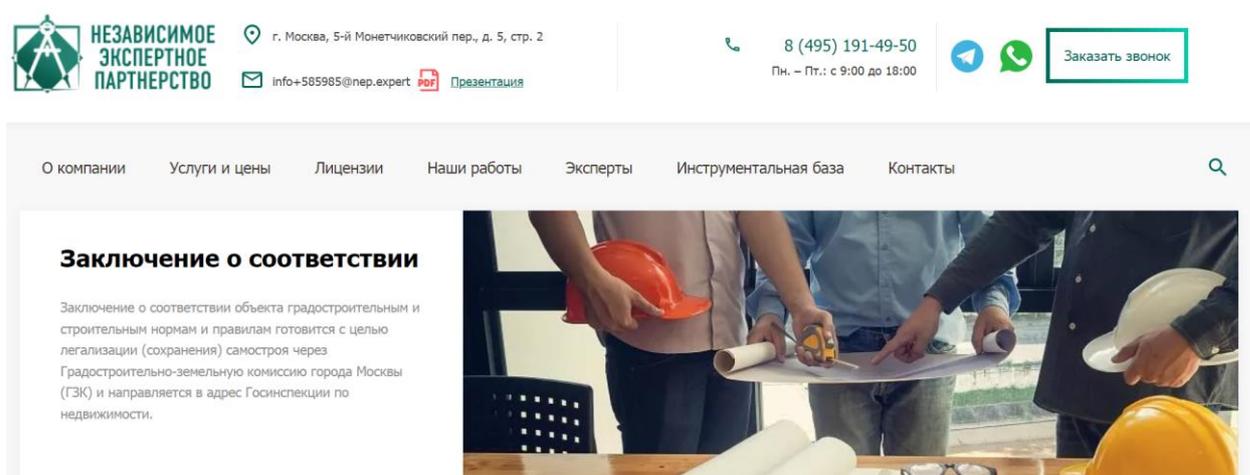


Рисунок А.2 – Сайт организации ООО «НЭП»

## Приложение Б

### Основные финансовые результаты деятельности ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский трансформатор»

Таблица Б.1 – Основные финансовые результаты деятельности ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский трансформатор»

| Показатель   | Значение показателя, тыс. руб. |           |           | Изменение показателя       |                    | Средне-годовая величина, тыс. руб. |
|--|--------------------------------|-----------|-----------|----------------------------|--------------------|------------------------------------|
|  | 2022 г.                        | 2023 г.   | 2024 г.   | тыс. руб.<br>(гр.4 - гр.2) | ± %<br>((4-2) : 2) |                                    |
| 1. Выручка   | 871 304                        | 1 656 946 | 1 526 487 | +655 183                   | +75,2              | 1 351 579                          |
| 2. Расходы по обычным видам деятельности   | 853 578                        | 1 606 453 | 1 480 720 | +627 142                   | +73,5              | 1 313 584                          |
| 3. Прибыль (убыток) от продаж (1-2)  | 17 726                         | 50 493    | 45 767    | +28 041                    | +158,2             | 37 995                             |
| 4. Прочие доходы и расходы, кроме процентов к уплате   | -1 275                         | -45 924   | -16 246   | -14 971                    | ↓                  | -21 148                            |
| 5. ЕБИТ (прибыль до уплаты процентов и налогов) (3+4)  | 16 451                         | 4 569     | 29 521    | +13 070                    | +79,4              | 16 847                             |
| 6. Проценты к уплате   | 14 012                         | 426       | 7 847     | -6 165                     | -44                | 7 428                              |
| 7. Налог на прибыль, изменение налоговых активов и прочее  | -1 115                         | -867      | -7 304    | -6 189                     | ↓                  | -3 095                             |
| 8. Чистая прибыль (убыток) (5-6+7)   | 1 324                          | 3 276     | 14 370    | +13 046                    | +10,9 раза         | 6 323                              |
| Справочно:<br>Совокупный финансовый результат периода  | 1 324                          | 3 276     | 14 370    | +13 046                    | +10,9 раза         | 6 323                              |
| Изменение за период нераспределенной прибыли (непокрытого убытка) по данным бухгалтерского баланса (измен.стр. 1370) | 1 324                          | -6 724    | 9 370     | х                          | х                  | х                                  |

## Приложение В

### Результаты внедрения

# АКТ О ВНЕДРЕНИИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. **Разработчик:** Меликов-Попов Андрей Андреевич.

**Организация, внедряющая разработку:** ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский трансформатор».

2. **Наименование работы:** «Перспективы применения огнепреградителей на производственном оборудовании» **Руководитель:** Дерябин Игорь Викторович.

3. **Место внедрения:** участок сушки и пропитки трансформаторов, цех ремонта электрооборудования.

4. **Предмет внедрения:** методика и алгоритм проектирования инновационной конструкции огнепреградителя гибридного типа в области обеспечения пожарной безопасности производственного оборудования.

5. **Эффективность внедрения:** будет получен экономический и социальный эффект.

6. **Срок внедрения:** 2 квартал 2025 года.

7. **Работники ООО «ЭСС-ТТ», принявшие участие во внедрении результатов в процессе:** главный инженер Петров И.С., начальник участка Козлов В.А., инженер по охране труда Семенова Л.П.

8. **Предложения о дальнейшем использовании результатов:** рекомендуется к использованию при модернизации других участков производства для повышения уровня пожарной безопасности.

**Руководитель организации**  
Высоцкий Ю.А.

«15» марта 2025 года



## **ПРОТОКОЛ О ВКЛЮЧЕНИИ В ПЛАН МЕРОПРИЯТИЙ**

### **Результаты научно-исследовательской работы и использование результатов**

1. Разработчик: Маликов-Попов Андрей Андреевич.

Организация, принявшая разработку для включения в план мероприятий: ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский трансформатор».

2. Наименование работы: «Перспективы применения огнепреградителей на производственном оборудовании». Руководитель: Дерябин Игорь Викторович.

3. Место предполагаемого внедрения: участок сушки и пропитки трансформаторов, цех ремонта электрооборудования.

4. Предмет предполагаемого внедрения: методика и алгоритм проектирования инновационной конструкции огнепреградителя гибридного типа в области обеспечения пожарной безопасности производственного оборудования.

5. Эффективность предполагаемого внедрения: будет получен экономический и социальный эффект.

6. Срок предполагаемого внедрения: 2 квартал 2025 года.

Руководитель организации

Высоцкий Ю.А.

«10» февраля 2025 года



## **ПРОТОКОЛ О НАМЕРЕНИИ ПО ВНЕДРЕНИЮ**

**Результаты научно-исследовательской работы и использование результатов**

1. **Разработчик:** Мельников-Попов Андрей Андреевич.

**Организация, принявшая к рассмотрению разработку:** ООО «Энергосоюзстрой-Тольяттинский трансформатор»

2. **Наименование работы:** «Перспективы применения огнепреградителей на производственном оборудовании». **Руководитель:** Дерябин Игорь Викторович.

3. **Место предполагаемого внедрения:** участок сушки и пропитки трансформаторов, цех ремонта электрооборудования.

4. **Предмет предполагаемого внедрения:** методика и алгоритм проектирования инновационной конструкции огнепреградителя гибридного типа в области обеспечения пожарной безопасности производственного оборудования.

5. **Эффективность предполагаемого внедрения:** будет получен экономический и социальный эффект.

6. **Сроки предполагаемого внедрения:** 2 квартал 2025 года.

**Руководитель** \_\_\_\_\_ **организации**

Высоцкий Ю.А.

«25» января 2025 года



A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, is written over a horizontal line.

## **ПРОТОКОЛ О ПРИНЯТИИ К РАССМОТРЕНИЮ**

**Результаты научно-исследовательской работы и использование результатов**

1. **Разработчик:** Меликов-Попов Андрей Андреевич.  
**Организация, принявшая к рассмотрению разработку:** ООО «Независимое экспертное партнерство».
2. **Наименование работы:** «Перспективы применения огнепреградителей на производственном оборудовании» **Руководитель:** Дерабин Игорь Викторович.
3. **Место предполагаемого внедрения:** участок сушки и пропитки трансформаторов, цех ремонта электрооборудования
4. **Предмет предполагаемого внедрения:** методика и алгоритм проектирования инновационной конструкции огнепреградителя гибридного типа в области обеспечения пожарной безопасности производственного оборудования
5. **Эффективность предполагаемого внедрения:** будет получен экономический и социальный эффект
6. **Сроки предполагаемого внедрения:** 2 квартал 2025 года

**Руководитель**

Высоцкий Ю.А.

«15» января 2025 года



**организации**