

Министерство по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий  
Донецкой Народной Республики

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГОРНОСПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА, ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
И ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ «РЕСПИРАТОР»

*На правах рукописи*



**Коляда Андрей Юрьевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ  
ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ РАСПЫЛЕННОЙ ВОДОЙ**

Специальность 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность»  
(по отраслям) (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк – 2022

Работа выполнена в Государственном научно-исследовательском институте горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики (НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР), г. Донецк.

Научный руководитель: **Агеев Владимир Григорьевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, директор НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР, г. Донецк

Официальные оппоненты: **Палеев Дмитрий Юрьевич**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского отдела ФГКУ «Национальный аэромобильный спасательный учебно - тренировочный центр подготовки горноспасателей и шахтеров «Национальный горноспасательный центр» МЧС России, г. Новокузнецк, Российская Федерация;

**Курбацкий Евгений Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и аэрология», ГОУВПО «ДонНТУ», г. Донецк

Ведущая организация: Государственное учреждение «Институт физики горных процессов», г. Донецк

Защита диссертации состоится 06 октября 2022 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.027.01 при НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, 157, корп.1, каб. 401.

Тел. +38(062)332-78-01, +38(062)332-78-18 факс +38(062)332-78-78,  
E-mail: respirator@mail.dnmchs.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР по адресу: 283048, г. Донецк, ул. Артема, 157, корп. 2, каб. 208; адрес сайта НИИГД «Респиратор» МЧС ДНР: <http://respirator.dnmchs.ru>.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.027.01  
канд. техн. наук



И.Г. Старикова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Подземные пожары относятся к наиболее сложным и опасным видам аварий, которые уничтожают дорогостоящее горно-шахтное оборудование, запасы добываемых полезных ископаемых, и нередко сопровождаются человеческими жертвами.

Характер развития пожара в горной выработке определяется степенью горючести находящихся в месте возникновения пожара материалов, их количеством, скоростью вентиляционного потока.

При увеличении скорости воздушного потока пожар развивается быстрее и интенсивней. Скорость пожара превышает скорость его тушения со стороны свежей струи, и ликвидировать пожар активным способом не представляется возможным. В этом случае для эффективного тушения пожара необходима его локализация со стороны исходящей струи.

В нашем исследовании локализация – это приостановление распространения пожара путем снижения температуры потока пожарных газов, прошедших через завесу, до значения ниже наименьшей температуры воспламенения горючих материалов, находящихся в выработке.

Согласно данным, приведенным в нормативно-технической документации на горючие материалы (Корольченко А.Я. «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средств их тушения»), а также в исследованиях Демидова Г.П. и других ученых, древесина обладает наименьшей температурой воспламенения (255 °С) среди прочих горючих материалов в горной выработке (уголь, конвейерная лента, кабельная продукция и др.).

Таким образом, снижая температуру потока пожарных газов до 250 °С, мы исключаем возможность прогрева и воспламенения горючих материалов, расположенных за завесой.

Поэтому в настоящей диссертационной работе температура пожарных газов 250 °С выбрана в качестве граничной температуры, определяющей эффективность локализации.

Опыт борьбы с подземными пожарами показывает, что завесы применялись фактически на каждом втором пожаре, однако они были неэффективны, что объясняется несовершенством конструкции установок локализации пожара и неточностями методик расчета параметров завесы действующих нормативных документах по пожарной безопасности в угольных шахтах.

Кроме того, существующие в настоящий момент установки для создания завес обеспечивают реализацию своих параметров при давлении в противопожарном трубопроводе не менее 0,6 МПа, которое фактически отсутствует в шахтном противопожарном трубопроводе.

Следовательно, в настоящий момент методики расчета научно-обоснованных параметров эффективной локализации подземных пожаров водяными завесами, а также средства, создающие эти завесы и работающие в

пределах реально существующих параметрах сети противопожарного водоснабжения, отсутствуют.

Таким образом, обоснование параметров эффективной локализации подземных пожаров с помощью водяных завес является актуальной научно-технической задачей, требующей своего решения.

Работа проведена в соответствии с планом Государственного научно-исследовательского института горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» на 2015 – 2020 гг. по работам: 11517003 «Разработать Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности Донецкой Народной Республики»; 11617040 «Разработать Методические указания по разработке проекта противопожарной защиты угольных шахт»; 11617024 «Разработать установку водяного пожаротушения для оперативной локализации подземных пожаров»; 11617045 «Исследовать параметры подземных пожаров и разработать Руководство по определению параметров подземного пожара и выбору эффективных средств его тушения» при непосредственном участии автора как исполнителя или научного руководителя.

**Степень разработанности темы.** Детальное изучение локализации очагов горения различных веществ диспергированной водой представлено в работах Абрамова Ю.А., Цариченко С.Г., Былинкина В.В., Шароварникова А.Ф., Пучкова С.Н., Шарикова А.В., Безродного И.Ф. и др.

В работах Козлюка А.И., Кушнарера А.М., Позднякова К.И., Лапина К.И., Ющенко Ю.Н. и других даны методы расчета нормативных расходов воды, необходимых для локализации подземных пожаров. Однако они не учитывают фактической пожарной нагрузки в горной выработке, конструктивных и гидравлических параметров применяемого пожарного оборудования.

В работах Ющенко Ю.Н. установлена эмпирическая зависимость доли испаряющейся жидкости от дисперсности воды в завесе и температуры газового потока. Это позволило обосновать нормы расхода воды на локализацию подземного пожара.

Однако отсутствуют ответы на вопросы, каким образом подать необходимое количество воды в выработку, чтобы доля испарившейся воды соответствовала нормативному значению; какой должна быть глубина завесы и распределение капель по сечению выработки, чтобы температура газового потока была снижена до безопасной.

Баллистика испаряющихся капель рассматривается в работах Ольшанского В.П., Грицыной И.Н., Стрижака П.А., Волкова Р.С., Виноградова А.Г. Однако предлагаемые в этих работах зависимости не подходят для пространства, ограниченного поверхностью горной выработки.

Вышеизложенное подтвердило необходимость исследования закономерностей теплообменного и гидравлического процессов при локализации пожаров в горных выработках угольных шахт и обоснования

параметров средств локализации с использованием мелкораспыленной воды в целях повышения эффективности борьбы с подземными пожарами.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – обоснование параметров эффективной локализации подземных пожаров завесами с мелкораспыленной водой на базе установленных зависимостей изменения температуры пожарных газов в процессе их взаимодействия с каплями воды при теплообмене.

В основу решения актуальной задачи положена идея совместного механизма теплового охлаждения потока пожарных газов и снижения в результате парообразования концентрации кислорода в этом потоке, что делает невозможным процесс воспламенения и горения горючих материалов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ методов исследования теплообменных процессов при пожарах в горных выработках;
- провести исследования, установить закономерности теплообменного процесса между потоком нагретых пожарных газов и мелкораспыленной водой и определить параметры водяной завесы для снижения температуры газов до безопасной величины;
- провести теоретические и экспериментальные исследования гидравлических процессов движения мелкораспыленной воды в горных выработках и обосновать выбор технического решения для получения требуемой дисперсности воды при нормируемом давлении в противопожарном трубопроводе;
- разработать математическую модель движения воды в распылительном устройстве (далее – распылитель) и обосновать его параметры для достижения требуемых размеров и дисперсности водяной завесы;
- выбрать рациональное размещение распылителей в защищаемой горной выработке и разработать метод расчета локализации пожаров на подземных объектах различного назначения.

**Объект исследований** – процессы теплообмена потока пожарных газов, образующихся при горении горючих материалов, и капель распыленной воды в водяной завесе, локализующих подземный пожар.

**Предмет исследований** – параметры локализации подземного пожара водяными завесами, создаваемые с использованием распылителей воды в сети противопожарного водоснабжения.

**Научная новизна полученных результатов:**

- впервые установлено значение температуры пожарных газов после прохождения водяной завесы в процессе локализации пожара, которое позволило обосновать необходимое количество распыляемой воды, число распылителей, размеры локализующей пожар водяной завесы;
- впервые обоснованы параметры локализации подземного пожара водяными завесами с учетом взаимодействия потока пожарных газов и капель

распыленной воды на участке пожара в зависимости от траектории и скорости полета капель воды и времени их испарения;

- впервые обоснованы параметры распылителей воды для создания водяных завес при пожаре в горной выработке путем оптимизации конструкции центробежно-струйного распылителя и использования скорректированного критериального уравнения Пажи-Галустова, учитывающего скорости центрального и тангенциальных потоков воды в распылителе.

**Теоретическое и практическое значение полученных результатов** заключается в следующем:

- получены теоретические зависимости времени испарения капли и снижения температуры потока пожарных газов при его прохождении через завесу;

- получены зависимости распределения капель воды в горной выработке от их скорости и угла вылета из распылителя;

- рассчитан коэффициент распределения воды в факеле завесы;

- разработана конструкция центробежно-струйного распылителя;

- оптимизировано размещение распылителей по сечению выработки для локализации пожара;

- разработана и внедрена установка локализации пожаров.

Практическое значение полученных результатов заключается в разработке методики расчета параметров локализации пожара, которая вошла в Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности Донецкой Народной Республики, Методических указаний по разработке проекта противопожарной защиты угольных шахт и Руководства по определению параметров подземного пожара и выбору эффективных средств его тушения.

Разработанные методологические основы локализации подземных пожаров и полученные в ходе исследований теоретические и экспериментальные результаты нашли практическое применение при локализации пожаров на ш. им. В.И. Ленина ГП «Артемуголь».

#### **Методология и методы исследования.**

При выполнении диссертационной работы использован комплексный подход, содержащий: анализ и обобщение результатов выполненных ранее исследований других авторов; математическое и физическое моделирование; теоретические методы, основанные на фундаментальных законах тепломассопереноса, механики сплошных сред, механики дисперсных сред при исследовании тепломассообменных процессов при локализации и тушении пожаров, баллистики испаряющихся капель мелкораспыленной воды в вентиляционном потоке горной выработки, движения жидкости в центробежно-струйном распылителе; аппарат теории дифференциальных уравнений и численных методов их решения при реализации математических моделей; методы математической статистики для обработки результатов экспериментальных исследований.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Зависимость температуры потока пожарных газов после прохождения водяной завесы от расхода распыленной воды, времени полного испарения капли и геометрических размеров завесы, что позволяет рассчитать параметры завесы для снижения температуры пожарных газов до безопасной в пожарном отношении величины.

2. Зависимость траектории капель воды в пространстве горной выработки от скорости и направления вылета капли из распылителя, ее времени испарения, температуры и скорости попутного потока пожарных газов, что позволило сформулировать и реализовать математическую модель для определения доли воды, осевшей на поверхности выработки, и доли испарившейся воды при локализации пожара.

3. Зависимость скорости центрального и тангенциальных потоков жидкости в центробежно-струйном распылителе от размеров соответствующих каналов и расхода воды, что позволило получить математическую модель для определения параметров завесы обеспечивающей локализацию пожара.

### **Степень достоверности и апробация результатов диссертации.**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена соответствием полученных зависимостей основным законам о протекании тепломассообменных процессов, о процессах механики сплошных и дисперсных сред; необходимым и достаточным объемом экспериментальных данных; удовлетворительной сходимостью расчетных и экспериментальных данных, а также согласованностью результатов с известными теоретическими и экспериментальными данными других исследователей.

Основные положения диссертации и отдельные ее части докладывались на семинарах и научных советах НИИГД «Респиратор», Международной конференции «Форум горняков» (г. Днепропетровск, Украина, 2009), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Москва, Российская Федерация, 2010), X Международной конференции «Математическое моделирование в образовании, науке и производстве» (г. Тирасполь, 2017 г.), XII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», посвященная Году пожарной охраны (г. Иваново, Российская Федерация, 2017 г.), Первой Республиканской научной конференции, посвященной Дню гражданской обороны в ДНР, 85-летию образования гражданской обороны и образованию Академии гражданской защиты МЧС ДНР (г. Донецк, Донецкая Народная Республика, 2017 г.), Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» в рамках XXX международной специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (г. Новокузнецк, Российская Федерация, 2022 г.).

Результаты работы доложены и обсуждены на заседании Ученого совета НИИГД «Респиратор» (протокол № 2 от 27.05.2021).

**Личный вклад соискателя** состоит в формировании целей и задач исследований, научных положений и выводов; проведении теоретических исследований теплообмена и баллистики капель в потоке пожарных газов; проведении экспериментальных исследований по определению параметров водяной завесы; разработке центробежно-струйного распылителя и установки локализации пожара в горной выработке; обобщении и систематизации результатов; разработке методики локализации подземных пожаров, вошедшей в нормативно-технические документы по пожарной безопасности угольных предприятий Донецкой Народной Республики.

**Публикации.** Основные результаты диссертационных исследований изложены в 18 печатных работах, в том числе: 13 работ опубликованы в рецензируемых изданиях ВАК Минобрнауки ДНР и 5 докладов в материалах международных научных конференциях.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, основной части (из четырех разделов), заключения (с основными выводами), списка литературы из 118 наименований и 1 приложения. Работа изложена на 171 странице машинописного текста, содержит 31 рисунок и 18 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы и ее научная новизна, поставлены цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** приведены результаты анализа существующих средств локализации подземных пожаров мелкораспыленной водой и методов расчета параметров локализации и тушения пожаров.

Анализ научно-технических документов показал, что научно-обоснованные методики расчета параметров водяных завес, образуемых мелкораспыленной водой, до настоящего времени отсутствуют.

Работники горноспасательной службы при ведении аварийно-спасательных работ используют существующую Методику определения водяных завес.

Однако, как показал опыт ведения горноспасательных работ по локализации подземных пожаров, рассчитанные по этой методике завесы, зачастую являются не эффективными.

За последние 11 лет в шахтах Украины и ДНР установки для локализации пожара применялись в 38 случаях из произошедших за этот период 66 пожаров, т.е. фактически на каждом втором пожаре. При этом 65 % установленных завес не сыграли своей роли и были преодолены пожаром.

Проведя анализ локализации подземных пожаров за вышеуказанный период с помощью установок локализации пожара, можно выделить основные причины их неэффективности.

Это отсутствие научного обоснования параметров локализации пожара водяными завесами, несоответствие расхода воды на локализацию существующим нормативным параметрам, образование в существующих установках локализации пожара капель воды больших размеров, что приводит к интенсивному осаждению, несовершенства образуемых установками факелов распыленной воды, что дает возможность обхода завесы открытым пламенем по куполам и неплотностям между боковыми стенками выработки и крепью, несоответствие давления воды в противопожарном трубопроводе требуемым нормативным значениям, отсутствие тактико-технических требований к размещению установок локализации на различных подземных объектах.

Исследованиями параметров завес для локализации подземных пожаров занимались такие ученые как Козлюк А.И., Кушнарев А.Н., Маркович Ю.М., Гринь Г.В., Ющенко Ю.Н., Лапин К.И. и др.

По результатам их исследований в Правилах безопасности в угольных шахтах были введены нормативные требования расхода воды на локализацию подземного пожара.

Расход воды на локализацию пожара  $Q_3$ , м<sup>3</sup>/с, определяется по эмпирической формуле

$$Q_3 = kSW^{1,3}, \quad (1)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент;  $S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;  $W$  – скорость вентиляционной струи, м/с.

Недостатком этой зависимости является то, что она получена лишь для двух фиксированных значений температуры газового потока (1200 °С и 600 °С).

В результате нормативный расход воды на локализацию пожара получался зависимым только от скорости вентиляционной струи и площади поперечного сечения выработки и независимым от других параметров пожара.

Такое положение приводит иногда к повышенному расходу воды, в то время как в противопожарном трубопроводе не всегда есть вода в требуемом по нормам количестве.

Следовательно, при расчете параметров завес не учитывались изменяющийся в ходе испарения размер капель воды, фактическая пожарная нагрузка и температура пожарных газов на входе в завесу.

Для оценки дальности полета капель воды заданного диаметра в спутном потоке воздуха Марковичем Ю.М. и Гринем Г.В. были сделаны некоторые допущения, которые упрощали задачу баллистики капель.

Согласно их исследованиям, на каплю действует сила тяготения и сила гидравлического сопротивления, описываемая законом Стокса. Капли воды выходят из распылителя горизонтально. Не учитывался также изменяющийся размер капли воды в ходе испарения.

Между тем, фактически, движение капли воды происходит в начале по квадратичному закону сопротивления, затем по переходному закону сопротивления и только в конце полета по закону Стокса.

Кроме того, капли воды вылетают из распылителя под разными углами.

Таким образом, исследование процесса полета капли определением гидравлического сопротивления только по закону Стокса в данном случае неприменимо.

Исследованиями баллистики капель распыленной воды занимались такие авторы, как Ольшанский В.П. и Севриков В.В.

Однако они рассматривали баллистику капель в неограниченном пространстве и таким образом не учитывали влияние поверхности выработки на траекторию полета капель воды.

В работах Ющенко Ю.Н. установлена эмпирическая зависимость доли испаряющейся воды в зависимости от ее дисперсности в завесе и температуры газового потока. Это позволило обосновать нормы расхода воды на локализацию подземного пожара в зависимости от температуры газового потока на входе в завесу и дисперсности воды.

Однако отсутствуют ответы на вопросы, каким образом подать необходимое количество воды в выработку, чтобы доля испарившейся воды соответствовала нормативному значению, какой должна быть глубина завесы и распределение капель по сечению выработки, чтобы температура газового потока была снижена до безопасной температуры.

Разработкой распылителя для распыливания жидкости занимались Пажи Д.Г., Галустов В.С., Равиков Б.Б., Гродель Г.С., Коренев А.П., Мышевский А.С., Грин Х., Лейн В., Карпенчук И.В., Петуховский С.Г., Суворова И.Г. и другие авторы. Предлагаемые в этих работах конструкции распылителей и их параметры не отвечают условиям горных выработок.

Например, центробежные распылители имеют большой угол раскрытия факела, но при этом наличие воздушного вихря обуславливает присутствие внутри факела некоторого объема, не занятого каплями. В струйных распылителях капли жидкости в факеле равномерно распределены по всему его объему, однако угол раскрытия относительно мал, что не позволяет перекрывать все сечение аварийной выработки.

С учетом вышеизложенного определена целесообразность исследования закономерностей теплообменного и гидравлического процессов при локализации пожаров в горных выработках угольных шахт и обоснования параметров средств локализации с использованием мелкораспыленной воды в целях повышения эффективности локализации подземных пожаров.

**Во втором разделе** представлены результаты теоретических исследований процессов теплообмена капель распыленной жидкости с нагретыми пожарными газами, движения испаряющихся капель в ограниченном пространстве горной выработки, процесса диспергирования жидкости в центробежно-струйных распылителях.

Водяная завеса должна обеспечить снижение температуры пожарных газов  $T_{ГК}$  до значения  $T_{Г}$ , при котором исключается воспламенение горючих материалов в выработке.

На основании исследования механизма теплообмена каплей мелкораспыленной воды с пожарными газами установлены следующие зависимости.

Удельный объемный расход воды  $M_{\text{вуо}}$ , м<sup>3</sup>/ч, на охлаждение 1 м<sup>3</sup>/с газового потока

$$M_{\text{вуо}} = \frac{3600c_{\text{ргп}}(T_{\text{ГК}} - T_{\text{восп}})}{\rho_{\text{ж}}\chi(r + c_{\text{рпв}}T_{\text{восп}})}, \quad (2)$$

где  $c_{\text{ргп}}$  – удельная теплоемкость газового потока, Дж/(кг·К);  $T_{\text{восп}}$  – температура воспламенения горючих материалов, К;  $\rho_{\text{ж}}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\chi$  – доля испарившейся воды в завесе,  $\chi < 1$ ;  $c_{\text{рпв}}$  – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К);  $r$  – удельная теплота парообразования воды,  $r = 2502,7$  кДж/кг.

Время испарения каплей распыленной жидкости  $\tau_{\text{исп}}$ , с, определяется соотношением

$$\tau_{\text{исп}} = \frac{5,89 \cdot 10^6 d_0^2}{\ln(1 + 0,37 \cdot 10^{-3} T_{\text{ГК}})}, \quad (3)$$

где 5,89 – числовой коэффициент, определяющий влияние удельной теплоемкости водяного пара, комплексного коэффициента теплопроводности среды, окружающей каплю, плотности воды и режима обтекания капли воды пожарными газами, с/м<sup>2</sup>;  $d_0$  – средний начальный диаметр каплей, м.

Температура газового потока  $T_{Г}$ , К, при выходе его из зоны орошения

$$T_{Г} = T_{\text{ГК}} - \frac{3q_{\text{р}}n_{\text{р}}\tau_{\text{исп}}\chi\rho_{\text{в}}r}{SL_3\rho_{\text{гп}}c_{\text{ргп}}}, \quad (4)$$

где  $q_{\text{р}}$  – расход воды через один распылитель, м<sup>3</sup>/с;  $n_{\text{р}}$  – число распылителей, шт.;  $\rho_{\text{гп}}$  – плотность пожарных газов, кг/м<sup>3</sup>;  $L_3$  – длина водяной завесы, м.

Для рациональной компоновки распылителей, обеспечивающих наиболее эффективное использование распыливаемой жидкости для охлаждения потока пожарных газов, разработана математическая модель движения испаряющейся капли в трехмерном пространстве, ограниченном поверхностью горной выработки.

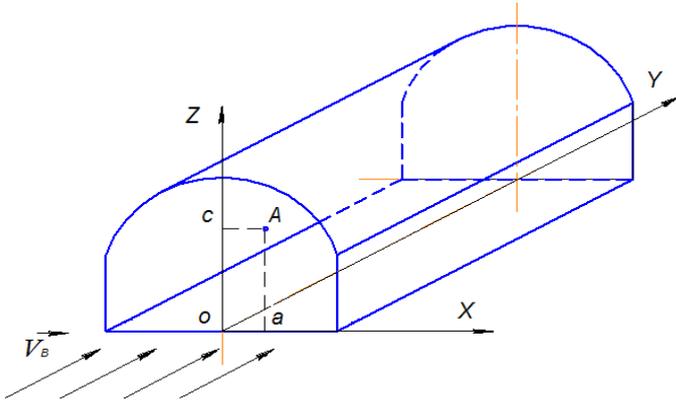


Рисунок 1 – Условная схема расположения распылителя в поперечном сечении горной выработки

Задача решалась методом математического моделирования. Система дифференциальных уравнений, описывающих движение капли, имеет вид

$$\begin{cases} m\ddot{x}(t) + \frac{dm}{dt}\dot{x}(t) = -c_\omega S_K \dot{x}(t) [\dot{x}^2(t) + (\dot{y}(t) - V_1)^2 + \dot{z}^2(t)]^\omega, \\ m\ddot{y}(t) + \frac{dm}{dt}(\dot{y}(t) + V_1) = -c_\omega S_K (\dot{y}(t) - V_1) [\dot{x}^2(t) + (\dot{y} - V_1)^2 + \dot{z}^2(t)]^\omega, \\ m\ddot{z}(t) + \frac{dm}{dt}\dot{z}(t) = -c_\omega S_K \dot{z}(t) [\dot{x}^2(t) + (\dot{y} - V_1)^2 + \dot{z}^2(t)]^\omega - mg, \end{cases} \quad (5)$$

где  $m$  – масса испаряющейся капли, кг;  $c_\omega$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;  $\omega$  – показатель степени;  $S_K$  – площадь поперечного сечения шара (капли),  $m^2$ ;  $V_1$  – скорость вентиляционного потока в выработке, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ .

Изменение массы испаряющейся капли в соответствии с законом Срезневского

$$m(t) = \frac{4}{3} \pi \rho_B r_0^3 (1 - \gamma t)^{3/2}, \quad (6)$$

где  $\rho_B$  – удельная плотность воды,  $кг/м^3$ ;  $r_0$  – начальный радиус капли в момент ее вылета, т.е. при  $t=0$ , м;  $\gamma$  – коэффициент, характеризующий скорость испарения капли,  $c^{-1}$ .

Система уравнений (5) примет вид

$$\begin{cases} \ddot{x}(t) - \frac{3\gamma}{2} \frac{1}{(1-\gamma t)} \dot{x}(t) = 0, \\ \ddot{y}(t) - \frac{3\gamma}{2} \frac{1}{(1-\gamma t)} (\dot{y}(t) + V_1) = -\frac{3c_\omega}{4r_0\rho_B} \frac{1}{\sqrt{1-\gamma t}} (\dot{y}(t) - V_1)^2, \\ \ddot{z}(t) - \frac{3\gamma}{2} \frac{1}{(1-\gamma t)} \dot{z}(t) = -g, \end{cases} \quad (7)$$

и с учетом начальных условий решается как задача Коши

$$\begin{cases} x(t) = \frac{2|\vec{V}_0| \cos(n,x)}{\gamma} \left( \frac{1-\sqrt{1-\gamma t}}{\sqrt{1-\gamma t}} \right) + a, \\ y(t) = \frac{2|\vec{V}_0| \cos(n,y)}{\gamma} \left( \frac{1-\sqrt{1-\gamma t}}{\sqrt{1-\gamma t}} \right) - V_1 t + b, \\ z(t) = -\frac{g}{5\gamma^2} (1-\gamma t)^2 + \frac{2}{\gamma} (|\vec{V}_0| \cos(n,z) - \frac{2g}{5\gamma}) (1-\gamma t)^{-1/2} + \frac{1}{\gamma} \left( \frac{g}{\gamma} - 2|\vec{V}_0| \cos(n,z) \right) + c, \end{cases} \quad (8)$$

где  $\cos(n,x)$ ,  $\cos(n,y)$ ,  $\cos(n,z)$  – направляющие косинусы единичного вектора, совпадающего по направлению с вектором скорости капли в начальный момент времени  $\vec{V}_0$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – координаты расположения распылителя в неподвижной системе координат  $OXYZ$  в горной выработке.

Траектории полета капель воды в зависимости от угла вылета и расположения распылителя в горной выработке представлены на рисунках 2 и 3.

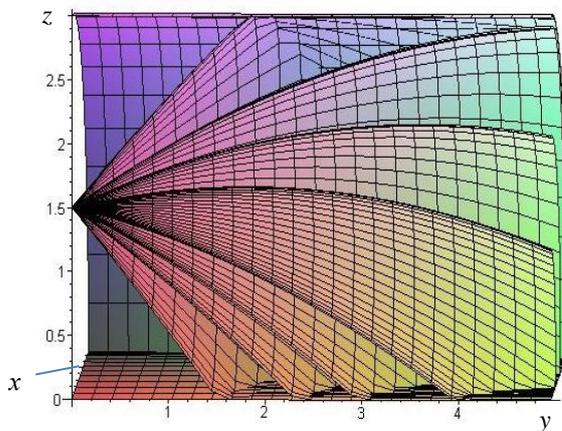


Рисунок 2 – Траектории полета капель в горной выработке – распылитель находится в центре выработки:  $x=0$ ,  $y=0$ ,  $z=1,5$

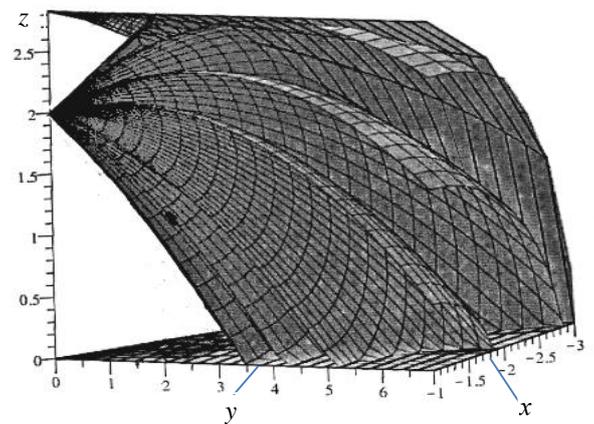


Рисунок 3 – Траектории полета капель в горной выработке – распылитель смещен относительно центра:  $x=1$ ,  $y=0$ ,  $z=2$

Важным параметром, характеризующим эффективность водяной завесы, является коэффициент распределения воды  $k_p$ , представляющий собой отношение объема полностью испарившейся жидкости ко всему объему, вылетающему из сопла распылителя в единицу времени.

Коэффициент  $k_p$  существенным образом зависит от расположения распылителя в горной выработке, скорости вылета капель из сопла и угла раскрытия факела распыленной воды.

Зависимость коэффициента  $k_p$  в горной выработке от угла раскрытия факела распылителя и его месторасположения представлена на рисунке 4.

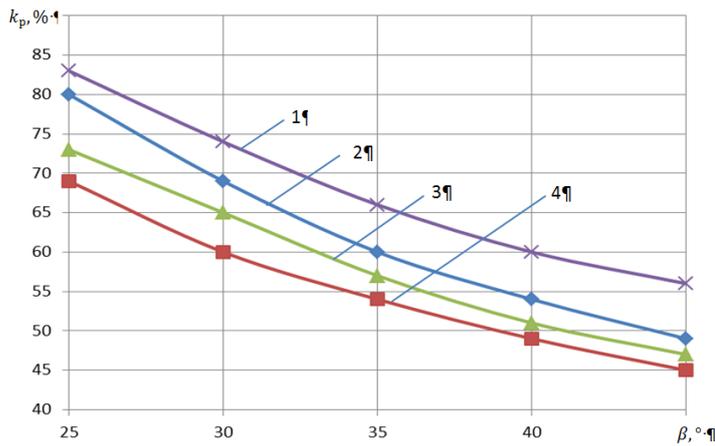


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента распределения воды,  $k_p$ , от угла раскрытия факела,  $\beta$ , распылителя и его месторасположения:  
 1 – точка  $a=0$ ,  $c=1,5$  м;  
 2 – точка  $a=0$ ,  $c=2$  м;  
 3 – точка  $a=1$  м,  $c=1,5$  м;  
 4 – точка  $a=1$  м,  $c=2$  м

Зависимость удельных количеств воды, распределяющихся по сечению выработки, от угла раскрытия факела распылителя и его месторасположения представлена на рисунке 5.

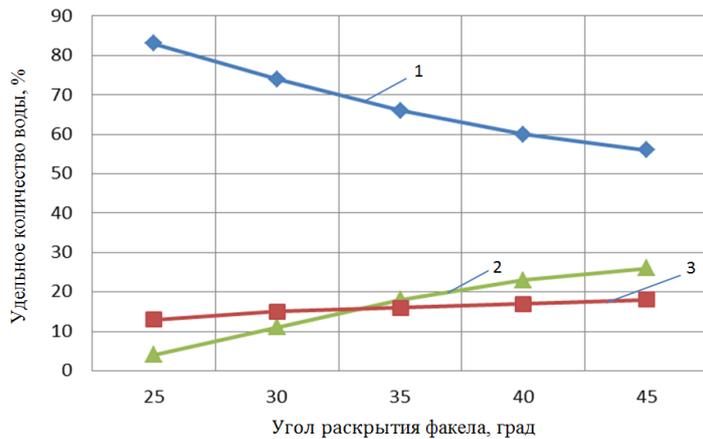


Рисунок 5 – Зависимость удельного количества воды от угла раскрытия факела, при  $a=0$ ,  $b=0$ ,  $c=2$  м:  
 1 – часть воды, участвующая в локализации; 2 – часть воды, оседающая на стенки и кровлю выработки; 3 – часть воды, оседающая на почву выработки

Из условия  $k_p \rightarrow \max$  при одинаковых значениях угла раскрытия факела  $\beta$ , и начальной скорости  $V_0$ , выбиралось оптимальное расположение распылителей в сечении горной выработки, обеспечивающее максимальный отбор тепла от проходящего сквозь водяную завесу нагретого газового потока.

Для эффективного диспергирования воды был разработан центробежно-струйный распылитель РВ-10 (рисунок 6), обеспечивающий как большой угол раскрытия факела, так и равномерное распределение капель в факеле.

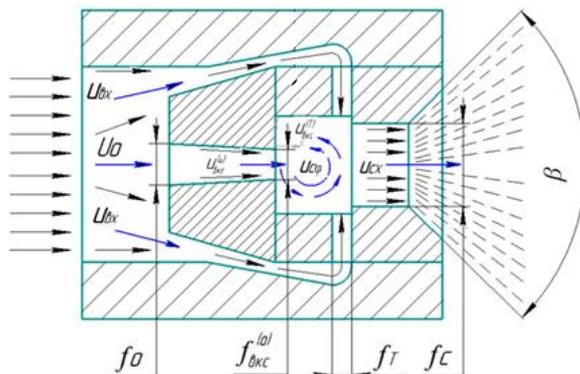


Рисунок 6 – Схема центробежно-струйного распылителя РВ-10

Процесс распыления воды в распылителе характеризуется геометрическим комплексом  $\theta_\Gamma$ , определяющим соотношение тангенциальной и аксиальной скорости водяного потока

$$\frac{U_{c\phi}}{U_{cx}} = \theta_\Gamma, \quad (9)$$

где  $U_{cx}$  – поступательная составляющая скорости выхода жидкости из камеры смешения, м/с;  $U_{c\phi}$  – тангенциальная составляющая скорости жидкости в камере смешивания, м/с.

На основании равенства кинетической энергии, которой обладают потоки в момент попадания в камеру смешивания, с кинетической энергией общего потока жидкости с учетом потерь энергии на раскручивание центрального потока и испытываемый им гидравлический удар при вхождении в камеру смешивания, получено соотношение

$$\theta_\Gamma = \left( \frac{(\alpha_*^{(1)} \alpha_*)^3 f_{\text{ВКС}}^{(o)} + \Sigma f_T}{2\alpha_*^{(1)} \alpha_* f_{\text{ВКС}}^{(o)} + \Sigma f_T} - \left( \alpha_*^{(1)} \alpha_* \left( 1 - \frac{f_{\text{ВКС}}^{(o)}}{f_c} \right) - \frac{\Sigma f_T}{f_c} \right) \alpha_*^{(1)} * \alpha_* \frac{f_{\text{ВКС}}^{(o)}}{2\alpha_*^{(1)} \alpha_* f_{\text{ВКС}}^{(o)} + \Sigma f_T} \right) \left( \frac{\mu f_c}{\alpha_*^{(1)} \alpha_* f_{\text{ВКС}}^{(o)} + \Sigma f_T} \right)^2, \quad (10)$$

где  $f_{\text{ВКС}}^{(o)}$  – площадь поперечного сечения центрального канала при входе в камеру смешивания, м<sup>2</sup>;  $f_T$  – площадь поперечного сечения тангенциального канала, м<sup>2</sup>;  $f_c$  – площадь поперечного сечения сопла, м<sup>2</sup>;  $\alpha_*^{(1)}$  – скоростной коэффициент,  $\alpha_*^{(1)} = \frac{f_o}{f_{\text{ВКС}}^{(o)}}$ ;  $f_o$  – площадь поперечного сечения центрального канала, м<sup>2</sup>;  $\alpha_*$  – скоростной коэффициент,  $\alpha_* = \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВКС}}^{(\Gamma)}}$ ;  $U_{\text{ВХ}}$  – скорость потока воды в распылителе до входа в тангенциальные каналы, м/с;  $U_{\text{ВКС}}^{(\Gamma)}$  – скорость входа потока воды в камеру смешивания через тангенциальные каналы, м/с;  $\mu$  – коэффициент расхода сопла распылителя.

Так как для всех конструкций центробежно-струйных распылителей существуют единые закономерности дробления жидкости, то в качестве расчетного уравнения для определения диаметра капель воды после ее выхода из сопла воспользуемся критериальным уравнением Пажи-Галустова

$$\frac{d_{\text{ср}}}{d_c} = 0,041 We^{-0.27} Lp^{0.15} N^{0.34} \theta_{\Gamma 1}^{-0.63}, \quad (11)$$

где  $N = \frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_\Gamma}$  – отношение вязкости жидкости и газов;  $We$  – критерий Вебера,  $We = \frac{U_{\text{сх}}^2 \rho_{\text{ж}} d_c}{\sigma}$ ;  $d_{\text{ср}}$  – средний диаметр капли, мм;  $d_c$  – диаметр сопла, мм;  $Lp$  – критерий Лапласа,  $Lp = \frac{\rho_{\text{ж}} \sigma d_c}{\mu_{\text{ж}}^2}$ ;  $\theta_{\Gamma 1} = \theta_\Gamma^{0,5}$  – геометрический комплекс, полученный в данной работе;  $\mu_{\text{ж}}$ ,  $\mu_\Gamma$  – вязкость жидкости и газа, соответственно;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

На рисунке 7 и 8 представлены результаты численного анализа зависимостей параметров, характеризующих функционирование центробежно-струйного распылителя, от его геометрических размеров и гидравлических параметров противопожарного трубопровода.

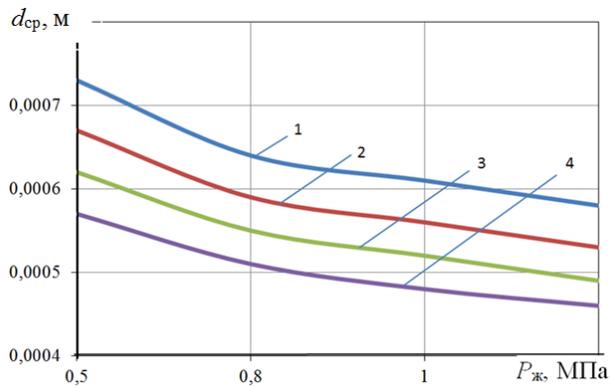


Рисунок 7 – Средний диаметр  $d_{ср}$ , капль мелкораспыленной воды в зависимости от давления в противопожарном трубопроводе,  $P_{ж}$ , и скоростного коэффициента  $\alpha^*$ :

- 1 – скоростной коэффициент  $\alpha^* = 0,2$ ;
- 2 – скоростной коэффициент  $\alpha^* = 0,4$ ;
- 3 – скоростной коэффициент  $\alpha^* = 0,6$ ;
- 4 – скоростной коэффициент  $\alpha^* = 0,8$

Анализ результатов, приведенных на рисунке 7, показывает, что, меняя размеры тангенциальных каналов, то есть соотношение скоростей потоков воды в распылителе, и изменяя давление в противопожарном трубопроводе можно получить необходимый диаметр капли.

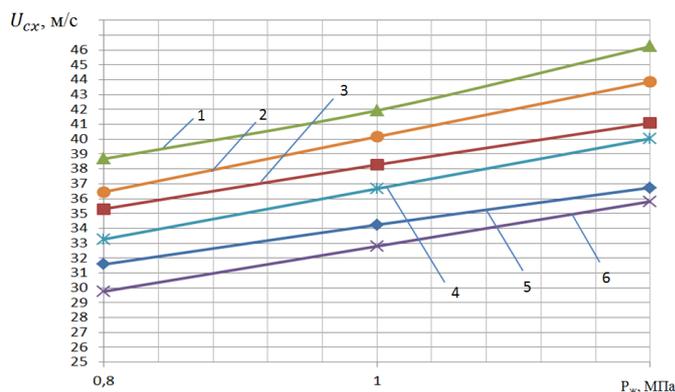


Рисунок 8 – Скорость вылета распыленной воды из сопла распылителя в зависимости от давления в противопожарном трубопроводе, при различных значениях геометрического комплекса  $\theta_r$ :

- 1 –  $\theta_r=0,5$ ; 3 –  $\theta_r=0,7$ ; 5 –  $\theta_r=0,9$  (для конструкции, разработанного нами распылителя)
- 2, 4, 6 –  $\theta_r=0,5$  (2),  $\theta_r=0,7$  (4),  $\theta_r=0,9$  (6) (для конструкции распылителя Пажи-Галустова)

На рисунке 8 представлены графики, описывающие зависимость величины поступательной скорости вылета воды из сопла распылителя от давления в противопожарном трубопроводе и геометрического параметра  $\theta_r$ , полученного в данной работе, и по уравнению Пажи-Галустова.

Таким образом, меняя угол конусности тангенциального вкладыша, то есть соотношение скоростей потоков жидкости в распылителе, и давление в противопожарном трубопроводе, можно получить необходимый диаметр капли, то есть добиться нужной дисперсности.

**В третьем разделе** изложены результаты экспериментальных исследований процессов локализации пожара мелкораспыленной водой. Исследования проводили в условиях пожарной штольни НИИГД «Респиратор», представляющей собой горизонтальную проветриваемую выработку с площадью поперечного сечения  $4,0 \text{ м}^2$ . Скорость вентиляционного потока  $V_1=(1\div 2) \text{ м/с}$ . В качестве пожарной нагрузки использовали деревянную затяжку, электрический кабель, конвейерную ленту, уголь, деревянные трапы.

На первом этапе проводилась проверка соответствия результатов аналитических исследований процессов движения и распределения капель мелкораспыленной воды параметрам реальных процессов распределения воды в горной выработке. В ходе экспериментов с помощью системы специальных ловушек определяли:

- количество жидкости, транспортируемое вентиляционным потоком на различные расстояния от распылителей;
- количество жидкости, оседающей на поверхности выработки;
- коэффициент распределения воды.

В экспериментах использовали от 1 до 5 разработанных центробежно-струйных распылителей РВ-10.

Адекватность результатов модели процесса движения мелкораспыленной воды в горной выработке подтверждается достаточно близкой сходимостью значений  $k_p$ , полученных в ходе экспериментов и рассчитанных по модели. Относительная погрешность не превышает 13,4 %.

С увеличением давления воды на входе в распылитель и с ростом скорости вентиляционного потока  $k_p$  увеличивается, то есть капли дольше остаются в потоке, не осаждаясь на поверхность выработки и снижая температуру пожарных газов (рисунок 9).

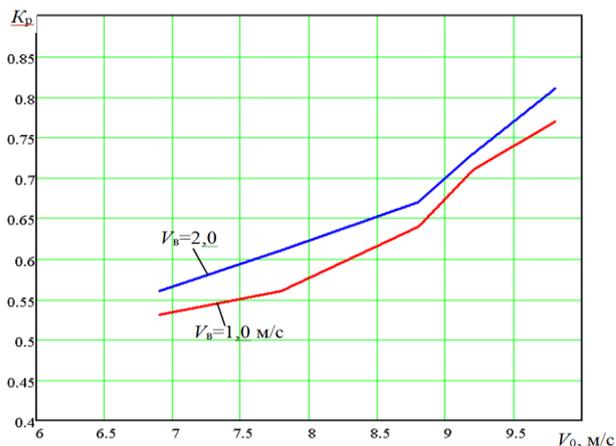


Рисунок 9 – Зависимость коэффициента распределения воды от начальной скорости капель и скорости вентиляционного потока при одновременной работе 5 распылителей

На втором этапе проводилась проверка соответствия результатов теоретических исследований параметрам реального пожара и процесса его локализации в горной выработке.

Водяную завесу создавали с помощью конструкции, имитирующей установку локализации пожаров, с использованием центробежно-струйных распылителей РВ-10, размещенных в соответствии с результатами испытаний первого этапа.

Воду распыляли по направлению потока пожарных газов. Участок деревянной затяжки, расположенный за завесой и не орошаемый водой, являлся контрольным. Были проведены испытания для 2 видов пожарной нагрузки.

При максимальной нагрузке (деревянная крепь и затяжки, конвейерная лента, уголь на конвейерной ленте, деревянные трапы, кабели)

(эксперимент I) пожар локализовали с использованием трёх (при  $V_1=1,0$  м/с), четырёх (при  $V_1=2$  м/с) распылителей.

При минимальной пожарной нагрузке (деревянная крепь и затяжки) (эксперимент II) пожар был локализован при всех режимах проветривания с использованием трех распылителей ( $V_1=1,0$  м/с и  $V_1=2$  м/с).

Расхождения между теоретическими расчетами температуры охлаждения и экспериментальными данными, при скорости потока пожарных газов 1 м/с, составили: для экспериментов с максимальной нагрузкой (эксперимент I) – 7,15 %, а для экспериментов с минимальной нагрузкой (эксперимент II) – 14,6 %.

При скорости 2 м/с расхождения составили: для экспериментов с максимальной нагрузкой (эксперимент I) – 12,39 %, а для экспериментов с минимальной нагрузкой (эксперимент II) – 14,16 %.

Таким образом, данные огневых испытаний подтверждают результаты теоретических исследований по локализации подземных пожаров мелкораспыленной водой.

Очевидно, что увеличение скорости потока пожарных газов при прочих равных условиях приводит к увеличению требуемого для охлаждения пожарных газов до безопасной температуры количества распыленной воды.

**В четвертом разделе** приведена Методика, алгоритм расчета параметров локализации подземных пожаров и тактико-технологические приемы локализации на подземных объектах шахт. Рассматривается техническое решение по локализации подземных пожаров – установка для локализации подземных пожаров с центробежно-струйными распылителями.

Блок-схема алгоритма расчета водяной завесы предусматривает определение пожароопасности горной выработки, необходимого для локализации пожара расхода воды определенной дисперсности, выбор установки и её параметров, определение параметров водяной завесы, расчет температуры пожарных газов за завесой и сравнение с температурой воспламенения горючих материалов, расчет расстояния между локализуемыми установками.

Методика вошла в качестве приложения в «Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности Донецкой Народной Республики».

Проведенные по данной Методике расчеты позволили разработать и создать установку для локализации подземных пожаров, в которой используются центробежно-струйные распылители РВ-10.

Установка может быть использована для оперативной локализации подземного пожара (в выработках с исходящей струей воздуха, закрепленной деревянной или комбинированной крепью, на сопряжениях лав со штреками и др.)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, являющейся законченной научно-квалификационной работой, дано решение актуальной научно-технической задачи по разработке эффективного метода локализации подземных пожаров мелкораспыленной водой, обоснования параметров и разработки средств локализации пожаров в горных выработках угольных шахт.

Основные научные и практические результаты выполненной работы заключаются в следующем.

1. Существующие математические модели теплообмена капель мелкораспыленной воды с пожарными газами не учитывают изменение размера капель и коэффициента теплопроводности окружающей каплю газовой среды.

2. Разработана математическая модель процесса испарения капли в потоке пожарных газов, движущихся по горной выработке, учитывающая изменение размера капли и коэффициента теплопроводности парогазовой смеси, окружающей каплю.

Впервые установлено время полного испарения капель воды и снижение температуры газового потока, проходящего через завесу.

3. На основании теории баллистики испаряющихся капель разработана математическая модель движения капель в потоке нагретых пожарных газов в ограниченном поверхностью горной выработки пространстве, с учетом испарения капли, изменения ее размеров и силы аэродинамического сопротивления. Установлен новый показатель – коэффициент распределения воды  $K_p$ , как отношение количества испарившихся капель к количеству осевших на поверхность выработки.

4. Разработан центробежно-струйный распылитель, в конструкцию которого входит усеченный конусоидальный вкладыш, разделяющий водный поток на центральный и тангенциальные потоки. На основании изучения динамики водных потоков в каналах распылителя и перераспределения кинетической энергии осевого и тангенциального потоков, энергии, затраченной на гидроудар и на раскручивание потоков при их смешивании, уточнен геометрический комплекс, учитывающий конструкцию и размеры распылителя, что позволило использовать для расчета диаметра образующихся капель скорректированное критериальное уравнение Пажи-Галустова.

5. Разработана и включена в «Правила пожарной безопасности для предприятий угольной промышленности Донецкой Народной Республики» методика расчета параметров локализации подземных пожаров мелкораспыленной водой.

6. Оценен годовой экономический эффект от внедрения разработанной методики расчета, составляющий более 11 млн. рос. руб.

**СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРАТЦИИ**Публикации в рецензируемых изданиях ВАК Минобрнауки ДНР:

1. Лапин, К.И. Исследование процессов развития подземных пожаров и технические требования к средствам его тушения / К.И. Лапин, **А.Ю. Коляда** // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2007. – Вып. 44. – С. 46 – 53.
2. Ющенко, Ю.Н. Параметры локализации подземных пожаров / Ю.Н. Ющенко, **А.Ю. Коляда** // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2010. – Вып. 47. – С. 89 – 94.
3. Ющенко, Ю.Н. Размещение пожаротушающих установок вдоль ленточного конвейера / Ю.Н. Ющенко, К.И. Лапин, **А.Ю. Коляда** // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2012. – Вып. 49. – С. 99 – 104.
4. Лапин, К.И. Параметры противопожарных разрывов в горных выработках / К.И. Лапин, **А.Ю. Коляда** // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2012. – Вып. 49. – С. 111 – 108.
5. Ющенко, Ю.Н. Рациональное расположение распыливающих устройств при локализации пожара в горной выработке / Ю.Н. Ющенко, **А.Ю. Коляда**, Н.В. Бондаренко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2013. – Вып. 50. – С. 115 – 121.
6. **Коляда, А.Ю.** Процесс распыления жидкости центробежно-струйной форсункой с усеченным конусоидным вкладышем / **А.Ю. Коляда** // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. / НИИГД «Респиратор». – Донецк, 2013. – Вып. 50. – С. 145 – 152.
7. **Коляда, А.Ю.** Методика расчета параметров локализации пожара в горных выработках / **А.Ю. Коляда**, Ю.Н. Ющенко, И.Ф. Дикенштейн // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2015. – Вып. 52. – С. 99 – 111.
8. **Коляда, А.Ю.** Экспериментальное определение параметров локализации подземных пожаров водяными завесами / **А.Ю. Коляда** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2016. – Вып. №2 (53). – С. 33 – 43.
9. **Коляда, А.Ю.** Локализация подземных пожаров в лавах / **А.Ю. Коляда** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2018. – Вып. №2 (55). – С. 18 – 26.
10. **Коляда, А.Ю.** Применение водяных завес для противопожарной защиты подземных складов взрывчатых материалов / **А.Ю. Коляда** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2019. – Вып. №1 (56). – С. 77 – 85.
11. Долженков, А.Ф. Нормативно-правовое обеспечение пожарной безопасности на угольных предприятиях / А.Ф. Долженков, **А.Ю. Коляда**, А.В. Осадчий, Е.Н. Розанова / «Вестник Академии гражданской защиты»: научный журнал. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – Вып. 1 (17). – С. 110 – 116.

12. Агеев, В.Г. Параметры локализации подземных пожаров распыленной водой / В.Г. Агеев, **А.Ю. Коляда** // Научный вестник НИИГД «Респиратор»: сб. науч. тр. – Донецк, 2021. – Вып. №3 (58). – С. 50 – 59.

13. **Коляда, А.Ю.** Развитие подземных пожаров и требования к активным средствам их тушения / **А.Ю. Коляда** // «Вестник Академии гражданской защиты»: научный журнал. – Донецк: ГОУВПО «Академия гражданской защиты» МЧС ДНР, 2021. – Вып. 3(27). – С. 11 – 15.

Публикации в сборниках материалов международных научно-практических конференций:

14. **Коляда, А.Ю.** Тушение и локализация пожаров в горных выработках распыленной водой / **А.Ю. Коляда** // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2009». – Донецьк: Національний гірничий університет, 2009. – С.81 – 85.

15. **Коляда, А.Ю.** Процесс распыления жидкости центробежно-струйной форсункой с усеченным конусовидным вкладышем / А.Ю. Коляда // Математическое моделирование в образовании, науке и производстве: мат. X Междунар. конф. – Тирасполь, 2017. – С. 135 – 139.

16. **Коляда, А.Ю.** Исследование процессов развития подземных пожаров и технические требования к средствам их тушения / **А.Ю. Коляда** // XII Международная научно-практическая конференция «Пожарная и аварийная безопасность» Сб. матер. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 313 – 316.

17. **Коляда, А.Ю.** Установка для оперативной локализации подземного пожара [Текст] / **А.Ю. Коляда** // Первая Республиканская научная конференция «Современное состояние и перспективы дальнейшего развития системы гражданской обороны Донецкой Народной Республики»: сб. матер. – Донецк: АГЗ, 2017. – С. 232 – 240.

18. **Агеев, В.Г.** Баллистика капель мелкораспыленной воды в вентиляционном потоке горной выработки / В.Г. Агеев, **А.Ю. Коляда** // Международная научно-практическая конференция «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» в рамках XXX международной специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг», г. Новокузнецк, 2022. – С. 117 – 123.

## АННОТАЦИЯ

Коляда Андрей Юрьевич. **Обоснование параметров эффективной локализации подземных пожаров распыленной водой.** – На правах рукописи

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям) (технические науки). – Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Донецкой Народной Республики. – Донецк, 2022.

В диссертации получены новые теоретические и экспериментальные результаты, позволившие научно обосновать параметры локализации подземных пожаров мелкораспыленной водой и создать новую установку локализации подземных пожаров.

Установлены и экспериментально подтверждены зависимости для расчета удельного расхода воды на охлаждение пожарных газов, времени полного испарения капли воды, температуры газового потока за водяной завесой, траектории капли в пространстве, ограниченном поверхностью горной выработки, параметров центробежно-струйного распылителя.

Разработана и внедрена блок-схема и методика расчета параметров локализации подземных пожаров водяными завесами.

Внедрением результатов диссертационной работы доказана возможность значительного повышения уровня противопожарной защиты угольных шахт.

**Ключевые слова:** пожар, локализация, мелкораспыленная вода, капля, установка, распылитель, водяная завеса, температура, пожарные газы

## ANNOTATION

Kolyada Andrey Yuryevich. **Substantiation of parameters for effective localization of underground fires with sprayed water.** . – As a manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical Sciences in the specialty 05.26.03 – Fire and industrial safety. – The «Respirator» State Scientific Research Institute of Mine-rescue Work, Fire Safety and Civil Protection of the Ministry of the Donetsk People's Republic for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. – Donetsk, 2022.

In the dissertation, new theoretical and experimental results were obtained, which made it possible to scientifically substantiate the parameters of the localization of underground fires with finely sprayed water and to create a new installation for the localization of underground fires.

The dependences for calculating the specific water consumption for cooling fire gases, the time of complete evaporation of a liquid drop, the temperature of the gas flow behind the water curtain, the trajectory of the drop in the space bounded by

the surface of the mine, the parameters of the centrifugal jet spray are established and experimentally confirmed.

A block diagram and a methodology for calculating the parameters of localization of underground fires with water curtains have been developed and implemented.

The introduction of the results of the dissertation work proved the possibility of a significant increase in the level of fire protection of coal mines.

**Key words:** fire, localization, finely sprayed water, drop, installation, spray, water curtain, temperature, fire gases